

Dritte Transdisziplinäre Konferenz

Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen

Herausgegeben von
Robert Weidner und Athanasios Karafillidis



Hamburg
2018

Konferenzband



Herausgeber

Robert Weidner und Athanasios Karafillidis
Helmut-Schmidt-Universität
Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik
Laboratorium Fertigungstechnik
Forschernachwuchsgruppe smartASSIST
Holstenhofweg 85
22043 Hamburg, Deutschland

Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
Institut für Mechatronik
Professur für Fertigungstechnik
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck, Österreich

ISBN: 978-3-86818-245-3 (Print)
978-3-86818-246-0 (Online)

Copyright Helmut-Schmidt-Universität, 2018
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der
auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung
in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Gedruckt in Deutschland

Illustration Titelbild: Pixelatelier Peters

Vorwort

In zahlreichen Projekten auf der ganzen Welt wird laufend an neuen Formen der Mensch-Technik-Interaktion gearbeitet. Unterstützung scheint sich in diesem Kontext zu einer Art neuem Paradigma in Bezug auf die Frage zu entwickeln, wie wir in Zukunft mit technischen Artefakten aller Art, die sich in unserer Nahwelt und auf unseren Körpern (oder sogar in ihnen) befinden, umgehen, arbeiten und leben wollen. Deshalb ist es unabdingbar, dass verschiedene Disziplinen, Praktiker*innen und Interessenvertreter*innen sich regelmäßig begegnen, um Gestaltungsspielräume zu schaffen, Möglichkeiten und Grenzen auszuloten sowie Entwicklungen in technischer, ethischer, rechtlicher, ökonomischer, wissenschaftlicher und praktischer Hinsicht zu diskutieren und zu evaluieren.

Mittlerweile lädt die Nachwuchsforschungsgruppe smartASSIST¹ der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg und die Professur für Fertigungstechnik der Universität Innsbruck in diesem Jahr 2018 schon zum dritten Mal nach Hamburg ein, um an der Helmut-Schmidt-Universität in einer transdisziplinär ausgerichteten Konferenz die gesellschaftlichen und technologischen Bedingungen und Konsequenzen der Konzeption, Gestaltung und Umsetzung von Unterstützungssystemen zu erörtern. Das Thema hat seit der ersten Veranstaltung im Jahr 2014 nicht an Aktualität eingebüßt. Ganz im Gegenteil sind in der Zwischenzeit immer mehr Studien und Projekte zu technischer Assistenz und Unterstützung gerade in den Bereichen Pflege und Industrie hinzugekommen. Die Community, die sich mit diesem Themenfeld der Unterstützung von Menschen durch Technik auseinandersetzt, ist also eher gewachsen und wir sehen uns nicht zuletzt deshalb bestärkt in dem Versuch, diese Konferenz zu einer kleinen Institution für diese interdisziplinäre Community werden zu lassen.

Wissenschaftler*innen, Industrie- und Interessenvertreter*innen aus über fünfzehn Disziplinen stellen ihre Forschungsarbeiten in Fachvorträgen, in einer Postersession und in einer Demonstratorsession vor. Alle Beiträge, die in diesem Konferenzband gebündelt erscheinen, sind in einem einfach-blinden Review-Verfahren von jeweils zwei Mitgliedern unseres wissenschaftlichen Beirats (wenn möglich: aus unterschiedlichen Disziplinen) begutachtet worden. Wir hoffen nun, dass diese „Proceedings“ dazu beitragen können, weitere Anregungen für eine bedarfsorientierte, technologisch innovative und verantwortungsvolle Technikentwicklung zu liefern.

Wir bedanken uns bei allen Beitragenden und Mitwirkenden aus Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft sowie ganz besonders bei allen Förderern und Unterstützern, ohne die eine solche Veranstaltung nicht möglich wäre, also dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), dem VDI/VDE-IT Innovation GmbH, der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, dem Laboratorium Fertigungstechnik (LaFT), der Universität Innsbruck und der dortigen Professur für Fertigungstechnik (PfF). Ferner geht natürlich auch ein großer Dank an die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats der Konferenz, an die Leiter der einzelnen Sessions und an die wissenschaftlichen und studentischen Hilfskräfte der Arbeitsgruppe smartASSIST, des Laboratoriums Fertigungstechnik (Hamburg) und der Professur für Fertigungstechnik (Innsbruck).

Hamburg, den 11. Dezember 2018

Robert Weidner
Athanasios Karafillidis

¹ Das Projekt „smart ASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies“, Förderkennzeichen 16SV7114 wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau in der Mensch-Technik-Interaktion im demographischen Wandel“ gefördert und durch die VDI/VDE-IT Innovation GmbH betreut.

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Michael Decker

(Technikfolgenabschätzung, Karlsruher Institut für Technologie)

Dr. Athanasios Karafillidis

(Soziologie, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg)

Dr. Bruno Gransche

(Philosophie, Universität Siegen)

Prof. Dr. Klaus Henning

(Mensch-Maschine-Interaktion, RWTH Aachen)

Prof. Dr. Bernd Kuhlenkötter

(Produktionstechnik, Ruhr-Universität Bochum)

Dr. Janina Loh

(Philosophie, Universität Wien)

Prof. Dr. Annika Raatz

(Produktionstechnik, Leibniz Universität Hannover)

Prof. Dr. Werner Rammert

(Soziologie, TU Berlin)

Prof. Dr. Robert Weidner

(Produktionstechnik, Universität Innsbruck und Helmut-Schmidt-Universität Hamburg)

PD Dr. Bettina Wollesen

(Bewegungs- und Gesundheitswissenschaft, Universität Hamburg)

Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg

(Produktionstechnik, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg)

Inhaltsverzeichnis

Ko-Konstitution sozialer Räume durch Assistenztechnologien.....	1
<i>(B. Stangl)</i>	
Technologische Meta-Unterstützungssysteme in der datafizierten Arbeitswelt	9
<i>(N. Diefenbach und J. Lemm)</i>	
Neue Curricula braucht die Hochschule – Ingenieur*innen zur Arbeitsgestaltung befähigen	19
<i>(Ch. Rudlof)</i>	
Nutzerkonfiguration und konfigurierende Nutzer in ambulanten Pflegesettings.....	25
<i>(J. Deisner, J. Hergesell und A. Maibaum)</i>	
Living Lab 65+.....	33
<i>(V. Hämmerle, C. Pauli, S. Lehmann und S. Misoch)</i>	
Nutzungsorientierte Entwicklung eines robotikgestützten Assistenzsystems.....	41
<i>(K. Brukamp)</i>	
Menschzentrierte Simulation mit adaptiver kollisionsfreier Roboterbahnplanung in der Mensch-Roboter-Kollaboration	47
<i>(P. Glogowski, K. Lemmerz, A. Hypki und B. Kuhlenkötter)</i>	
Intelligente Handschuhe zur Werkerunterstützung in der digitalisierten Produktion.....	59
<i>(S. Gratz-Kelly, S. Hau, P. Motzki und S. Seelecke)</i>	
Application of camera controlled laser projection systems for manual mounting tasks.....	67
<i>(J. Taubert, M. Rehe und R. Müller-Polyzou)</i>	
Dimensionen von Unterstützung im medizinischen Behandlungskontext.....	77
<i>(N. Strüver und N. Ziesen)</i>	
Towards a Companion System Incorporating Human Planning Behavior	89
<i>(B. Leichtmann, P. Bercher, D. Höller, G. Behnke, S. Biundo, V. Nitsch und M. Baumann)</i>	
Konfigurierung des Alter(n)s: Instanzen der Konstruktion von „älteren Nutzer*innen“ in der Gestaltung von Assistenzsystemen	99
<i>(A. Bischof und J. Jarke)</i>	
Bewertung von Exoskeletten für industrielle Arbeitsplätze.....	107
<i>(R. Hensel und B. Steinhilber)</i>	
Entwicklungsansatz für physische Mensch-Technik-Schnittstellen von Exoskeletten.....	117
<i>(C. Linnenberg, J. Klabunde, R. Weidner und J. P. Wulfsberg)</i>	
Akzeptanz als Problem, Partizipation als Lösung?	127
<i>(H. Hagen, M. Nitschke, D. Schlindwein und S. Goll)</i>	
Nutzerbedürfnisse an ein digitales Assistenzsystem im Kontext der Industrie 4.0	139
<i>(C. Aringer-Walch, S. Besserer und B. Pokorni)</i>	

Framework zur Generierung zieladäquater Untersuchungsdesigns zum Erfassen von Nutzerbedarfen	151
<i>(A. Wallisch und K. Paetzold)</i>	
Deflatables: A Survey on Principles Used in Soft Deflatable Support Systems and Wearable Assistive Devices	161
<i>(A. Thallemer, F. Ong und A. Kostadinov)</i>	
Path Detection with Artificial Neural Networks for the Navigation of Visually Impaired Jogger	169
<i>(J. Seßner, M. Lauer-Schmaltz, S. Reitelshöfer und J. Franke)</i>	
Improving Kinect-2 based User-Interface Interaction	179
<i>(A. F. Krause, K. Essig und T. Schack)</i>	
ELSI in Serious Games für die technikunterstützte medizinische Ausbildung	187
<i>(U. Scorna, K. Weber und S. Haug)</i>	
Robotik in der Medizin	195
<i>(D. Sprengel)</i>	
Pitfalls of algorithmic control and their implications for support systems Algorithmic control as a threat to accountability	205
<i>(C. Huber und T. Scheytt)</i>	
Nutzerevaluation von Assistenzsystemen für die industrielle Montage	213
<i>(M. Funk, M. Hartwig, N. Backhaus, M. Knittel und J. Deuse)</i>	
Mensch-Roboter-Kollaboration in der Produktion: Kritische Würdigung etablierter Technikakzeptanzmodelle und neue Erkenntnisse in der Akzeptanzforschung	223
<i>(A. Meissner und A. Trübswetter)</i>	
KogniCoach.....	235
<i>(M. Hesse, A. F. Krause, L. Vogel, T. Schack und T. Jungeblut)</i>	
Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention einer Stress-Management-App.....	245
<i>(C. A. Faust-Christmann, J. Spilski, J. Mayer und G. Bleser)</i>	
Benutzerassistenz für Sondermaschinen mittels fallbasiertem Schließen.....	255
<i>(S. Lang und V. Plenk)</i>	
Getting to grips with cobots: Concept design of a modular and reconfigurable gripper for hybrid co-working	261
<i>(A. Thallemer, D. Diensthuber und A. Kostadinov)</i>	
Methodik zur Evaluierung des Ergonomie-Potentials bei Kooperation von Mensch und Roboter	269
<i>(P. Eichler, L. Winkler und M. Bdiwi)</i>	
Praktische Bedarfsanalyse am Beispiel der Entwicklung eines Bewegungsunterstützungssystems für die Treppenüberwindung	279
<i>(M. Böhme, F. Weiske, J. Jäkel und J. Zentner)</i>	
SmartSensX: Ein Konzept für vernetzte tragbare Sensoren zur Anwendung in der Softrobotik und Mensch Maschine Interaktion	289
<i>(R. Hackbart, J. Kostelnik, J. Kuschan, H. Schmidt, J. Krüger, R. Vieroth und K.-D. Lang)</i>	

Qualitätsbezogenes Target Costing als integriertes Steuerungsinstrument im Entwicklungsprozess von Exoskeletten	297
<i>(N. Gerhardt, R. Weidner und B. Zirkler)</i>	
Der beflügelte Mensch: Gesteigerte Konzentration durch Unterstützungssysteme in der Produktion	309
<i>(F. Schroeter, R. Weidner, P. Dehmel, J. P. Wulfsberg und T. Jacobsen)</i>	
Befragungen und Universal Design als Methoden der altersgerechten Produktentwicklung	319
<i>(O. Sankowski und D. Krause)</i>	
Entwicklung und Erprobung einer kosten- und funktionsoptimierten, mechatronischen Unterarmprothese	329
<i>(I. S. Yoo, E. Scheithauer, S. Sesselmann und J. Franke)</i>	
Einsatz von echtzeitfähigen medizinischen Assistenzsystemen im häuslichen Umfeld: Anwendungsfall Gang.....	339
<i>(K.-C. Broscheid, C.-H. Chen, S. Stoutz und L. Schega)</i>	
Simulation Framework for Active Upper Limb Exoskeleton Design Optimization Based on Musculoskeletal Modeling	345
<i>(M. Tröster, U. Schneider, T. Bauernhansl, J. Rasmussen und M. S. Andersen)</i>	
Design of a dexterous Finger actuated by SMA bundle wires	355
<i>(F. Simone, G. Rizzello, P. Motzki und S. Seelecke)</i>	
DigiNet.Air Fallstudien mit kollaborierendem Roboter und digitalem Zwilling in einem Vorgehensmodell zur Ableitung von Industrie 4.0 Bildungsmodulen.....	363
<i>(R. Isenberg, K. Gutiq und L. Schell-Majoer)</i>	
Der Beitrag technografischer Analysen zur partizipativen soziotechnischen Assistenzsystemgestaltung für eine Weberei 4.0	371
<i>(A. Fohn und A. Altepost)</i>	
Herausforderungen in der Beratung älterer Menschen im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme.....	381
<i>(M. Nitschke, D. Schlindwein, H. Hagen und S. Goll)</i>	
Unterstützung bei Arbeitshandlungen durch ein digitales adaptives Diagnose- und Trainingssystem	391
<i>(L. Vogel und T. Schack)</i>	
Individualized cognitive assistance by smart glasses for manual assembly processes in industry.....	399
<i>(B. Streng, L. Vogel und T. Schack)</i>	
Biomechanical assessment of a backpack system.....	408
<i>(L. Winter, C. Linnenberg und R. Weidner)</i>	
Arbeitsunterstützende Exoskelette: Anforderung und Umsetzung in den Pionierphasen.....	417
<i>(J. Kupfernagel, I. Boblan und A. Haibel)</i>	
Entlastungsmöglichkeiten beim Tragen impermeabler ABC-Schutzausrüstung	425
<i>(K. Hagner, C. Linnenberg, A. Werner, R. Tandon und A. Overkamp)</i>	

Magic Triangle – Human, Exoskeleton, and Collaborative Robot Scenario	435
<i>(R. A. Goehlich, M. H. Rutsch und I. Krohne)</i>	
Verbrauchssteuerung in intelligenten Privathaushalten – wird der Bewohner entmündigt? .	443
<i>(J. Haase)</i>	
Leitfaden für die Gestaltung von Unterstützungssystemen am Beispiel des Rückens	451
<i>(J. Klabunde und R. Weidner)</i>	
evenCARE - unabhängig im Alltag	463
<i>(Alexei Laukart und Kristina Mattern)</i>	
Bedarfsorientierte Technikentwicklung und gesellschaftliche Akzeptanz	473
<i>(I. Horwath und J. Terhechte)</i>	
Intelligente Orientierungshilfe für sehingeschränkte Personen.....	483
<i>(R. Weidner, J. Müller, N. Tornow und F. Rimmele)</i>	
Design of Soft Power Suit for Lower Back Assistance	491
<i>(Z. Yao, R. Weidner, B. Otten und M. Fethke)</i>	
Biomedizin im Zeitalter der Digitalisierung Zum SOZIOMINT der technischen Biomedizin	499
<i>(U. Pfenning, R. Haas, M. Jeretin-Kopf und C. Wiesmüller)</i>	
Körperliche und Emotionale Reaktionen in der Zusammenarbeit mit modernen Robotern..	507
<i>(L. Müller, J. Ruhnke, M. Bellanova und A. Bernin)</i>	
Autorenverzeichnis.....	515

Ko-Konstitution sozialer Räume durch Assistenztechnologien

Räumliche Handlungszusammenhänge sozialer Roboter in Wohnumgebungen

B. Stangl

Technische Universität Wien,
Institut für Architekturwissenschaften, Fachbereich Architekturtheorie
benjamin@stangl.eu

Kurzzusammenfassung

Gegenwärtig dringen Assistenztechnologien in immer mehr Bereiche des Alltags und somit auch in soziale Räume vor, wie z.B. Wohnungen, Arbeitsplätze oder öffentliche Räume. Der durch Technologien veränderte Alltag bedeutet auch einen Wandel dieser sozialen Räume, der bislang in der Forschung wenig Beachtung findet. Assistenztechnologien besitzen durch ihre Verhaltens-, Entscheidungs- und Informationsautonomie eine Handlungsträgerschaft, die sich auf die Struktur und Eigenschaft sozialer Räume auswirkt. Am Beispiel sozialer Roboter untersucht diese Arbeit die Handlungszusammenhänge sozio-technischer Konstellationen in ihrem Verhältnis zu sozialem Raum. Ein raumsoziologisches Modell wird um Assistenztechnologien erweitert und anhand konkreter Handlungen sozialer Roboter in Wohnumgebungen wird gezeigt, durch welche Prozesse Assistenztechnologien Anteil an einer verteilten, dynamischen Ko-Konstitution des sozialen Raumes nehmen.

Abstract

How assistive technologies co-constitute social spaces

Assistive technologies such as social robots are moving out of the lab and advancing into the daily life of residential, work and public environments. Everyday spaces, I contend, are therefore not merely enriched with technology, but are increasingly created through the interaction of people and technology. Thus, people, technology and space are in a socio-technical constellation whose mutual relationship requires a differentiated analysis. Using social robots as an example, this work examines the relationships between the socio-technical constellations of human and technology in their relationship to social space.

Keywords

Soziale Roboter, Handlungsträger, sozialer Raum, Wohnumgebungen

1 Einleitung

Bereits seit 2008 existieren umfangreiche Förderprogramme auf nationaler und europäischer Ebene, die Forscher und Unternehmen dabei unterstützen, unterschiedliche Assistenztechnologien in den häuslichen Alltag zu bringen. Eine Kategorie dieser Technologien sind soziale Roboter, die etwa als Komponente der Heimautomation, zur Unterstützung von Routinetätigkeiten im Haushalt oder für bestimmte Pflegeaufgaben entwickelt werden.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf privaten Wohnumgebungen, da sie die Aspekte physischer Nähe, zeitlicher Exposition und Intimität in besonderem Maße ausreizen. Laut einer Umfrage des Bundesministeriums für Bildung und Forschung können sich 83 Prozent der befragten Deutschen vorstellen, einen Service-Roboter zuhause zu nutzen, wenn sie dadurch im Alter länger in den eigenen vier Wänden wohnen könnten [Bun17]. Mit dem Blick auf das Funktionieren von Technik im

Alltag wird zum einen die Zusammengehörigkeit von Lebenswelt und Technik anerkannt, und zum anderen nach den Wirkungen von Technik gefragt. Ziel der Arbeit ist ein Verständnis für die Prozesse und Veränderungen der durch Assistenztechnologien mit-gestalteten sozialen Räume zu entwickeln.

2 Bezug zu Technik- und Raumsoziologie

In der sozialwissenschaftlichen Forschung gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher und teils gegensätzlicher Konzepte zur Handlungsträgerschaft technischer Systeme. Manche Theorien schreiben potentiell jeglicher Technik eine Handlungsträgerschaft zu, wie etwa die Akteur-Netzwerk Theorie [Lat96] oder das Konzept der Media Equation [Ree96]. Diese Ansätze gehen von einer Übertragung sozialer Deutungsmuster auf die Interaktion mit technischen Geräten aus, die eingelebte Muster sozialen Verhaltens aktivieren [Ram02]. Andere Konzepte begründen Handlungsfähigkeit anhand bestimmter technischer Verhaltenseigenschaften, die sich als Handlungen beschrieben lassen. Das können äußerlich sichtbare Verhaltensweisen sein [McC79] oder der Aufbau der Softwarearchitektur einer Technik selbst [Rao95].

Diese Arbeit geht von einer verteilten und gradualisierten Handlungsträgerschaft menschlicher und nicht-menschlicher Akteure aus [Ram02]. Aus der Perspektive des Technopragmatismus [Ram17] werden Handlungszusammenhänge und Interaktionen mit Assistenzsystemen analysiert. Die Perspektive eines verteilten Handelns von Mensch und Technik wird mit einem Modell der Raumsoziologie zusammengeführt [Löw01]. Dieses raumsoziologische Modell wird um die Prozesse der Konstitution sozialen Raumes durch Assistenztechnologien erweitert. Als Beispiele avancierter Assistenztechnologien dienen Handlungen sozialer Roboter, da diese oft räumlich mobil sind, in der Lage sind Gegenstände zu erkennen und zu manipulieren, und mit dem Menschen über natürliche Sprache, Gestik, Mimik und Körpersprache interagieren. Die Frage nach den Handlungsqualitäten von Technik geht nicht von einer

Symmetrie menschlicher und technischer Akteure aus. Vielmehr erlaubt die Differenzierung des Handlungsbegriffes nach den Ähnlichkeiten und Unterschieden menschlichen und technischen Handelns zu fragen und diese zu untersuchen [Ram02].

Um diese wechselseitige Beziehung von Handlungen und sozialem Raum zu beschreiben, bedarf es daher eines differenzierten Handlungsbegriffes (Abschnitt 3) und eines relationalen Verständnisses des sozialen Raumes (Abschnitt 4). Abschnitt 5 erweitert das raumsoziologische Modell um Assistenztechnologien.

3 Assistenztechnologien als Handlungsträger

Der hier verwendete Ansatz von Handlungsfähigkeit basiert auf der Zuschreibung von Eigenschaften und Interaktionsfähigkeiten. Er berücksichtigt unterschiedliche Ebenen des Mit-Handelns technischer Systeme. Wenn auf Technik und Maschinen übertragene Aktivitäten ebenso gesellschaftlich wirksam sind wie menschliche Aktivitäten und nach sozialen Normen beurteilt werden, lässt sich auch die Unterscheidung zwischen Sozialem und Technischem nicht mehr aufrechterhalten [Ram02]. Zunächst werden hier die Dimensionen des verteilten und die Ebenen des gradualisierten Handlungskonzeptes beschrieben. Abschnitt 3.3 gibt Beispiele für sachtechnisch vermittelte Handlungen sozialer Roboter.

3.1 Dimension des verteilten Handelns

Verteiltes Handeln begreift Handeln als Handlungsfluss, das sich gradualisiert in unterschiedlichen Qualitäten auf menschliche und nicht-menschliche Akteure verteilt [Ram02]. Handlungen sind demnach keine singulären Akte, sondern bestehen aus verschiedenartige Aktivitäten, die sich wiederum als Handlungsstrom auf menschliche und nicht-menschliche Instanzen verteilen können. Rammert beschreibt dies am Beispiel des Fliegens eines Flugzeugs, das sich auf unterschiedliche Instanzen des Handelns (Pilot, Auto-Pilot, Funkanlage, Navigationssystem, Fluglotsen, Triebwerke ...) und verschiedene Aktivitäten

(lenken, informieren, antreiben ...) verteilt [Ram09]. Auch Assistenztechnologien übernehmen meist nur einen Teilbereich einer Gesamtaufgabe. Die Medikamenteneinnahme zuhause verteilt sich beispielsweise auf unterschiedliche Teilhandlungen: zeitgerechtes Erinnern, Dosieren des Medikaments, Abfüllen und Bringen eines Wasserglases, Schlucken des Medikaments. In diesem Handlungsstrom übernehmen Assistenzsysteme nur bestimmte Handlungen, die erst in sinnvoll abgestimmter Interaktion mit anderen Teilhandlungen als gesamtes die Medikamenteneinnahme bilden.

3.2 Ebenen gradualisierten Handelns

Gradualisiertes Handeln verweist auf unterschiedliche Ebenen der Handlungszuschreibung. Die unterschiedlichen Ebenen einer Handlungsträgerschaft werden in einem Drei-Ebenen-Modell berücksichtigt, das nach voraussetzungsärmeren und voraussetzungsreicheren Aspekten des Handelns differenziert [Ram02].

Auf der Handlungsträgerschaft erster Ebene wird ein schwacher Handlungsbegriff angesetzt, der als Abfolge von Aktivitäten eine Veränderung hervorruft. Zu dieser Ebene des Bewirkens von Veränderung zählt das Ausführen von Anweisungen und vorgegebenen Routinen, die auf der Vollzugsebene kaum einen Unterschied zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren macht. Ob ein Saugroboter oder eine Person mit einem Staubsauger ein Zimmer reinigt, macht für das Ergebnis eines gereinigten Zimmers - eine vergleichbare Reinigungsqualität vorausgesetzt - kaum einen Unterschied.

Die zweite Ebene fügt dem Hervorrufen von Veränderung die Fähigkeit auch anders handeln zu können hinzu. Auf dieser mittleren Ebene können Handelnde das eigene Verhalten auf wechselnde oder neuartige Gegebenheiten anpassen, wodurch eine Interaktivität als Modus der Kooperation entsteht. Für soziale Roboter ist das Erreichen dieser Handlungsebene wesentlich, da sie im Alltag laufend mit neuartigen Situationen und Aufgaben in veränderten Umgebungen konfrontiert sind.

Die dritte Ebene graduieren Handelns beinhaltet Intentionalität und Reflexivität als Eigenschaft des Handelns. Das Begründen, Kommunizieren und Nachvollziehbarmachen von Verhaltensweisen sind wesentliche Eigenschaften dieser Ebene. Im klassischen philosophischen und sozialwissenschaftlichen Verständnis lässt sich Intentionalität und Reflexivität nur auf bewusstseinsfähige menschliche Subjekte anwenden. Rammert und Schulz-Schaeffer plädieren jedoch für eine stärker operative und pragmatische Auffassung von Intentionalität und Reflexivität [Ram02]. Diese erlaubt es Intention auf Basis von empirisch beobachtbarem Verhalten zu untersuchen, so als ob Handelnde eine intentionale Struktur besäßen. Ein sozialer Roboter kann sich nicht um eine Person sorgen, jedoch können die Begründungen, Handlungen und Verhaltensweisen dahingehend interpretiert werden, als ob er durch eine Art Metaprogramm diese intentionale Struktur besäße, um ein bestimmtes übergeordnetes Ziel zu verfolgen.

Die Unterscheidungen nach den verteilten Dimensionen und gradualisierten Ebenen des Handlungsbegriffs treten im Alltag nicht unabhängig voneinander auf und sind nicht immer klar voneinander abzugrenzen.

3.3 Beispiele für verteiltes und gradualisiertes Handeln

Tabelle 1 verdeutlicht das verteilte und gradualisierte Handlungskonzept anhand von Beispielen von Assistenzsystemen und Robotern in Wohnumgebungen. Ob einem technischen System auch eine Intentionalität zugestanden wird, ist situationsabhängig. Wenn ein technisches System eine nachvollziehbare Begründung für ein bestimmtes Handeln geben kann, die bei einem Menschen als Intention ausgelegt würde, dann wird einem technischen System ebenfalls diese Intention zugestanden.

Die Verhaltens-, Entscheidungs- und Informationsautonomie sozio-technischer Objekte lassen sich als Voraussetzungen auf die jeweiligen Handlungsebenen beziehen. Um eine veränderte Wirksamkeit herzustellen, bedarf

Tabelle 1: Beispiele für Handlungen von Assistenzsystemen, die jeweils eine Ebene und Dimension des Handlungsbegriffs verdeutlichen

	Verteilung des Handlungsstroms auf verschiedenartige Aktivitäten	Verteilung auf menschliche und nichtmenschliche Instanzen
1. Ebene: Veränderte Wirksamkeit	Saugroboter leistet Beitrag zur Reinigung einer Wohnung	Roboter folgt der Anweisung einer Person einen Gegenstand aufzuheben; Roboter folgt einer Person zu der Position, zu der diese sich bewegt
2. Ebene: Auch-anders-handeln-Können	Mobiler Roboter erkennt Hindernis und passt Bewegungspfad an; Öffnen der Haustüre einer bekannten Person	Sturzdetektor: Überprüfen ob eine Person gestürzt ist und Senden eines Notrufs
3. Ebene: Intentionale Erklärung	Begründung und Unterstützung zu gesundheitsförderlichen Aktivitäten	Medikamenteneinnahme überwachen und gegebenenfalls daran erinnern

es einer Verhaltensautonomie, die technischen Objekten das Ausführen bestimmter Abläufe erlaubt. Die Handlungsebene des Auch-anders-handeln-Könnens setzt neben der Verhaltensautonomie eine Entscheidungsautonomie voraus. Auf der Grundlage von Entscheidungsregeln kann ein bestimmtes Verhaltensprogramm ausgewählt werden. Die Informationsautonomie kann als zusätzlicher Aspekt auf allen Ebenen des Handelns wirken. Auf der Ebene des Auch-anders-handeln-Könnens wird beispielsweise auf Basis abgefragter Informationen aus dem Internet eine alternative Handlung ausgeführt. Auf der Ebene intentionaler Erklärungen kann eine Handlung durch den eigenständigen Zugang zu Informationsquellen begründet werden.

4 Konstitution sozialen Raumes

Im Diskurs um Assistenztechnologien wird Raum meist als gegebener oder von Menschen gestalteter Handlungshintergrund für Technologie verstanden. Handelt es sich um gestaltete Assistenzumgebungen wird von soziotechnischen Ensembles [Bin16] oder smarten Quartieren gesprochen [Sch16a].

Soziale Räume sind jedoch keine starren, passiven Strukturen, die mit Technologie angereichert werden, sondern werden zunehmend

durch die Interaktion von Mensch und Technologie selbst gestaltet. Technologie und sozialer Raum stehen dabei in einer reflexiven Beziehung: Technologie benötigt Raum um in diesem zu handeln, gleichzeitig konstituiert deren Handeln diesen Raum. Handeln findet innerhalb eines strukturierten Kontextes statt und wirkt dabei selbst strukturierend. Daher orientiert sich diese Arbeit an einem relationalen Raumbegriff, der die Konstitution von Raum aus Handlungen und Wahrnehmungsprozessen heraus erklärt [Löw01].

An der Konstitution von Raum sind zwei analytisch zu unterscheidende Prozesse beteiligt: das Spacing und die Syntheseleistung [Löw01]. Spacing meint die Entstehung von Raum durch Handeln: das Errichten und Bauen, das Platzieren von sozialen Gütern und Menschen, das Positionieren symbolischer Markierungen. Sozialer Raum entsteht daher durch die relationale (An)Ordnung von Lebewesen und sozialen Gütern, d.h. Menschen und Objekten.

Der zweite Prozess in der Entstehung von Raum ist die Syntheseleistung, in der über Wahrnehmungs-, Vorstellungs- oder Erinnerungsprozesse soziale Güter oder Menschen zu Räumen zusammengefasst werden. Die bezeichnet den analytischen Blick auf den

Raum, die Konstitutionsleistung, die es ermöglicht Ensembles verschiedener Elemente zu einem Element zusammenzufassen. Im alltäglichen Handeln existieren Spacing und Syntheseleistung stets gleichzeitig.

Tabelle 2 zeigt die Prozesse der Raumkonstitution Spacing und Syntheseleistung nach den Dimensionen Mensch und soziale Güter. Die Differenzierung im Prozess des Spacing zwischen Mensch und Lebewesen auf der einen Seite und sozialen Gütern auf der anderen Seite verläuft entlang der Unterscheidung eines sich *aktiv* Positionierens (Feld 1) und eines sich ausschließlich *passiv* Positionierens (Feld 2). Auf der Ebene der Syntheseleistung verknüpfen Menschen über Vorstellungs-, Wahrnehmungs- und Erinnerungsprozesse soziale Güter und Lebewesen zu Räumen (Feld 3). Dieser Prozess ist auf Menschen und Lebewesen beschränkt, weshalb es keine Entsprechung für diesen Prozess bei sozialen Gütern gibt (Feld 4).

5 Ko-Konstitution sozialer Räume

Ein entscheidender Aspekt von Assistenztechnologien ist, dass sie Personen direkt in ihren Lebensräumen unterstützen. Assistenzsysteme werden gezielt für Situationen und Aufgaben in sozialen Räumen entwickelt und deren Handlungen ergeben erst dort Sinn. Ein Assistenz-Roboter hebt einen heruntergefallenen Gegenstand auf, meldet den Sturz einer Person in deren Wohnung oder beginnt ein Gespräch. Raum ist somit ein wesentliches Element der Entwicklung und der Anwendung sozialer Roboter. Technische Objekte und sozialer Raum stehen in einer soziotechnischen Konstellation, die einer differenzierten Analyse bedarf. Es stellen sich daher folgende Fragen:

- Durch welche Prozesse sind Assistenztechnologien an der Konstitution sozialer Räume in Wohnumgebungen beteiligt?
- Worin unterscheidet sich die Konstitution sozialer Räume durch Assistenztechnologien von menschlicher Raumkonstitution?

Die Arbeitshypothese lautet, dass auch durch technische Handlungs- und Wahrnehmungssysteme sozialer Raum konstituiert wird. Roboter sind nicht nur in der Lage Gegenstände zu platzieren, sondern können sich positionieren oder lassen sich positionieren. Aufgrund der Handlungsträgerschaft von Assistenzsystemen bedarf es Überlegungen auf welchen Ebenen und durch welche Prozesse Assistenztechnologien an der Konstitution sozialer Räume beteiligt sind. Ein Spezialfall von Assistenzsystemen sind soziale Roboter, an Hand derer im Folgenden die Ko-Konstitution sozialer Räume dargestellt wird.

5.1 Spacing als Prozess technischen Handelns

Soziale Roboter werden für die unterschiedlichsten Rollen konzipiert: von der spielerischen Unterhaltung über Aufgaben im Pflegebereich bis zum persönlichen Assistenten. Eine wesentliche Aufgabe sozialer Roboter ist es, Handlungen auszuführen oder zusammen mit menschlichen Akteuren Handlungen zu unterstützen. Einige der Hauptanwendungsgebiete sind das Bringen und Tragen von Gegenständen, Unterstützung der Mobilität und Unterstützung bei der persönlichen Pflege und Haushaltsführung [Pay15]. Das Tragen eines Getränks von der Küche in das Wohnzimmer oder das Aufheben von Gegenständen – so einfach oder komplex in der Ausführung – erfordert das Erfassen räumlicher Strukturen und das Platzieren von Objekten, Menschen

Tabelle 2: Kreuztabellierung nach den Prozessen der Raumkonstitution und Dimensionen Mensch/soziale Güter nach [Löw01]

	Menschen (Lebewesen)	soziale Güter (Objekte)
Spacing	(1) Errichten, Bauen, sich positionieren, sich positionieren lassen	(2) sich positionieren lassen
Syntheseleistung	(3) Wahrnehmungs-, Vorstellungs-, Erinnerungsprozesse	(4) -

oder des Roboters selbst. Basieren diese Handlungen auf einer Verhaltens-, Entscheidungs- und Informationsautonomie, nehmen soziale Roboter dadurch Anteil an einer verteilten, dynamischen Ko-konstitution des sozialen Raum.

5.2 Syntheseleistung als Prozess technischer Raumwahrnehmung

Die menschliche Konstitution von Raum erfolgt in einer Syntheseleistung, in der über Wahrnehmungs-, Vorstellungs- oder Erinnerungsprozesse Ensembles sozialer Güter und Menschen zusammengefasst werden. Über Sensoren wie Kameras, Laser oder Sonar erfassen Roboter Informationen über ihre Umgebung. Algorithmen wie „Object recognition“, „Image segmentation“, und „Semantic Scene Labeling“ verarbeiten diese Informationen [Kop11]. Dadurch werden einzelne Pixel zu Bereichen verknüpft, Bereiche zu Objekten und Objekte zu Räumen verbunden [Var12]. Diese Methoden ermöglichen es technischen Systemen Objekt abzugrenzen, sie zu kategorisieren und zu Räumen zusammenzufügen.

Neben visuellen Informationen verwenden soziale Roboter akustische Signale um räumliche Informationen zu erfassen. Der humanoide Roboter Pepper (Aldebaran) nutzt vier Mikrofone, um aus der zeitlichen Differenz der Schallwellen die Position einer sprechenden Person zu orten (Laufzeitdifferenz).

Auf sprachlicher Interaktion zwischen Roboter und Mensch beruht der Ansatz des Raumspiels [Sch16b]. Hier erhält der Roboter Informationen über seine räumliche Umgebung mittels eines Frage-Antwort Dialogs mit einer Person. Aus diesen Informationen entsteht ein Raummodell der Umgebung, das die menschliche Wahrnehmung mit technischen Wahrnehmungssystemen verbindet.

5.3 Erweiterung der Raumkonstitution um Assistenztechnologien

In Löws handlungstheoretischem Modell verläuft die Unterscheidung zwischen Menschen und sozialen Gütern entlang des Zugeständnisses von Handlungs- und Wahrnehmungsfähigkeit. Wenn wir jedoch - wie in Kapitel 3

ausgeführt - die Handlungsfähigkeit nach der Zuschreibung von Handlungseigenschaften und Interaktionsfähigkeiten beurteilen, lässt sich auch die analytische Unterscheidung der Raumkonstitution zwischen Menschen und Objekten nicht aufrechterhalten. Daher können wir auch bei sozialen Robotern zwei Prozesse der Konstitution sozialer Räume unterscheiden.

Tabelle 3 benennt die Prozesse Spacing und Syntheseleistung nach den Dimensionen Menschen und soziale Güter (Felder 1-4) und erweitert sie um die Dimension sozialer Roboter (Felder 5,6).

Soziale Roboter unterscheiden sich von sozialen Gütern, indem sie über Sensoren Raum erfassen (Syntheseleistung) und sich selbst, andere Objekte oder Personen mithilfe von Aktuatoren positionieren (Spacing). Der Mensch fasst über Wahrnehmungs-, Vorstellungs- oder Erinnerungsprozesse Objekte und Menschen zu Räumen zusammen. Assistenzsysteme können Räume ebenso durch unmittelbar erfasste Informationen konstituieren, durch die Verarbeitung zuvor gespeicherter oder über Netzwerke geladene Informationen (Informationsautonomie).

5.4 Gestaltung der Syntheseprozesse von Assistenztechnologien

Um autonome und situativ sinnvolle Handlungen auszuführen, müssen die Prozesse des Spacing und der Syntheseleistung auch bei sozialen Robotern ineinander greifen. Damit beispielsweise ein mobiler Roboter einem Hindernis ausweichen kann, muss dieses erkannt und eine geänderte Route erstellt werden. Um einen am Boden liegenden Gegenstand aufzuheben, ist es notwendig diesen zu erkennen und die eigene Motorik entsprechend anzusteuern.

Die Gegenüberstellung der raumkonstituierenden Prozesse in Tabelle 3 zeigt auch auf, dass die Synthese von Raum bei Menschen und Assistenztechnologien ein Prozess ist, der

Tabelle 3: Kreuztabellierung nach den Prozessen der Raumkonstitution (siehe Tabelle 2) und Erweiterung um die Kategorie soziale Roboter

	Menschen (Lebewesen)	soziale Güter (Objekte)	soziale Roboter (Assistenztechnologien)
Spacing	(1) Errichten, Bauen, sich positionieren, sich positionieren lassen	(2) sich positionieren lassen	(5) sich positionieren, sich positionieren lassen, Objekte oder Personen positionieren
Syntheseleistung	(3) Wahrnehmungs-, Vorstellungs-, Erinnerungsprozesse	(4) -	(6) Algorithmen (z.B. object recognition, semantic scene labeling) verarbeiten Informationen aus Sensoren (z.B. Kamera, Laser, Mikrofon)

auf unterschiedlichen Wahrnehmungssystemen beruht. Dies führt dazu, dass unterschiedliche Räume entstehen, deren Deutung jedoch als Basis für Entscheidungen und Handlungen dienen. Um eine gelungene Interaktion und Kooperation zu erreichen, bedarf es einer Aushandlung dieser Räume.

Das Erfassen räumlicher Situationen durch Assistenzsysteme läuft für Benutzer meist nicht sichtbar ab und kann nur durch sichtbare Handlungen nachvollzogen werden. Das sichtbar machen dieser technischer Syntheseprozesse könnte zu einem besseren Verständnis für die Handlungen von Assistenzsystemen führen. Hierfür braucht es sinnvolle Methoden, die das Erkennen räumlicher Situationen durch Assistenzsysteme für den Benutzer nachvollziehbar machen. Wenn Menschen und Roboter jeweils Anteil an den Syntheseleistungen des jeweils anderen nehmen, kann dies zu mehr Akzeptanz von technischen Systemen führen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Soziale Roboter stehen in Bezug zu räumlichen Strukturen und gestalten diese mit. Der hier beschriebene Ansatz analysiert aus einer handlungstheoretischen Perspektive die Prozesse der Entstehung sozialen Raumes durch

Assistenztechnologien. Sie besitzen durch ihre Verhaltens- und Entscheidungsautonomie eine Handlungsträgerschaft, die sich auf die Struktur und Eigenschaft sozialer Räume auswirkt. Wenn Raum in der Wechselwirkung von Handeln und Wahrnehmen entsteht, dann nehmen soziale Roboter durch ihr Handeln Anteil an der Konstitution von Raum. Sie tun dies nicht nur als soziale Güter, die sich von Menschen (an)ordnen lassen, sondern indem sie soziale Güter, sich selbst und auch Menschen (an)ordnen. Zudem erfassen sie mithilfe von Sensoren Informationen über Objekte und Räume. Durch das Ineinandergreifen dieser Prozesse ko-konstituieren Assistenztechnologien soziale Räume.

Die Analyse der Konstitutionsprozesse sozialer Räume zeigt, dass sich die Gestaltung zukünftiger Lebensräume bereits als Teil der Entwicklung von Assistenzsystemen stellt. Diese sozialen Assistenz-Räume gilt es in ihrer Struktur und Eigenschaft weiter zu untersuchen. Welche spezifischen Räume entstehen durch das Zusammenwirken menschlicher und technischer Handlungen? Wie können aktuell entwickelte Assistenzsysteme zu einer wünschenswerten Entwicklung menschlicher Lebensräume beitragen?

Literatur

[Bin16] P. Biniok: Soziotechnische Assistenzensembles. Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, 2016.

- [Bun17] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Humanoide Roboter: sympathisch oder unheimlich?, abgerufen am 5.10.2017. <https://www.bmbf.de/de/humanoide-roboter-sympathisch-oder-unheimlich-4918.html>, 2017.
- [Gla15] D. F. Glas, K. Kamei, T. Kanda, T. Miyashita und N. Hagita: Human-robot interaction in public and smart spaces. In: *Intelligent Assistive Robots*, S. 235-273. Springer, 2015.
- [Koa14] K. L. Koay, D. S. Syrdal, M. Ashgari-Oskoei, M. L. Walters und K. Dautenhahn: Social Roles and Baseline Proxemic Preferences for a Domestic Service Robot. In: *International Journal of Social Robotics* 6 (4): S. 469-488, 2014.
- [Kop11] H. S. Koppula, A. Anand, T. Joachims und A. Saxena: Semantic labeling of 3d point clouds for indoor scenes. In: *Advances in neural information processing systems*, 2011.
- [Lat96] B. Latour: On actor-network theory: A few clarifications. In: *Soziale Welt*: S. 369-381, 1996.
- [Löw01] M. Löw: *Raumsoziologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2001.
- [McC79] J. McCarthy: Ascribing Mental Qualities to Machines. Computer Science Department, Stanford University, 1979.
- [Pet17] H. Petrie und J. Darzentas: Older people and robotic technologies in the home: perspectives from recent research literature. In: *10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, Rhodes, Greece, 2017.
- [Pay15] S. Payr, F. Werner und K. Werner: Potential of robotics for ambient assisted living. Wien: FFG benefit, 2015.
- [Ram09] W. Rammert: Hybride Handlungsträgerschaft: Ein soziotechnisches Modell verteilten Handelns. In: O. Herzog und T. Schildhauer (Hrsg.): *Intelligente Objekte*, S. 23-33. Berlin: Springer, 2009.
- [Ram17] W. Rammert und C. Schubert: Technik. In: R. Gugutzer, G. Klein und M. Meuser (Hrsg.): *Handbuch Körpersoziologie*, S. 349-363. Wiesbaden: Springer, 2017.
- [Ram02] W. Rammert und I. Schulz-Schaeffer: Technik und Handeln – Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: W. Rammert und I. Schulz-Schaeffer (Hrsg.): *Können Maschinen handeln?*, Frankfurt/New York: Campus Verlag, 2002.
- [Rao95] A. S. Rao und M. P. Georgeff: *BDI Agents: From Theory to Practice*. ICMAS, San Francisco, California, 1995.
- [Ree96] B. Reeves und C. Nass: *The Media Equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places*. Stanford, Kalifornien: CSLI Publications, 1996.
- [Sch16a] J. Schubert, S. Leonhardt, M. Schneider, T. Neumann, B. Gill und T. Teich: Smarte Quartiere 2050–flexibel, resilient und intelligent. In: *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, Hamburg, 2016.
- [Sch16b] O. Schürer, C. Müller, C. Hubatschke und B. Stangl: Raum-Spiel: Generieren eines kulturellen Raummodells durch Mensch-Roboter Interaktion. In: *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, Hamburg, 2016.
- [Var12] T. Varvadoukas, E. Giannakidou, J. V. Gómez und N. Mavridis: Indoor Furniture and Room Recognition for a Robot Using Internet-Derived Models and Object Context. In: *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, Islamabad, India, 2012.

Technologische Meta-Unterstützungssysteme in der datafizierten Arbeitswelt

N. Diefenbach und J. Lemm

RWTH University, Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie (STO)
nadine.diefenbach@rwth-aachen.de, jlemm@soziologie.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Der Aufsatz beschreibt den Datafizierungsprozess der Arbeitswelt mit Blick auf den Einsatz technologischer Unterstützungssysteme aus einer techniksoziologisch-relationalen Perspektive. Im Kontext der stetig wachsenden Datenmassen, aufgrund der steigenden Zahl an Unterstützungssystemen in beispielsweise industriellen Produktionsprozessen, liegt die Entwicklung technologischer Meta-Unterstützungssysteme (MUS) auf der Basis künstlich intelligenter Technik (KI) zu Analysezwecken und zur Weiterentwicklung von Unterstützungssystemen nahe. Dabei scheint die Betrachtung von Daten und ihrem Design als Schnittstellen zwischen heterogenen Entitäten innerhalb soziotechnischer Relationen zur Beleuchtung der Verkopplungs- und Wandlungsprozesse von möglichen künstlich intelligenten Meta-Unterstützungssystemen besonders gewinnbringend.

Abstract

Technological meta-support systems in the world of work

This paper deals with the datafication processes of the world of work, giving special consideration to technological support systems from the perspective of relational sociology of technology. It seems obvious to develop meta-support systems (MSS) based on artificial intelligence (AI) for data analysis and the technical enhancement of support systems in order to facilitate the management of large amounts of data, for example in industrial production processes. In doing so, the consideration of data and its design as an interface between heterogeneous entities in socio-technical relations appear to be a particularly effective in means to describe the coupling and change processes resulting from artificially intelligent MSS.

Keywords

Datafizierung der Arbeitswelt, technologische Meta-Unterstützungssysteme, KI

1 Einleitung

Im Zuge der unter dem Schlagwort *Industrie 4.0* beschriebenen Auswirkungen technologischer Entwicklungen auf die soziale Welt und einem beginnenden Diskurs um „Society 5.0“ [Sus18], in dem die Vernetztheit der gesamten Gesellschaft im Fokus steht, wird die Verkopplung der unterschiedlichen Lebensbereiche und -welten gerade im Kontext der Digitalisierung beleuchtet. Der gesellschaftliche Wandel wird besonders durch das als *Datafizierung* begreifbare Phänomen sichtbar (vgl. [Häu17]). Der Begriff der Datafizierung bildet dabei die Essenz der Digitalisierung und

macht es zudem möglich, die soziotechnische Relation von sozialer und digitaler Welt beschreiben zu können. Die datenmäßige Reproduktion sämtlicher Lebensbereiche und die Verknüpfung unterschiedlichster Daten miteinander bedeuten eine Verschränkung der digitalen und sozialen Sphäre, die eine Neubestimmung der sozialen Realität durch die wechselseitige Durchdringung der beiden Sphären zur Folge hat. Daten sind sozial konstruiert und als die „kleinsten binären Einheiten, die instantan und skalenfrei miteinander vernetzt werden können“ [ebd.: 2], zu verste-

hen. Damit bekommen sie eine besondere Bedeutung bei der Betrachtung gesellschaftlicher Veränderung durch die Digitalisierung. Die wechselseitige Beeinflussung der digitalen und realen Sphäre führt in eine neue Realität, die als *Virturealität* gefasst werden kann [vgl. ebd.]. Unter der *Virturealität* ist die „situativ sich ergebende Vernetzung und konsequenzielle Wechselwirkung digitaler und nicht-digitaler Module“ [ebd.: 2f.] zu verstehen. Der sich dadurch vollziehende soziale Wandel erstreckt sich auf alle Bereiche der Gesellschaft. Sichtbar wird dies beispielsweise im Alltag im Bereich des Smart Home oder für den Bereich der Arbeit bei der *vernetzten Produktion*. Technische Unterstützungssysteme bilden dabei in allen gesellschaftlichen Teilbereichen eine Form der soziotechnischen Vernetzung beider Entitäten, die sich beide „multidirektional, dynamisch und interaktiv miteinander verbinden und in Beziehung setzen“ [Wrw15]. Eine Differenzierung von Unterstützungs-, Assistenzsystemen und Hilfen ist komplex und unterliegt verschiedenen Parametern, diese zu bestimmen ist Gegenstand gegenwärtiger Forschung (u.a. [Kaw15, Kaw16, Kuk17]). Unter technischen Unterstützungssystemen sollen im Sinne Weidners, Redlichs und Wulfsbergs im Folgenden Systeme verstanden werden, die soziale Entitäten in ihren Handlungen unterstützen und diese weder partiell noch absolut substituieren (vgl. [Wrw15: 13]). Derartige Systeme sollten durch den Menschen beherrscht werden und dieser sich als Systembediener auszeichnen, die Bedienung des Systems jedoch keinerlei Gefahr darstellen [vgl. ebd.]. Neben medizinisch intendierten physischen Hilfsmitteln - beispielsweise bei Lähmung von Extremitäten - sind sie exemplarisch auch in Arbeitsprozessen repräsentiert (vgl. [Kaw15: 66]) und auch von der Datafizierung betroffen. Technische Unterstützungssysteme produzieren in ihren vielfältigen Einsatzgebieten Daten. Die Beherrschung der Datenmenge eines jeden einzelnen Unterstützungssystems und - beispielsweise im Kontext der Produktion - auch die Verknüpfung mit anderen Maschinen sowie sozialen

Entitäten steht entlang der Fragen nach Datenautonomie, des Datenschutzes und des Datenbesitzes als ständige Herausforderung im Fokus. Darüber hinaus gilt es, die Vernetzung von technologischen Unterstützungssystemen untereinander als eine mögliche Weiterentwicklung der Systeme, auch im Kontext der Entwicklung künstlich intelligenter Technik, zu berücksichtigen. Die durch verschiedene Unterstützungssysteme und deren Kopplungen untereinander entstehenden Datenmengen sowohl zu verwalten als auch analytisch zu nutzen - beispielsweise für den Einsatz und die Erforschung von noch genauer und bedürfnisorientierter arbeitenden Unterstützungssystemen - assoziiert *Meta-Unterstützungssysteme (MUS)*. Diese Systeme müssen in die Lage versetzt werden, die Daten auszuwerten und im Sinne einer *Künstlichen Intelligenz (KI)* gezielte Informationen beispielsweise für die Entwicklung neuer Unterstützungssysteme so abzuleiten, dass soziale Entitäten mithilfe der Daten neue Prozesse aktiv steuern können.

2 Datafizierung der Gesellschaft

Die Relevanz der Verknüpfung von digitalen Technologien und sozialen Entitäten ist in vielen Kontexten beobachtbar und mithilfe des in Anlehnung an Flyverbom und Madson [Flm15] entwickelten *5-Phasen-Modells der Datentechnologie* relational techniksoziologisch analysierbar. Entlang der Datenproduktion (1), der Strukturierung von Daten (2), der Datendistribution (3), Visualisierung der Daten (4) und schließlich der Steuerung mittels Daten (5) können die Kopplungsprozess zwischen den heterogenen Entitäten prozessorientiert beleuchtet werden. Die Phasen müssen hierbei nicht zwingend der angeführten Ordnung des Modells folgen, sondern innerhalb dessen kann es auch jederzeit zu „Schleifen, Sprüngen und Abbrüchen kommen“ [Häu17: 17].

Bei der *Produktion von Daten*, der 1. Phase des Modells der Datentechnologie, können zwei Datenquellen identifiziert werden, die Nutzungsdaten und die Metadaten. Nutzungsdaten sind Daten, die bei der Nutzung von

technischen Artefakten oder Diensten entstehen [vgl. Häu i.E.: 9]. Diese können nochmals in Konfigurationsdaten aufgespalten werden, die bei der Nutzung der Geräte entstehen, und in Daten, die durch die Eingaben der NutzerInnen produziert werden [vgl. ebd.]. Darüber hinaus fallen Metadaten im Sinne Baeckers [Bae13] an, also Daten, die auf andere Daten verweisen und „durch die Auswertung von anderen Daten erzeugt“ [Häu17: 4] werden. Zudem können neben den Datenquellen auch verschiedene Formen der Produktion von Daten unterschieden werden, so können bei der Nutzung von digitalen Diensten Daten anfallen oder aus der „Selbstvermessung von Entitäten [...] [,] die insbesondere für Analysezwecke“ [Häu i.E.: 10] gesammelt werden. Schließlich gibt es „Sensordaten von miteinander vernetzten Geräten“ [Häu17: 4]. Gerade die Identifikation der Datenquellen und -formen ist für die Analyse des Datafizierungsprozesses, der sozialen Konstruktion von und durch Daten, notwendig [Häu i.E.: 10]. In der 2. Phase, der Phase der *Strukturierung von Daten*, kommen neben beispielsweise dem technischen Verfahren des Maschinenlernens insbesondere grundsätzliche Prinzipien der Datenstrukturierung zur Anwendung: erstens die Bündelung großer verteilter Datenmengen zum Zweck der Analyse, zweitens das Prinzip der Modularisierung, bei der wegen der Schnittstellenvereinheitlichung Module nach Belieben miteinander verbunden werden können. Als drittes Prinzip kann die Datenaggregation genannt werden, durch die Auswertungen skaliert werden können. Das letztere Prinzip umfasst die Analyse der Nutzungsdaten in Echtzeit, deren Ergebnisse wiederum in die Nutzung miteinfließen können (vgl. [Häu17: 4]). In der 3. Phase, der Phase der *Distribution der Daten*, ist entscheidend, welche AkteurInnen Zugriff auf die Daten haben und welche AkteurInnen in welcher Art davon tangiert sind [vgl. ebd.]. Hier können drei Akteurstypen differenziert werden: „Die DatenproduzentInnen, die DateneignerInnen und die EndnutzerInnen“ [ebd.]. Die 4. Phase, die Phase der *Visualisierung der Daten*, kann als eine „eigene konstruktive Phase im Prozess der

Datentechnologie“ [ebd.: 5] verstanden werden. So wird abermals eine zweckgerichtete Auswahl von Daten getroffen, die zudem in einer bestimmten Form dargeboten werden. Insbesondere die Wahl der Form ist maßgeblich für das Verständnis und die Interpretation der Daten durch „technische Laien“ [ebd.]. Hierunter kann auch eine Diskussion über das Design der Daten als Schnittstelle zwischen sozialen und technischen Entitäten angeschlossen werden, auf das zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal rekurriert wird. In der 5. und letzten Phase des Modells, der Phase der *Steuerung mittels Daten*, wird die Vernetzung von digitaler und sozialer Sphäre beschreibbar, denn hier kann schließlich der Prozess der durch Daten aufgegliederten sozialen Realität und gerade deren Erzeugung durch Daten nachvollzogen und beobachtet werden. Mithilfe des Modells soll im Folgenden die Datafizierung der Arbeitswelt näher beschrieben und somit die Kopplungsprozesse der digitalen und sozialen Sphäre techniksoziologisch relational beleuchtet werden.

2.1 Datafizierung der Arbeitswelt

Durch Prozesse der Datafizierung wandelt sich die Arbeitswelt (vgl. [Häu17]). Unternehmen versuchen sich an die durch die Digitalisierung angeregten technologischen Veränderungen anzupassen, indem sie im Bereich „sachtechnischer Ausstattung, [...] Organisationsstruktur und -kultur“ [ebd.: 12], aber auch in MitarbeiterInnenschulung investieren [vgl. ebd.]. Dabei liegt die Hoffnung darin, dass durch den Einsatz von „Datenmanagement-Systemen“ [ebd.] eine Effizienzsteigerung im Ressourcenverbrauch sowie bei der Bearbeitung von Aufträgen generiert werden kann. Die Verwendung unterstützender digitaler Systeme in den unterschiedlichsten Bereichen der Arbeitswelt lässt auf mehreren Ebenen Daten entstehen. Dies verweist wiederum auf eine Verschränkung digitaler und sozialer Entitäten in diesem Kontext und unterstreicht den Wandel, der auch mit dem Begriff *Arbeit 4.0* diskutiert wird [ebd.]. Die Entstehung einer Virturealität in diesem Bereich sozialer

Realität kann ebenfalls mithilfe des 5-Phasenmodells der Datentechnologie beschrieben und analysiert werden. Am Beispiel der vernetzten Produktion unter Einsatz neuer soziotechnischer Systeme in der Textilbranche soll dies vorgestellt werden.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes *SozioTex – Neue soziotechnische Systeme für die Textilbranche*, das am Institut für Textilforschung und am Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie der RWTH Aachen University durchgeführt wird, können unterschiedliche Unterstützungssysteme für die Textilbranche ausgemacht werden, welche sich unter anderem auf den Einsatz von Software zur Assistenz in bestimmten Arbeitsprozessen beziehen, so zum Beispiel Tablet-Apps oder Smartwatches [vgl. Haa16: 56f; 64f.]. Eine Tablet-App kann beispielsweise beim Wechsel des Kettbaumes an einer Webmaschine unterstützend eingesetzt werden [vgl. ebd.]. Dabei wird die Tablet-App als Mitglied der Interaktionskette zwischen Maschine und MitarbeiterIn eingebettet [vgl. ebd.]. Die Interaktionen verlaufen damit zwischen der App und einem/einer MitarbeiterIn sowie zwischen App und automatisierter Webmaschine [vgl. ebd.]. Dadurch soll eine Reduktion der Komplexität des Umgangs mit der Webmaschine erreicht und der Kettbaumwechsel erleichtert werden. In diesem Kontext lassen sich bei der Datenproduktion (1) drei unterschiedliche Datenquellen differenzieren: Daten, die durch die MitarbeiterInnen erzeugt werden, Daten, die durch die verwendeten Maschinen entstehen und Daten, die durch die zwischen den Menschen und den Maschinen eingesetzten Unterstützungs- bzw. Assistenzsystemen produziert werden. Diese Daten lassen sich nochmals in Nutzungs- und Metadaten unterteilen. Erstere sind Daten, die im Nutzungsprozess der hier betrachteten Tablet-App oder der Webmaschine entstehen (vgl. [Häu17: 12]). Die Daten lassen sich nochmals in drei weitere Unterkategorien differenzieren. In Konfigurationsdaten (Grund- und Werkzeugeinstellungen oder spezielle Einstellungen des Gerätes bzw. der Maschine), in Daten die

durch die Gerätenutzung entstehen (z.B. Daten, die den Webprozess oder die Bedienung der App protokollieren) und schließlich in Daten, die durch die NutzerInnen-Eingaben entstehen. Metadaten entstehen im gesamten Arbeitsprozess bei der Benutzung der Maschinen und der Unterstützungs- bzw. Assistenzsystemen sowie über die MitarbeiterInnen, die „Daten über ihr Arbeitsverhalten“ [ebd.: 13] produzieren. In Bezug auf Unterstützungssysteme können diese Daten Auskunft darüber geben, wie häufig diese benutzt werden oder ob Fehler in der Bedienung sowie im System selbst auftauchen. Allein die Auswertung dieser Daten könnte beispielsweise zur Optimierung der Unterstützungssysteme genutzt werden oder die Frage nach der Akzeptanz seitens der AnwenderInnen beantworten helfen. Im Bereich der Datenformen sind hier neben den Daten, die aus der Nutzung digitaler Dienste entstehen, und Daten, die durch Sensoren und Aktoren produziert werden, auch die in diesem Kontext anfallenden Selbstvermessungsdaten zu nennen. So können beispielsweise Daten aus der Selbstvermessung der Unterstützungssysteme für spätere Optimierungsanalysen genutzt werden. Daten sind zum Zeitpunkt ihrer Erhebung bereits designierte Werte und können in der 2. Phase für bestimmte Zwecke strukturiert werden. Beispielsweise könnten hier Daten gebündelt werden, die Vergleiche zwischen Maschinen oder auch zwischen MitarbeiterInnen zulassen. Bei der Distribution der Daten (3) wird nach Zugriffsrechten und der Zielsetzung des Zugriffs gefragt [vgl. ebd.: 14]. „Daten der Arbeit sind [...] inhärent exklusiv oder inklusiv, schließen MitarbeiterInnen in bestimmten Diskursen aus oder integrieren sie, was ein klares Charakteristikum der Macht durch Daten sichtbar werden lässt“ [ebd.]. Die Organisationsstrukturen wirken bei der Datendistribution entscheidend mit. Sowohl eine aktive als auch passive Distribution lässt sich am Beispiel von *SozioTex* „beim Einsatz von Assistenzsystemen durch die MitarbeiterInnen auf dem Shopfloor“ [ebd.] verdeutlichen: Die MitarbeiterInnen können „prozessbezogenes

Wissen in einer Datenbank des Assistenzsystems“ [ebd.] bereitstellen. Darüber hinaus werden entlang des gesamten Arbeitsprozesses Daten passiv erhoben und automatisch gespeichert. Unter dem Aspekt der Inklusion von Daten kann konstatiert werden, dass die MitarbeiterInnen die Möglichkeit haben „nach der Strukturierung der Daten die Kennziffer ihrer Schicht“ [ebd.] abzurufen und so den Prozess einer Optimierung zu starten. Exkludierend hingegen ist die Tatsache, dass diese MitarbeiterInnen jedoch nicht die Möglichkeit des Vergleiches mit anderen Schichten haben, was ausschließlich der Ebene des Managements vorbehalten bleibt [vgl. ebd.: 14f.]. Diese Hierarchie kann auch im Bereich der Visualisierung (4) relevant sein, und zwar in Bezug auf das Verständnis der Visualisierungsformen der Daten von MitarbeiterInnen unterschiedlicher Ebenen. Das Produktionsmanagement bekommt Daten „in Kontroll- bzw. Kenn- und Erwartungswerten bzw. -diagrammen dargestellt“ [ebd.: 15], wohingegen für FacharbeiterInnen Daten in Form von Tutorials aufbereitet werden. In Tutorial-Apps kann unter anderem auch das Wissen einzelner MitarbeiterInnen eingebunden und „zur Weitergabe an die Auszubildenden aufbereitet werden“ [ebd.]. Eine solche App kann Auszubildenden assistierend zur Seite stehen, um Einstellungen an den Webmaschinen vornehmen zu können, oder auch älteren MitarbeiterInnen zur Reaktualisierung von bereits bekannten, aber nicht internalisierten Prozessen dienen. In diesem Beispiel dienen die Assistenzsysteme allein dem Kompetenzaufbau. Die Steuerung mittels Daten (5) vollzieht sich in dem hier beleuchteten Beispiel unter dem Aspekt der Zeiteffizienz an zwei Schichten mit verschiedenen Arbeitsabläufen: Durch Produktionsprozesssimulationen ist es möglich, die optimale Maschinenauslastung zu errechnen und eine Anpassung der Arbeitsschritte durch die MitarbeiterInnen an die Auslastungskennziffern vorzunehmen. Diese analogen Arbeitsprozesse mit „in-silicio“ Simulationen zu Echtzeitprozessen“ [ebd.: 16] zu synthetisieren, verweist auf den Beginn einer Virturealität [vgl. ebd.].

Es ist jedoch auch vorstellbar, dass im Kontext der Arbeitswelt Unterstützungs- bzw. Assistenzsysteme mit weiteren (Unterstützungs-)Systemen, aber auch mit Produktionsmaschinen und/oder sozialen Entitäten vernetzt werden können. Die Verknüpfung der Maschinen untereinander über Applikationen oder die direkte Verbindung unterschiedlicher Apps in deren Kopplung mit Menschen ist nicht nur im Bereich der Entlastung von schwerer körperlicher Arbeit, sondern auch als Trend hin zu einer vernetzten Produktion im Sinne einer „Smart Factory“ [Bre18: 40] zu beobachten. Die allein aus der Vernetzung technologischer Unterstützungssysteme resultierenden Datenmengen zu organisieren, stellt eine Herausforderung dar. Auswertung bzw. Beherrschung der Organisation, des Einsatzes, der Bedienung durch die FacharbeiterInnen oder auch der technischen Funktionalität der einzelnen technologischen Unterstützungssysteme gewinnt an Komplexität. Gerade hier scheint die Entwicklung von Meta-Unterstützungssystemen auf der Basis selbstlernender Algorithmen zur Beherrschung, zum Verständnis und für den kompetenten Umgang mit den Daten naheliegend. Diese Entwicklung wird auch zunehmend von der Regierung der Bundesrepublik Deutschland fokussiert, was im *Eckpunkte-Papier zur Strategie Künstliche Intelligenz (KI)* deutlich wird [vgl. Bur18]. Die steigende Komplexität der technologischen Entwicklung sowie Ängste in Bezug auf die Verdrängung menschlicher Arbeit durch Automation, Robotik und/oder selbstlernender Algorithmen (KI) lenken den Blick nicht nur auf die Akzeptanz der so produzierten Waren, sondern auch auf die Akzeptanz des veränderten Produktionsprozesses bei den FacharbeiterInnen (vgl. [Pfe18: 45]), welche im direkten Kontakt mit den Unterstützungssystemen stehen. In einer virtuellen Produktion kann gerade das Design als soziotechnische Relation sowohl in Bezug auf die Gestaltung sozialer Virturealität hin beobachtet werden als auch Schlüssel für die Frage nach der Akzeptanz von Unterstützungssystemen und Meta-Unterstützungssystemen sein.

3 Meta-Unterstützungssysteme

Unter Meta-Unterstützungssystemen (MUS) sollen im Folgenden Systeme verstanden werden, welche Daten verarbeiten, die beispielsweise in der Produktion durch unterschiedliche und vielzählige technische Unterstützungssysteme entstehen (Abb. 1).

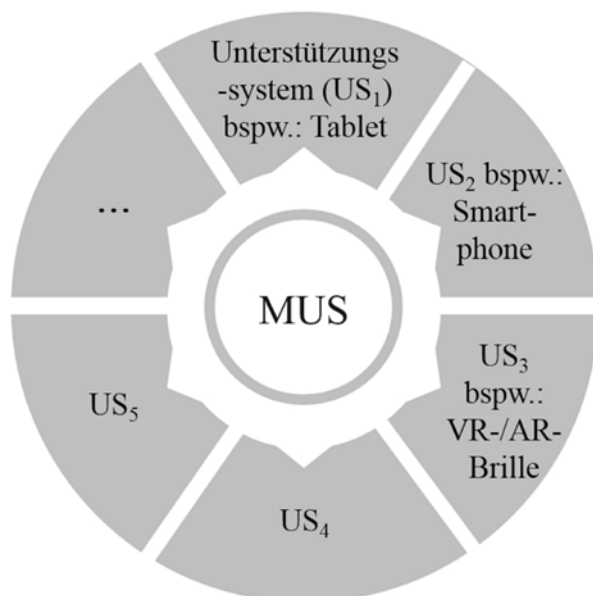


Abbildung 1: MUS in Anlehnung an <https://www.microtech.de/erp-wiki/erp>

Diese Datenmasse, die durch die vielen, beispielsweise im Prozess der Arbeit beteiligten Entitäten entstehen, systematisch zu sammeln, auszuwerten, zu analysieren und schließlich zu interpretieren, scheint mithilfe intelligenter Algorithmen (KI) besonders reizvoll und naheliegend. Ein solches System könnte nicht nur die Daten einzelner Unterstützungssysteme sammeln und verarbeiten, sondern die Verknüpfung vieler verschiedener Systeme ermöglichen. Dabei würden demnach Daten vom MUS aufgenommen, die durch die Kopplung derartiger Systeme untereinander, durch die Interaktion mit sozialen Entitäten und durch die Vernetzung mit den Maschinen entstehen. Ein Unterstützungssystem, was diesen Prozess (teilweise) übernehmen soll, kann somit als ein Unterstützungssystem zweiter Ordnung, also als Meta-Unterstützungssystem betrachtet werden. Die Daten, die wiederum aus diesem System heraus beispielsweise in den Produktionsprozess eingespeist werden und

dort wiederum Daten produzieren, lassen eine virtuelle Welt entstehen.

Die technologische Entwicklung eines interoperablen, unternehmens- und branchenunabhängigen und damit neutralen Meta-Unterstützungssystems, gerade mit Blick auf den Einsatz Künstlicher Intelligenz, drängt sich als Forschungsperspektive auf und steht auch im Fokus der Bundesregierung (vgl. [Bur18]). Neben der Entwicklung geeigneter Datenbanklösungen, die die Datenmenge fassen und auch abbilden können, scheint es möglich, mithilfe des 5-Phasen-Modells der Datentechnologie die Datenprozesse bzw. den Datenfluss innerhalb eines Meta-Unterstützungssystems – beginnend bei der Datenproduktion (1) bis hin zur Steuerung durch die Daten (5) – für unterschiedlichste Beobachtungsperspektiven beschreibbar werden zu lassen, um beispielsweise die Bedürfnisorientierung bei den AnwenderInnen untersuchen zu können und grundsätzlich die sich in diesem Fall aufdrängenden Veränderungen der sozialen Realität, hier der Arbeitswelt, durch die entstehende Virtualität in ihren diversen Facetten techniksoziologisch-relational beschreiben zu können. Um einerseits diesen Prozess und andererseits die Durchdringung der Realitäten durch ein Meta-Unterstützungssystem zu beleuchten, müssen auch hier die Verkopplungsprozesse, also das, was zwischen den einzelnen Datenerzeugungs- und Verarbeitungsprozessen genau geschieht, betrachtet werden. Gerade für die Analyse von Themen wie Datenautonomie, Datenschutz und gesellschaftliche Akzeptanz kann entlang des 5-Phasen-Modells der Datentechnologie für die Betrachtung der Verkopplungs- und Wandlungsprozesse von Daten und ihrem Design als Schnittstellen zwischen heterogenen Entitäten soziotechnischer Relationen ein wertvoller Schlüssel sein [vgl. Häu i.E.].

3.1 MUS und Daten als Schnittstellen

Aufgrund der zweckmäßigen Bestimmung von Daten kann von ihnen als „designierte Werte“ [Häu i.E.: 6] gesprochen werden. Daten sind nur in „ihrer Vernetzung untereinander“ [vgl. ebd.: 7] bedeutungsvoll. Sie müssen

erst auf „Datenträgern festgehalten, in Form einer Abfolge elektrischer Impulse binär zum Wirken gebracht, in Datenbanken archiviert und in Form von Ergebnisdaten den menschlichen Sinnen zugänglich gemacht“ [ebd.: 5f.] werden. Die Daten, die durch technologische Unterstützungssysteme entstehen, durchlaufen demnach ebenso eine Vergegenständlichung, müssen also eine materielle Dimension besitzen [vgl. ebd.: 6]. In Anlehnung an Debray [Deb03] verfügen Daten somit über eine „organisierte[...] Materie“ [Häu i.E.: 6.] und „materialisierte[...] Organisation“ [ebd.], die eine Übertragung eines „spezifische[n] Sinn[s]“ [ebd.] erst ermöglicht. Diese Übertragungsleistung von einer Entität zu einer anderen, also die „Vergegenständlichung von Sinn“ [ebd.], kann auch als Materialisierung betrachtet werden [vgl. ebd.]. Dabei stellt die *organisierte Materie* den Anschluss der Technik für den Menschen dar [vgl. Häu16: 34]. Eine App muss auf einem Tablet zunächst installiert werden, damit auf sie als entsprechend organisierte Daten jederzeit zurückgegriffen werden kann. Das heißt, sie macht die Nutzungsdaten eines Unterstützungssystems als Repräsentation für die tatsächliche Bedienung durch die AnwenderInnen erst durch beispielsweise Visualisierungen anschaulich bzw. materialisiert diese unter anderem zur (Neu-)Steuerung des Unterstützungssystems. Die *materialisierte Organisation* hingegen beschreibt die Übertragung von Denkmodellen durch technisch Materielles [vgl. ebd.: 39]. Diese können sich direkt bei der Entwicklung technologischer Systeme manifestieren, bzw. materialisieren und bei der Nutzung entsprechend übertragen. Beispielsweise materialisiert sich eine bestimmte Organisation von Daten durch eine entsprechende Konfiguration der benutzten App, durch die die Anwendung dieser entsprechend gelenkt wird. „Die in Algorithmen eingeschriebenen Zwecksetzungen wirken sich dabei ungebremsst auf das soziotechnische Umfeld aus“ [Häu17: 4]. Im Kontext eines MUS wären die Daten verschiedenster technologischer Unterstützungssysteme so angeordnet, dass sich unter anderem

sämtliche Nutzungs- und Anwendungsprozesse überblicken ließen. Durch die neuen Vernetzungen und Kopplungen der Unterstützungssysteme, die jeweils Schnittstellen zwischen heterogenen Entitäten darstellen, entstehen weitere Daten. Diese Daten können gewissermaßen auch als Schnittstelle zwischen der sozialen und digitalen Sphäre betrachtet werden, die schließlich in eine Virturealität überführen.

Aus einem Datennetzwerk können sich Folgerungen für die MitarbeiterInnenführung oder Optimierungsanweisungen für den Einsatz von technologischen Unterstützungssystemen ableiten lassen. Dabei spielt auch das Design der aufbereiteten Daten innerhalb der soziotechnischen Relation eine wichtige Rolle. Design soll hier als wechselseitige Beeinflussung der heterogenen Identitäten verstanden werden. Im Kontext von Meta-Unterstützungssystemen sind heterogene Entitäten ebenfalls miteinander durch Daten verbunden. Über Designprojekte, in Anlehnung an White [Whi92], regulieren und kontrollieren diese den Einfluss nach außen und innen [vgl. Häu12: 285]. Designprojekte der verschiedenen Identitäten treffen aufeinander und treten über unterschiedliche Strategien in Aushandlung miteinander. Beispielsweise muss durch die Art und Weise der Konstruktion eines Meta-Unterstützungssystems als „sociotechnical ambage“ [ebd.: 281] eine bestimmte Bedienung vorgegeben sein, die als solche auch von der/dem MitarbeiterIn verstanden werden muss. Zudem muss die Technik auch im Sinne einer „technocultural ambiguity [ebd.] einen gewissen Interpretationsspielraum zur Gewährleistung von Anschlussfähigkeit bereitstellen. Diese Logik muss sich konsequenterweise auch umgekehrt vollziehen, damit unterschiedliche Entitäten erfolgreich in Beziehung treten können.

Auch und gerade beim Einsatz von intelligenten Algorithmen (KI) in einem Meta-Unterstützungssystem für die Auswertung der bereits erwähnten Daten verschiedenster Unterstützungssysteme wie Smartphones, Tablets oder VR-Brillen, zur Koordinierung, War-

tung und Steuerung der Daten stellen sich Fragen nach den Schnittstellen und des Datendesigns. Im Kontext des 5-Phasen-Modells sind beispielsweise die Beleuchtung von Modifikationen bestimmter Berufsfelder durch künstlich intelligente Meta-Unterstützungssysteme zu nennen, auch deren Akzeptanz durch FacharbeiterInnen oder die Auswirkungen von Machtverhältnissen in Bezug auf den Besitz von Daten. Die gesellschaftlichen Veränderungen, die sich durch ein solches Industrie 4.0-Szenario ergeben, müssen insbesondere mit dem Blick auf die Datenprozesse techniksoziologisch-relational erforscht werden.

4 Fazit

Die Entwicklung von unterschiedlichen Unterstützungssystemen nimmt zu und auch ihre Einsatzgebiete werden immer vielfältiger. Sowohl ihre gesellschaftliche Akzeptanz als auch die Beherrschung des steigenden Datenaufkommens stellt eine bedeutsame Herausforderung der nächsten Zeit dar. Meta-Unterstützungssysteme könnten hierbei eine techni-

sche Zukunftslösung für die Be- und Verarbeitung der Daten mithilfe intelligenter Algorithmen darstellen und zu einer stärkeren Vernetzung führen. Im Kontext der Arbeitswelt weist ein solches System nicht nur auf ein Vorranschieben von Entwicklungen zur Industrie 4.0 hin, sondern steht beispielhaft auch für eine datafizierte Gesellschaft, eine virtuelle Welt. Zur Beschreibung derartiger Prozesse aus einer techniksoziologisch-relationalen Perspektive scheint sich die Konzeption der Daten als Schnittstellen und deren Design im Rahmen des 5-Phasen-Modells der Datentechnologie anzubieten. Insbesondere mit Bezug auf die Frage nach der gesellschaftlichen Akzeptanz von technologischen Unterstützungssystemen scheint sich dieses Theorieangebot aufzudrängen. Bei der Entwicklung von Meta-Unterstützungssystemen könnten zudem, möglicherweise mithilfe von Visualisierungen der Datenmengen und des Datenflusses in einem Netzwerk, Relationen zwischen der digitalen und sozialen Welt offenbart und Veränderungen sozialer Realität beschreibbar werden.

Literatur

- [Bae13] D. Baecker: Metadaten. Eine Annäherung an Big Data. In: Heinrich Geiselberger/Tobias Moorstedt (Hrsg.): Big Data. Das neue Versprechen der Allwissenheit. Berlin: Suhrkamp, S. 156-186, 2013.
- [Bre18] M. Breme: Abschied vom Fließband, Einzug von Künstlicher Intelligenz. In: Institut für Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA) (Hrsg.): Konferenz-Band: Roboter – Assistenz-Systeme – Künstliche Intelligenz. Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion. Berlin: 2018, S. 40-41. http://igza.org/wp-content/uploads/2018/02/IGZA-Konferenz-Band_Robotik-und-KI.pdf (Zugegriffen: 30.10.2018).
- [Bur18] Eckpunkte der Bundesregierung für eine Strategie Künstliche Intelligenz https://www.bmbf.de/files/180718%20Eckpunkte_KI-Strategie%20final%20Layout.pdf (Zugegriffen: 30.10.2018).
- [Deb03] R. Debray: Einführung in die Mediologie. Bern u.a.: Haupt, 2003.
- [Flm15] M. Flyverbom und A. K. Madsen: Sorting Data out. Unpacking big data value chains and algorithmic knowledge production. In: F. Süssenguth (Hrsg.): Die Gesellschaft der Daten. Über die digitale Transformation der sozialen Ordnung. Bielefeld: transcript, S. 123-144, 2015.
- [Haa16] A. Hansen-Ampah: Gestaltungsempfehlungen für soziotechnische Assistenz-Systeme für die Textilbranche aus techniksoziologischer Sicht. Masterarbeit an der RWTH Aachen University, 2016.

- [Häu i.E.] R. Häußling: Daten als Schnittstellen zwischen algorithmischen und sozialen Prozessen. Konzeptuelle Überlegungen zu einer Relationalen Techniksoziologie der Datafizierung in der digitalen Sphäre. In: SozW, im Erscheinen.
- [Häu17] R. Häußling, M. Eggert, D. Kerpen, J. Lemm, N. Strüver und N. Ziesen: Schlaglichter der Digitalisierung: Virtureale(r) Körper – Arbeit – Alltag. Ein Vorstoß zum Kern der Digitalisierung aus einer techniksoziologisch-relationalen Perspektive. In: R. Häußling (Hrsg.): Working Paper des Lehrstuhls für Technik- und Organisationssoziologie, 2017.
- [Häu16] R. Häußling: Zur Rolle von Entwürfen, Zeichnungen und Modellen im Konstruktionsprozess von Ingenieuren. Eine theoretische Skizze. In: T. H. Schmitz, R. Häußling, C. Mareis und H. Groninger (Hrsg.): Manifestationen im Entwurf. Design – Architektur – Ingenieurwesen. Bielefeld: transcript, S. 27-64, 2015.
- [Häu12] R. Häußling: Design als soziotechnische Relation. Neue Herausforderungen der Gestaltung inter- und transaktiver Technik am Fallbeispiel humanoider Robotik. In: S. Moebius und S. Prinz (Hrsg.): Das Design der Gesellschaft. Zur Kulturosoziologie des Designs. Bielefeld: transcript, S. 273-298, 2012.
- [Kuk17] C. Kunze und P. König: Systematisierung technischer Unterstützungssysteme in den Bereichen Pflege, Teilhabeunterstützung und aktives Leben im Alter. In: I. Hämmerle und G. Kempter (Hrsg.): Umgebungsunterstütztes Leben: Beiträge zum Usability Day XV. Lengerich/Westfalen: Pabst Science Publishers, S. 15-21, 2017.
- [Kaw16] A. Karafillidis und R. Weidner: Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung. In: R. Weidner (Hrsg.): Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, S. 233- 248, 2016.
- [Kaw15] A. Karafillidis und R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, S. 66-89, 2015.
- [Pfe18] S. Pfeiffer: Smarte Technik – smarter Mensch? In: Institut für Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA) (Hrsg.): Konferenz-Band: Roboter – Assistenz-Systeme – Künstliche Intelligenz. Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion. Berlin: 2018, S. 42-50. http://igza.org/wp-content/uploads/2018/02/IGZA-Konferenz-Band_Robotik-und-KI.pdf (Zugegriffen: 30.10.2018).
- [Sus18] Y. Shiroishi, K. Uchiyama und N. Suzuki: Society 5.0: For Human Security and Well-Being. In: Computer, Vol. 51(7), S. 91-95, 2018.
- [Whi92] H. C. White: Identity and Control. A Structural Theory of Social Action. Princeton: University Press, 1992.
- [Wrw15] R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg: Technische Unterstützungssysteme. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.

Neue Curricula braucht die Hochschule – Ingenieur*innen zur Arbeitsgestaltung befähigen

Ch. Rudlof

Hochschule Hannover, Zentrum für Lehre und Beratung
christiane.rudlof@hs-hannover.de

Kurzzusammenfassung

In diesem Beitrag geht es um technische Unterstützung für Menschen in arbeitsbezogenen Kontexten, genauer um die Menschen, die solche Systeme entwickeln, oft Ingenieur*innen. Diese sollten über Kompetenzen in Bezug auf Arbeitsgestaltung, Usability Engineering und Komponenten soziotechnischer Systeme und deren Interdependenzen verfügen. Aktuell gibt die technologische Entwicklung (Industrie 4.0) Anlass, die Themen (neu) aufzugreifen, denn zunehmend werden Mensch-Maschine-Schnittstellen jeglicher Art Bestandteil von Arbeitsumgebungen. Welche Rolle der Mensch zukünftig in diesen Arbeitswelten 4.0 spielt, ob er „out of the loop“ ist oder aktiv verantwortlicher Entscheider und Gestalter der Wertschöpfungsprozesse hängt auch davon ab, ob Ingenieur*innen sich durch ihre Ausbildung dafür mit verantwortlich fühlen und aktiv gestalten.

Abstract

Universities need new curricula – Enabling engineers to structure work

This article deals with technical support for people in work-related contexts, more precisely the people who develop such systems, often engineers. They should have competences in work design, usability engineering and components of socio-technical systems and their interdependencies. At present, technological development (Industry 4.0) gives reason to (re)address the issues, because human-machine interfaces of all kinds are increasingly becoming part of working environments. What role people will play in these 4.0 working environments in the future, whether they are "out of the loop" or actively responsible decision-makers and designers of value-added processes also depends on whether engineers feel responsible for this through their training and actively shape it.

Keywords

Soziotechnische Systemgestaltung, Usability Engineering, Curricula, Ingenieurausbildung

1 Einleitung

Absolvent*innen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge, wie z.B. Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik, sind an der Gestaltung technischer Unterstützungssysteme beteiligt. In diesem Beitrag wird dargelegt, wie die Curricula dieser Studiengänge gestaltet werden sollten, damit Ingenieur*innen zur Arbeitsgestaltung befähigt werden.

Die technologische Entwicklung wird durch das Zusammenwachsen der Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik getrieben. Die Ingenieurlösungen von morgen

erstrecken sich über die Grenzen dieser und weiterer Fachrichtungen hinweg. Die disruptive technologische Entwicklung („Industrie 4.0“) hat auch erhebliche Auswirkungen auf die Unternehmensorganisation, ebenso wie auf die Rolle des Menschen darin und damit auf die Arbeitsgestaltung der Zukunft. Der digitale Wandel folgt nicht einem deterministischen Muster, sondern kann und muss gestaltet werden. Zwei Szenarien, die sich nicht ausschließen müssen, sind denkbar. Entweder wird alles automatisiert, was möglich ist

(technologiezentriert) oder es wird unter Berücksichtigung verschiedener Zielgrößen automatisiert (komplementäre Automatisierung). Im Automatisierungsszenario steuert die intelligente Maschine die Tätigkeiten des Menschen. Im Werkzeugsszenario (komplementäre Automatisierung) verbleiben viele Entscheidungen beim Menschen, die Informationstechnik wirkt lediglich assistierend. Der Mensch wird als intelligenter Dirigent des Wertschöpfungsprozesses gesehen, der flexibel Defizite feststellen kann, jederzeit bereit ist, Fehlersituationen aufzulösen, zu improvisieren und entsprechende Maßnahmen in den Prozess einzubringen. Die Diskussion um autonomes Fahren zeigt, dass technisch vieles möglich ist. Studien zeigen jedoch z. B., dass der Mensch bei einem Systemausfall in Systemen mit hoher Automatisierungsstufe länger benötigt die Steuerung selbst zu übernehmen, als in Systemen mit niedrigerer Automatisierungsstufe. In diesem Sinne sind vielleicht bessere Systeme schlechter [Nie18]. Diese Erfahrungen sollten für die Gestaltung industrieller Arbeits- und Leitprozesse und die Diskussion darüber, ob es sinnvoll ist, den Menschen „in the loop“ zu halten oder nicht, berücksichtigt werden.

Mit Lösungen, wie technischen Unterstützungssystemen in Arbeitskontexten (in der Regel Hard-/Softwarekombinationen) sind Ingenieur*innen an der Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft beteiligt, vielleicht sogar mehr als Politik und Gesellschaft. Ingenieurarbeit wirkt determinierend auf das Erwerbsleben, denn durch die Arbeit von Ingenieur*innen wird z.B. mitbestimmt, wie (ggfs. arbeitsteilig) gearbeitet wird, welche qualifikatorischen Voraussetzungen erforderlich sind.

Deshalb müssen die Curricula ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge inter- und transdisziplinär neu ausgerichtet werden. Interhier im Sinne von: das Vorgehen und Vokabular der anderen Disziplin kennen, Transhier im Sinne von Entwicklung eines neuen übergreifenden Vorgehens, Vokabulars u.ä.

Im Folgenden wird anhand von vertrauten Lehrthemen (Arbeitsgestaltung, Usability Engineering) eine solche Vorgehensweise beispielhaft dargestellt.

2 Beispiel: Die Lehrthemen Arbeitsgestaltung und Usability Engineering

Die Grundlagen für die Analyse, Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen bietet die Arbeitswissenschaft als ingenieurwissenschaftliche Bezugsdisziplin. Usability Engineering ist eine transdisziplinär fundierte Vorgehensweise, um interaktive Produkte mit hoher Gebrauchstauglichkeit herzustellen. Dies umfasst die Entwicklung von innovativen Nutzungskonzepten, Nutzungsanforderungen, Prototypen sowie deren Validierung, Bewertung und schrittweisen Verbesserung unter systematischer, kontextabhängiger Anwendung von spezifischen Methoden im Rahmen des Entwurfs-, Entwicklungs- und Pflegeprozesses.

In den traditionellen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen wie Maschinenbau wird das Thema Arbeitsgestaltung aus arbeitswissenschaftlicher, ergonomischer Sicht behandelt. Lehrthemen sind die Analyse und Gestaltung des Arbeitsplatzes, des Arbeitsablaufs, der Arbeitsumgebung, die physischen Anforderungen, das Belastungs-/Beanspruchungskonzept, zeitliche, personale und ökonomische Faktoren u.ä.

In den Curricula der jüngeren ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge wie Informatik oder Medieninformatik hat sich das Lehrthema Usability (früher: Software-Ergonomie) etabliert. Allerdings werden hier oft nur Gestaltungsregeln für Produkte, eventuell noch Testmethoden thematisiert, ggfs. E-Commerce orientiert. Dem entwicklungsprozessbezogenem Thema User-Requirements-Engineering (Ermittlung und Validierung von Nutzungsanforderungen) wird wenig Raum eingeräumt, ist jedoch eines der Kernthemen im Usability Engineering. Nicht in allen Informatik-Studiengängen werden Software- und Usability Engineering verzahnt und Methodisches dazu eingeübt. Die daraus

resultierende fehlende Kompetenz der Absolvent*innen macht sich in realen Projekten u.a. ökonomisch bemerkbar. Denn fragt man Benutzer*innen im arbeitsorientierten Kontext nach Problemen mit Anwendungssystemen, stellt man fest, dass umständlich zu bedienende oder gar fehlende Funktionen, nicht zielführende Handlungskonzepte, nicht verstandene mentale Modelle, nicht nutzungszentrierte Informationsarchitekturen die tägliche Arbeit regelrecht behindern, Fehlhandlungen und damit Kosten verursachen usw. Vieles läuft nur, da der flexibel denkende Mensch Workarounds findet.

3 Verzahnung der Themen unter dem Konzept soziotechnischer Gestaltung

Ingenieur*innen konzeptionieren, dimensionieren, konstruieren, entwickeln und gestalten virtuelle und materielle Produkte und Prozesse. Zukünftig sollten die curricularen Inhalte der ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge bezüglich Arbeitsgestaltung auf die neuen Arbeitswelten abgestimmt sein. Die soziotechnische Gestaltung ist bereits in den 1970er diskutiert und in F&E-Projekten erforscht worden, jedoch bis heute nicht (in ausreichendem Maße) in die Lehre eingeflossen. Die beiden Themenfelder Arbeitsgestaltung und Usability Engineering sollten neu strukturiert und verzahnt werden. Denn „Ergonomie ist nicht auf Mensch-Maschine-Interaktion zu reduzieren. Nicht erst die Steuerung von Maschinen, sondern jede Maschinisierung selbst ist mit Veränderungen in der Teilung der Arbeit, aber auch mit Erweiterung bzw. Entwertung von Qualifikationen und mit einer Veränderung von Kontrolle verbunden.“ [Net05]. Arbeitsgestaltung und Usability Engineering sollten in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen unter dem Konzept der soziotechnischen Systemgestaltung als Lehrthema angeboten werden. Die soziotechnische Perspektive nimmt Technologie, Organisation und Mensch ganzheitlich in den Blick. Als soziotechnische Gestaltung bezeichnet man die „Gestaltung von Prozessen mit dem Ziel einer planvollen Integration von sozialer Koopera-

tion und Kommunikation einerseits und technischen Anwendungen andererseits“ [Her14]. Annahme ist dabei, dass Organisationen und Menschen nicht wie Maschinen steuerbar sind.

Als Begründer der Arbeitswissenschaft gilt W. Taylor (1856-1915). Taylor hat sich in Zeiten der „2. Industriellen Revolution“ (Elektrizität, Fließbandarbeit) vorgenommen, die Arbeitsprozesse von Arbeiter*innen zu optimieren. Er nahm an, dass Arbeiter*innen ähnlichen Gesetzen wie Teile einer Maschine gehorchen. Deshalb sei die Steigerung der Arbeitsleistung durch systematische Arbeitsteilung möglich, z.B. disponierende und ausführende Arbeitsschritte zu trennen. Mag dieses Konzept zeitweise plausibel geklungen haben, zeigten sich bald die Nachteile dieses arbeitsteiligen Konzepts, wie mangelnde Verantwortung und geringe Motivation. Die gesellschaftlichen und technischen Entwicklungen veränderten die Perspektive auf eine angemessene Arbeitsgestaltung mit dem Menschen im Fokus. Was in den 1960er Jahren als soziotechnische Sichtweise begann, führte zu Beginn der 1980er Jahre, im Zeitalter der „3. Industriellen Revolution“ (Automatisierung, Computer), in Deutschland zu Programmen wie „Humanisierung der Arbeitswelt“ oder „Arbeit und Technik“. Ganzheitliche, abwechslungsreiche Arbeitsgestaltung, Gruppenarbeit, partizipative Systemgestaltung [Yam12] sind hierzu einige Stichworte. Aktuell läuft das vom BMBF deklarierte Wissenschaftsjahr 2018 „Arbeitswelten der Zukunft“ aus. Die sogenannte 4. Industrielle Revolution (Vernetzung, CPS, IoT) ändert die Rolle des Menschen im Arbeitsprozess noch einmal in Richtung eines hohen Anteils planender und überwachender Tätigkeiten, hoher Komplexitätsbewältigung, komplexer Mensch-Maschine-Interaktion u.ä.

Kernidee der soziotechnischen Gestaltung ist die antizipierende Berücksichtigung von Anforderungen aus den Domänen Technik, Arbeit, Mensch. Die Gestaltungsrichtung kann dabei anhand der „Gestaltungszwiebel“ (Abb. 1) verdeutlicht werden.



Abbildung 1: Gestaltungszwiebel

Die Darstellung [Röd85] verdeutlicht, dass Änderungen an äußeren Ebenen einen größeren Wirkungsgrad haben als Änderungen an inneren Ebenen. So folgt z.B. aus dem betrieblichen Aufbaugefüge die betriebliche Ablauforganisation. Aus der betrieblichen Ablauforganisation folgen die Arbeitsprozesse, daraus die Arbeitsgänge, die Arbeitsverrichtungen und daraus schließlich die Bewegungsfolgen. Das heißt z. B. dass die Gestaltung einer Produktionsmaschine selbst Auswirkungen auf ein dazu passendes Assistenzsystem hat, welches mit Bildzeichen/Icons für die Nutzung ausgestattet ist. Selbstverständlich müssen die Icons gut gestaltet sein. Jedoch machen diese eine anregungsarme Überwachungstätigkeit aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive nicht besser.

4 Ingenieur*innen als verantwortliche Gestalter*innen

Ingenieur*innen beeinflussen (schon immer) mit ihrer Arbeit die Planung, Gestaltung, Leistung und Durchführung menschlicher Arbeit. Damit besitzt Ingenieurarbeit eine klare soziale Komponente. Diese erhält eine steigende Bedeutung bis hin zur gesellschaftlichen Verantwortung bezüglich Technikfolgenabschätzung. Ingenieur*innen entscheiden mit darüber, ob Facharbeiter*innenqualifikation entwertet wird, nur als "Lückenbüßer" mit einfachen Überwachungs- und Bedienarbeiten fungiert oder ob die Qualifikation erweitert wird, z.B. für kompetente Störungsbeseitigung/Instandhaltung. Diese Überlegungen sind von Bedeutung, um einen Effekt zu vermeiden, der als „Ironie der Automatisierung“ [Bai83] bezeichnet wird. Damit werden Situationen beschrieben, die in sogenannten Hightech-Feldern (z. B. Flugzeuginstandsetzung) schon

allgegenwärtig sind: Beschäftigte müssen nur noch in schwierigen Fällen in den Produktionsprozess eingreifen; dazu benötigen sie jedoch häufig eine höhere Qualifikation, die sie sich aber nicht mehr aufbauen können [Lüd15]. Durch die Möglichkeiten umfangreicher Vernetzungen droht dieser Effekt, sich in andere Beschäftigungsfelder auszuweiten.

Dem zu begegnen ist Intention soziotechnischer Systemgestaltung. Im Folgenden sind weitere Beispiele für soziotechnische Schnittstellen skizziert.

- Die Entwicklung/Konstruktion eines industriellen Produkts verursacht relativ geringe Kosten, legt aber einen großen Teil der Herstellungskosten sowie des ergonomischen Arbeitsgestaltungsniveaus fest. Deshalb ist eine montagegerechte Produktgestaltung sowohl aus ökonomischer als auch aus ergonomischer Sicht anzustreben. Siehe dazu [OWL17].
- In reinen Softwareentwicklungsprojekten stehen den Entwicklungskosten keine Produktionskosten gegenüber, sondern Betriebs- und ggfs. Nutzungskosten. Die Nutzungskosten einer Software sind u.U. höher als die Entwicklungskosten. Nutzungskosten werden verursacht durch Workarounds, Fehlbedienungen, informatorische und motorische Behinderungen des Arbeitshandels usw. Da die Entwicklungs- und Nutzungskosten von unterschiedlichen Organisationseinheiten verantwortet werden, bringt erst die ganzheitliche Betrachtung auf einer höheren Ebene Aufschluss über Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit des Gesamtprojekts.
- Der Unterschied zwischen der intendierten und der tatsächlichen Nutzung einer Software ist oft erheblich. So gibt es in Anwendungsprogrammen Funktionen, die nie genutzt werden oder es fehlen erforderliche Funktionen und die Nutzer*innen bauen sich Workarounds dafür.
- Die Arbeit von Ingenieur*innen beginnt in der Praxis vor dem Zeitpunkt der „wohldefinierten Problemstellung“. Die Praxis zeigt, dass Problemstellungen selten von

Beginn an wohldefiniert sind. Die Ermittlung dessen, was ein Kunde/eine Kundin will, erfolgt in der Regel in kundennahen Dienstleistungsprozessen, hat auch vertragliche Implikationen (z.B. Berücksichtigung von Prototypingphasen). Die Aussage: Der Kunde will keine Bohrer, sondern Löcher verdeutlicht das Problem. Die Informatik - mit ihren virtuellen Produkten - stand von Beginn an vor der Frage: Wie gewinnt man Kenntnisse darüber, was und wofür programmiert werden soll? Neben der Funktionalität selbst geht es immer auch um die Nutzung der Funktionen. „Die Erkenntnissituation des Softwaretechnikers ist nicht, wie allgemein angenommen, mit der eines Naturwissenschaftlers vergleichbar. Das Dilemma der Softwaretechnik ist, Unformalisierbares formal rekonstruieren zu müssen. Nicht Naturgesetze, sondern Handlungssysteme sind sein primärer Erkenntnisgegenstand. Verstehen, nicht erklären, ist seine Aufgabe“ [Sch99]. Dieser Situation aus Nicht-Formalem etwas Berechenbares – Algorithmen – zu machen, kann nur durch kommunikative Validierungsprozesse unter Einbeziehung des Kontextes begegnet werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel einer curricularen Anpassung muss sein, Inhalte und Kompetenzen so neu zu strukturieren, wie es am obigen Beispiel anhand der Inhalte Arbeitsgestaltung und Usability Engineering gezeigt wurde. Inhalte und Kompetenzen sollten langfristig relevant sein und Absolvent*innen dazu befähigen, sich auf weiteren Wandel einzustellen und diesen mitzugestalten. Eine Vollständigkeit der Lehrinhalte ist nicht mehr erreichbar, Schwerpunkte müssen gesetzt werden. Interdisziplinäre Kompetenz als Ziel einer curricularen Weiterentwicklung ist höchst relevant, weil in der späteren beruflichen Praxis Projektteams in der Regel interdisziplinär (oft auch noch international) zusammengesetzt sind.

National und international wird inzwischen eine Neujustierung angemahnt. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) empfiehlt im

Rahmen des Qualitätsdialogs 2018 „Ingenieurausbildung für die digitale Transformation“ die Fakultätsgrenzen zu überwinden, Studiengänge fakultätsübergreifend zu konzipieren (Matrixorganisation), Inhalte zugunsten transdisziplinärer Inhalte zu reduzieren, die Modul- und Disziplinstrukturen teilweise aufzubrechen, außer- und überfachliche Kompetenzen nicht als „Add on“, sondern integriert zu lehren [VDI18]. Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) kritisiert in einer aktuellen Veröffentlichung [Gra18]. u.a. ebenfalls die monodisziplinäre Ausrichtung vieler Ingenieurstudiengänge.

Ein Beitrag in diese Richtung ist der ab Herbst 2019 an der Hochschule Hannover angebotene Weiterbildungsmaster, der das bundesweite Studienangebot zu Industrie 4.0 um die soziotechnische Perspektive ergänzt. Der Fokus dieses Studiengangs liegt auf der interdisziplinären Verknüpfung von Prozessmanagement, Industrie 4.0 und Usability Engineering zur Realisierung von komplexen Arbeitsumgebungen. Leitbild ist eine soziotechnische Gestaltung, d.h. die ganzheitliche Perspektive auf Technik, Arbeit und Organisation.

Im Folgenden sind die geplanten Themen des Lehrgebiets „Soziotechnische Systemgestaltung“ dargestellt:

- Ingenieur*innen gestalten Produkte und Prozesse
- Historische Entwicklung und Perspektive
- Komponenten soziotechnischer Systeme
 - o Schnittstelle Mensch/Organisation (z.B. Aspekte der Arbeitsgestaltung, Partizipative Systementwicklung)
 - o Schnittstelle Mensch/Technologie (z.B. Teilaspekte der Arbeitsgestaltung, Ingenieurpsychologie, Human-Machine-Interface Gestaltung)
 - o Schnittstelle Organisation/Technologie (z.B. User-Centred Design)
- Gestaltungsparadigmen im ingenieurwissenschaftlichen Kontext
- Gesetzliche Faktoren, Normen, Richtlinien und Standards
- Umgang mit Dilemmata (z.B. Technikfolgenabschätzung, Daten-/Arbeitsschutz vs. Daten-/Arbeitssicherheit)

Für diesen Weiterbildungsstudiengang mit Masterabschluss wird vorausgesetzt, dass die Studierenden einen Bachelorabschluss und eine mindestens einjährige berufliche Tätigkeit in einem passenden Feld ausgeübt haben. Hier setzt auch das didaktische Konzept an. Es sieht u.a. ein unternehmensinternes Projekt

(arbeitsplatzzentriertes Lernen) vor, in dem die Studierenden eigenverantwortlich sukzessive die erworbenen Kompetenzen anwenden und reflektieren. Die außer- und überfachlichen Kompetenzen werden in die Lehre der Fachmodule integriert.

Literatur

- [Bai83] L. Bainbridge: Ironies of Automation. Department of Psychology, University College London 1983 <http://www.bainbrdg.demon.co.uk/Papers/Ironies.html>.
- [DAkkS10] Deutsche Akkreditierungsstelle Technik GmbH: Leitfaden Usability Version 1.3., 2010.
- [Gra18] R. Graham: Global state of the art in engineering education. Massachusetts Institut of Technology, USA, 2018.
- [Her14] T. Herman: Informations- und Technikmanagement. Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum Vorlesungsscript 2014.
- [OWL17] Hochschule Ostwestfalen-Lippe: Forschungsschwerpunkt »ProErgo« -Ergonomische Gestaltung von Produktionsmaschinen im Kontext der Industrie 4.0, www.hs-owl.de/proergo/, 2017.
- [Lüd15] A. Lüdtker: Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung In: A. Botthof und E.A. Hartmann (Hrsg.), Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, 2015.
- [Net05] B. Nett und V. Wulf: Wissensprozesse in der Softwarebranche. In: P. Gendolla und J. Schäfer (Hrsg.): Wissensprozesse in der Netzwerkgesellschaft, Bielefeld, S. 147-168, 2005.
- [Nie18] U. Niederée und M. Vollrath: Systemausfälle bei Längsführungsassistenten – Sind bessere Systeme schlechter?. 2018, <https://www.researchgate.net/>.
- [Röd85] K.-H. Rödiger: Beiträge der Softwareergonomie zu den frühen Phasen der Softwareentwicklung, in: H.-J. Bullinger (Hrsg.): Software-Ergonomie'85, Stuttgart, S. 455-464 (erste Version), 1985.
- [Sch99] P. Scheffé: Softwaretechnik und Erkenntnistheorie. In: Informatik Spektrum 22, S. 122-135, 1999.
- [VDI18] Verein Deutscher Ingenieure: 6. Qualitätsdialog. Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation. März 2018 <https://www.vdi.de/bildung/qualitaetsdialoge/6-qualitaetsdialog-ingenieurausbildung-in-der-digitalen-transformation/>
- [Yam12] Y. Yamauchi: Participatory design. In: T. Ishida (Hrsg.): Field informatics, S. 123-13, 2012.

Nutzerkonfiguration und konfigurierende Nutzer¹ in ambulanten Pflegesettings

J. Deisner, J. Hergesell und A. Maibaum

Technische Universität Berlin, Institut für Soziologie
jana.deisner@tu-berlin.de, jannis.hergesell@tu-berlin.de,
arne.maibaum@innovation.tu-berlin.de

Kurzzusammenfassung

Die Nutzung von digitalen Assistenzen findet häufig in organisierten Kontexten statt. Wir arbeiten unter Bezug auf Konzepte der Technik- und Innovationsforschung die wechselseitige Konfiguration von Nutzern und Technologie aus. Anschließend beleuchten wir, welche Bedeutung hierbei dem organisationalen Kontext der Nutzung und Konfiguration von Technik zukommt und wie dieser folglich auch von der Technologie mit konfiguriert wird. Welche Auswirkungen die Technologie über die Nutzerkonfiguration und die konfigurierenden Nutzer im ambulanten Pflegesetting auf die Organisationen haben kann, veranschaulichen wir abschließend an empirischen Beispielen.

Abstract

Configuration of the user and configuring users in outpatient care settings

The use of digital assistance technologies often takes place in organized contexts. Drawing on concepts from technology and innovation studies, we elaborate on the mutual configuration of users and technology. We then examine the importance of the organizational context for the use and configuration of technology which in turn configures the organization as well. In conclusion, we will use empirical examples to illustrate the effects the technology can have on organizations via user configuration and the configuring user in outpatient care settings.

Keywords

Organisation, Digitalisierung, Nutzerkonfiguration, Pflegeotechniken, Assistenz

1 Einleitung

Angesichts des demographischen Wandels und des damit assoziierten Pflegenotstandes werden aktuell zahlreiche technische Lösungsansätze entwickelt, diskutiert und erprobt. In Folge der häufig klaffenden Lücke zwischen dem Potential der Technik und ihrem tatsächlichen Nutzen werden diese Technologien und ihr Einsatz zunehmend auch Gegenstand von sozialwissenschaftlichen Untersuchungen, welche die Passung der Technolo-

gien hinsichtlich der Kompetenzen und Bedürfnisse der Nutzer betrachten (z. B. partizipative Technikentwicklung). Gerade die Nutzer von assistiven Technologien könnten jedoch kaum heterogener sein: Wer *Nutzer* einer Technologie ist, variiert sowohl entlang der Bandbreite der entwickelten Technologien und den spezifischen Pflege- und Unterstützungsbedarfen als auch entlang der Schnittstellen, die vernetzte digitale Assistenzsysteme aufweisen.

¹ Selbstverständlich verstehen wir unter “Nutzer” alle Nutzer*innen. Zugunsten der deutschen Komposita mit diesem Wort gebrauchen wir das Wort ‘Nutzer’ im vorliegenden Text jedoch im Sinne des englischen ‘user’ als geschlechtsneutral und verwenden das generische Maskulinum. Für alle sonstigen personenbezogenen Bezeichnungen verwenden wir den Asterisk (*), um alle Menschen inner- und außerhalb binärer Geschlechtlichkeit einzuschließen.

Der bisherige Forschungsstand zu digitalen Pflegeotechniken fokussiert entweder konkrete Pflegeinteraktionen (Mikroebene) oder gesamtgesellschaftliche Fragestellungen (Makroebene), wie z. B. die Zukunft der sozialen Sicherungssysteme. Diese jeweils nur auf eine soziale Aggregationsebene beschränkten Perspektiven können das Phänomen technischer Unterstützungssysteme allerdings nicht gemäß seiner sozialen Komplexität fassen. Vernachlässigt wird dabei, dass die betrachtete “technisierte” Interaktion weder allein durch eine Technologie und die unmittelbar anwesenden Akteur*innen strukturiert wird, noch bloßes Abbild gesellschaftsweiter Institutionen ist. Vielmehr wird sie maßgeblich *auch* durch ihren organisationalen Kontext (Mesoebene) gestaltet. Der organisationale Kontext strukturiert einerseits die Entwicklung und den Einsatz technischer Unterstützungssysteme, wird aber andererseits auch durch die digitalen Techniken verändert.

Daher ist es notwendig, diese Organisationsebene explizit mit einzubeziehen. So wird der Tatsache Rechnung zu tragen, dass in organisationalen Kontexten deren formale wie informale Rollen und Strukturen einen Einfluss darauf haben, wie Akteur*innen handeln und welche Folgen der Einsatz digitaler Assistenzen auf bestehende soziale Strukturen hat.

Anhand von exemplarisch ausgewählten empirischen Daten des Einsatzes digitaler Assistenzen, die Senior*innen in ihrem Alltag unterstützen sollen, zeigen wir, wie durch und mit diesen Technologien Nutzer konstruiert werden. Da diese Ebene bisher kaum Gegenstand der Forschung ist, ist unser Ziel zunächst die Darstellung von möglichen Wechselwirkungen zwischen Pflegeorganisationen und Technikhersteller*innen. Auf dieser Basis schlagen wir eine empiriegetriebene Heuristik von technisierten Pflegekonstellationen vor, die als Basis für die weitere theoretische Konzeptualisierung und empirische Untersuchungen dienen soll. Mit der Integration dieser Perspektive kann die Entwicklung von Technologien für die Reichweite ihrer Konsequenzen sensibilisiert und der Nutzungskon-

text präzisiert werden. So kann assistive Technik entwickelt werden, die besser an die Praktiken aller Akteur*innen des Nutzungskontextes angepasst ist, und so eine nachhaltigere, nutzeradäquatere Technik entstehen.

2 Konfiguration von Technik und Nutzern

Die Rede von „Nutzern“ oder „dem Nutzer“ im Kontext von neuen Technologien ist derart eng mit der Rede von Technologie selbst verbunden, dass die Existenz von Nutzern oft wie eine Selbstverständlichkeit hingenommen und nicht hinterfragt wird. Die Popularität von partizipativer Technikentwicklung und Marktforschung weisen jedoch darauf hin, dass für die Entwickler*innen von Technologie oft keineswegs klar ist, wer der meist opak bleibende “Nutzer” ist, geschweige denn, was seine Ziele und Fähigkeiten im Umgang mit einer Technik sind. Zudem verbleibt die Absicht der Nutzerbeteiligung häufig nur auf der diskursiven Ebene und dient der Legitimation von Technologien oder der Akquise von Forschungsgeldern [Com18].

Um sich dem Nutzer zu nähern, reicht es nicht aus nur die antizipierten Nutzer zu kennen. Einschreibungen entstehen viel früher im Technikentwicklungsprozess. So zeigt Woolgar [Woo90], wie bei der Entwicklung eines neuen Computers von den Entwickler*innen Annahmen über „den Nutzer“ gemacht werden, die bereits in das Design der Maschine einfließen und hierdurch die Möglichkeiten einer späteren Nutzung be- und einschränken. In dem darauffolgenden Anwender*innentest werden dann die vermeintlich echten Nutzer im Umgang mit dem Gerät unterrichtet, also passend zur vorausgehenden Vorstellung gemacht: Die Nutzer konfigurieren nicht die Technik, es ist eine “Konfiguration des Nutzers” [Woo90].

Auf der anderen Seite des Verhältnisses lässt sich der Nutzer als Teil eines sozio-technischen Systems beschreiben [Gee04; Ram89], in welchem er eine Rolle einnimmt, die für die Funktion des Gesamtsystems und somit für die Funktion, die das System für die Gesell-

schaft hat, von Bedeutung ist. Wer Nutzer einer Technologie ist, wird hier also darüber definiert, wer die Funktion des Nutzers erfüllt. Die spezifische Funktion eines Nutzers wird hier jedoch nicht allgemein bestimmt, sondern zu einer empirischen Frage gemacht. Betrachten wir diese Einbindung des Artefaktes in ein sozio-technisches System der Verwendung als eine von der Entwicklung unterschiedliche Phase, so muss hier davon ausgegangen werden, dass sich Technologie nicht nur ihre Nutzer schafft, sondern sich ebenso häufig von Nutzern angeeignet wird. Das heißt, sie wird in Praktiken und Institutionen eingebunden und gelangt erst dadurch zu ihrer Funktion; umgekehrt werden Nutzer erst dadurch zu Nutzern, dass Praktiken der Nutzung einer Technologie entwickelt werden [Gee04; Woo90; Orl92].

Wir gehen davon aus, dass Nutzer von Technologien zunächst im Entwicklungsprozess von Technikentwickler*innen konstruiert und ihre imaginierten Fähigkeiten und Wünsche in den Eigenschaften der Technologie abgebildet werden – was angesichts der Diskrepanz zwischen den imaginierten Bedürfnissen der Nutzer und deren tatsächlichen Vorstellungen eine extrem folgenreiche und notwendige Grundannahme für die Frage nach den Effekten von digitalen Assistenzen in der Pflege ist. An diese Vorstellungen der Technikentwickler*innen müssen sich die Nutzer später anpassen bzw. angepasst oder konfiguriert werden, wenn sie eine Technologie in der vorgesehenen Weise “nutzen” wollen. Desweiteren nehmen wir aber an, dass Technologien nur als sozio-technische Systeme funktionieren bzw. ihr Charakter und ihre tatsächlichen Prozeduren und Nutzungsweisen nur im Kontext eines sozio-technischen Systems erklärt werden können. Diese Einbindung einer Technologie in ein sozio-technisches System findet wiederum durch Nutzer statt, die sich diese Technologie aneignen und ihre Bedeutung und Benutzung in ihren Alltagspraktiken der Verwendung wiederum formen. Dies tun sie jedoch nicht in beliebiger Form, sondern in Auseinandersetzung mit der bereits erfolgten

Konfiguration durch die Entwickler*innen sowie anderen Gegebenheiten der sozialen Strukturen in welchen die Nutzung stattfindet, wie etwa betrieblicher Arbeitsorganisation oder Berufsleitbildern.

In diesem Sinne müssen wir die Frage nach den Nutzern digitaler Technologien aus zwei Perspektiven stellen: Zum einen muss betrachtet werden, wer als Nutzer bei der Technologieentwicklung erdacht wurde – was, wie gezeigt, unabhängig vom tatsächlichen Nutzer sein kann. Zum anderen muss gefragt werden, wer sich in welchen sozialen Kontexten die Technologie in Alltagspraktiken aneignet, sie adaptiert und somit „nutzt“. In diesem Prozess werden sowohl die Nutzer an die Technik als auch die Technik an die Nutzer angepasst. Die hier getrennten Schritte sind so empirisch häufig wesentlich weniger klar zu identifizieren und verstehen sich daher als analytische Kategorien.

3 Organisierte Nutzung und Organisationen als Nutzer

Geht man von der Perspektive des sozio-technischen Systems und der zweiseitigen Konstruktion der Nutzer aus, so muss die Funktion einer Technologie nicht nur allgemein für die Gesellschaft, sondern auch für einen ganz konkreten Teilbereich der Gesellschaft erkennbar sein. Dieser Kontext ist im Bereich der ambulanten Pflege und der Assistenzen für ältere Menschen die Bewältigung des Alltags im häuslichen Umfeld, zu der vornehmlich die Bewahrung von Autonomie bzw. die Vermeidung von stationärer Unterbringung zu zählen sind. Zentral dafür sind aber auch alle für die Funktion der Technologie relevanten Aspekte, die nicht direkt in der Alltagssituation sichtbar sind. Hierzu, so unsere These, gehören auch Organisationen der ambulanten Pflege, die mit Anbieter*innen von Hausnotrufsystemen oder anderen Assistenzsystemen kooperieren, oder deren Klient*innen digitale Assistenzen nutzen. Die Organisationen der ambulanten Pflege stellen einerseits den Kontext der Aneignung von digitalen Technologien in Nutzungspraktiken dar, andererseits

werden sie aber vermittelt über die Nutzungspraktiken auch durch die Technologien geformt, wenn sich organisationale Praktiken der Nutzung herausbilden.

Geht man mit der hier vorgestellten Perspektive davon aus, dass der Kontext der Aneignung und Nutzung von Technologie von Bedeutung für die Praktiken der Nutzung ist – und dass dieser Kontext gleichzeitig von der Technologie beeinflusst wird – so ist es notwendig für die Frage nach der Konstruktion von Nutzern, die Struktur dieses Kontextes näher zu betrachten.

Neo-institutionalistische Perspektiven auf Organisationen beschreiben diese organisationalen Kontexte als hoch institutionalisierte Systeme, die zahlreiche eigene Praktiken ausbilden [Mey77], welche die Handlungen ihrer Mitglieder in diesem organisationalen Kontext orientieren [Zuc77]. Die Möglichkeiten der Verwendung von Technologien ist in einem organisationalen Kontext im Vergleich zum privaten Kontext also stärker reguliert.

Auch hier zeigt sich die Wirkung der Konfiguration in beide Richtungen: Auch die Organisationen, deren Mitarbeiter*innen die Technologien nutzen, werden durch die Aneignung verändert. So ändern sich Handlungsspielräume von Mitarbeiter*innen durch die von der Führungsebene auferlegte Nutzung [Zub89] oder in Abhängigkeit von den Strukturen der Organisation und den Kompetenzen der Mitarbeiter*innen in jeweils verschiedener Weise [Bar90]. So ist es auch möglich, dass Strukturen voneinander entkoppelt werden [Mey77]. Dann werden beispielsweise Technologien vordergründig in Formalstrukturen integriert, im Hintergrund aber werden informelle Regeln der Vermeidung von Technologienutzung etabliert oder die Technologie wird informell in einer Art und Weise genutzt, die nicht mit den institutionellen Erwartungen vereinbar ist [Ben63]. Hierbei kann vermutet werden, dass die als „Kerngeschäft“ [Tho67] verstandenen Praktiken und Prozeduren einen größeren Widerstand gegen Anpassungen an neue Technologien bilden als die organisationale Peripherie.

4 Exemplarische Illustration der Wechselwirkung von Organisation und digitaler Technik anhand von drei Technologietypen

Diese theoretischen Überlegungen sollen im Folgenden anhand von empirischen Fällen illustriert werden. Sie zeigen auf, wie die Organisationen in verschiedenen Settings der ambulanten Pflege die Nutzung der Technologie strukturieren und durch sie strukturiert werden. Um dies zu tun, teilen wir die Assistenzen in drei verschiedene Gruppen. Digitale Technologien im ambulanten Bereich lassen sich danach unterscheiden, wer als Nutzer in der Entwicklung des Systems berücksichtigt wird:

1. Ambulante Pflege als Nutzer,
2. ambulante Pflege als Mit-Nutzer oder
3. Einbindung der ambulanten Pflege in die Nutzung durch andere Nutzer.

Die erste Gruppe von Assistenzen zielt direkt darauf ab, Pflegekräfte in ihrer täglichen Arbeit zu unterstützen. Hierzu gehören beispielsweise fahrerlose Transportsysteme oder Reinigungsroboter im stationären Bereich, intelligente Pflegehilfsmittel oder Telepräsenzsysteme.

Im ambulanten Bereich von deutlich größerer Relevanz sind jedoch Assistenzen, die eine Pflege in der häuslichen Umgebung unterstützen sollen, also einer Umgebung, die sich in organisationaler Perspektive deutlich von den vorzufindenden Gegebenheiten der stationären Pflege unterscheidet. Diese zielen zunächst einmal nur auf die Unterstützung der älteren Menschen in ihrem Alltag ab und nicht auf die Unterstützung der Pflegenden und bilden den zweiten Typ. Dennoch sind sie mit Schnittstellen versehen, die von der ambulanten Pflege bedient werden sollen.

Der dritte Typ ist schließlich zunächst nicht auf die Einbindung der ambulanten Pflege ausgerichtet. Dennoch lässt sich eine Einbindung durch die Nutzer selbst beobachten, wodurch die ambulante Pflege in der Aneignung der Technologie auch zum Nutzer gemacht wird.

Die ambulante Pflege als Nutzer

Viele verwendete Systeme bieten die Möglichkeit, routinemäßig Daten zu sammeln, die Aufschluss über die Aktivität der älteren Nutzer geben. Die Kontrolle der Sicherheit von Gepflegten ist eine wichtige Aufgabe der Pflegenden, die viele personale Ressourcen der Pflegeorganisationen bindet. Diese antizipieren die Technikentwickler*innen bereits bei der Konzeption der Technologien. Sie interpretieren diese Aufgabe hierbei als Notwendigkeit, der Pflegeorganisation technisch assistiert eine Effizienzsteigerung der Kontrolle des “Wohlbefindens/der physischen Unversehrtheit” zu ermöglichen. Der Wunsch, vor allem durch digitale Assistenzen Pflegebedarfe gezielt zu erkennen und anhand der Informationen zielgerichtete Pflegekonzepte und -einsätze ausführen zu können, wird auch aktiv von Pflegenden an die Technikentwickler*innen herangetragen.

Daher wird im Design bereits eine mögliche Nutzungspraktik der Kontrolle des gesundheitlichen Zustandes der Person angelegt. Während manche Technologieentwickler*innen dies als positiven Nebeneffekt ihrer Technologie beschreiben, finden sich auch solche Technologien, die diese Funktion als Kern der Technologie entwickeln. So wird zum Beispiel die Möglichkeit des Monitorings von Aktivitätsmustern gerade im ambulanten Bereich als durchaus nützlich beschrieben, um die Situation der Klient*innen trotz geringer Kontaktzeit adäquat einschätzen zu können. Hier zeigt sich eine Passung der im Designprozess vorgestellten Nutzungspraktiken mit der organisationalen Praktik des ambulanten Pflegedienstes. Ein weiteres Beispiel für solch eine Nutzung ist der sogenannte Hausnotruf. Die Senior*innen haben die Möglichkeit, über einen “Notrufknopf” Kontakt zu Mitarbeitenden einer Hausnotrufzentrale herzustellen, welche dann einen eventuell bestehenden Pflegebedarf an einen kooperierenden Pflegedienst weiterleitet. Allerdings sind die wenigsten Kontaktaufnahmen tatsächliche Notfälle, viel mehr werden Fragen zum nächsten Besuch des Pflegedienstes gestellt, Alltags-

probleme geschildert oder es besteht ein Bedarf an Aufmerksamkeit und Gesprächen. Die Mitarbeiter*innen des Hausnotrufs selektieren diese Kontaktaufnahmen nach pflegerischer Relevanz und leiten dementsprechende Maßnahmen ein. Auch legen sie eine Historie der Kontaktaufnahmen an, auf deren Basis sie Pflegebedarfe einschätzen. Zusätzlich zu der Sprachfunktion ist der Hausnotruf mit weiteren technischen Assistenzen modular erweiterbar, wie etwa mit GPS-Ortungen für Menschen mit Demenz, Tür- oder Fensteralarmen oder mustererkennenden, sensorbasierten Assistenzsystemen, die beispielsweise auffällige Aktivitäten, wie das Fehlen von Bewegung oder das längere Nicht-Öffnen von Kühlschränken melden. Dabei ist schnell festzustellen, dass die Konzeption der digitalen Assistenzen neben den Bedürfnissen nach Autonomie und Sicherheit der Gepflegten explizit die Anforderungen der Pflegeorganisationen nach effizient koordinierten Pflegeeinsätzen, aber vor allem auch die Vermeidung von “Fehleinsätzen” und die dadurch erreichte Kostenreduktion und Personaleinsparung adressiert. Das hat sowohl Auswirkungen auf die Relevanzen der Technikentwickler*innen bei der Herstellung der Technologien als aber auch auf die Strukturen der Pflegeorganisationen, die hinsichtlich der internen Kommunikation (Vermittlung über die Hausnotrufzentrale) und der Arbeitsplanung (Erkennung von akuten Bedarfen und langfristige Pflegekonzepte mittels der Informationen der Technik) deutlich durch den Technologieeinsatz geprägt werden.

Die ambulante Pflege als Mit-Nutzer

Ein Anbieter, der ein Ambient-Assisted-Living-System vertreibt, beschreibt, dass das System eigentlich zwei Typen von Nutzern habe. Zum einen die Personen, in deren Wohnumgebung das System installiert werde, zum anderen aber diejenigen, die das System konfigurieren. Das System wertet die Daten verschiedener, in der Wohnumgebung installierter Sensoren aus und sendet beim Überschreiten von Schwellwerten einen Alarm. Es muss aber von einem Nutzer konfiguriert werden,

indem die Schwellwerte definiert und Empfänger der Alarme für den Fall der Überschreitung bestimmt werden. Er berichtet aus Erfahrung, dass diese Konfiguration in der Regel nicht von den älteren Menschen selbst, sondern von Angehörigen oder Pflegedienstpersonal vorgenommen werde.

Hierdurch wird deutlich, dass der Kreis der ursprünglich konstruierten Nutzer bereits in der Nutzungspraktik erweitert wird. Wenn der Pflegedienst die Technologie konfiguriert, ist anzunehmen, dass die Nutzungspraktiken sich von denen unterscheiden, die Angehörige mit der Technologie verbinden. Während in einem privaten Kontext damit zu rechnen ist, dass sich bei der Konfiguration auf Erfahrungen der persönlichen Interaktion mit den Senior*innen bezogen wird, ist davon auszugehen, dass eine Pflegekraft sich bei der Konfiguration auf Regeln und Strukturen der Organisation beziehen wird. Hier spielen folglich auch für Organisationen typische Relevanzen wie Datenschutz, ethische und rechtliche Unbedenklichkeit und organisationale Zuständigkeiten eine Rolle, die so auch wiederum für die Technikentwickler*innen relevant werden. Zum Beispiel können Angehörige Senior*innen mit Demenz jederzeit ein GPS-Ortungsgerät in die Kleidung einbringen, um sie im Falle von "Hin- oder Weglauf"-Tendenzen unkompliziert wieder aufzufinden. Wenn Organisationen dies außerhalb eines privaten Kontextes tun, muss gewährleistet sein, dass die erhobenen Daten Dritten nicht zugänglich sind und ggf. müssen rechtliche Betreuer*innen zustimmen. Darüber hinaus muss ein*e Organisationsangehörige*r zuständig und kompetent bei der Auswertung der GPS-Daten und dem Einleiten von Maßnahmen sein. All dies führt zu Strukturveränderungsprozessen in der Organisation, wenn assistive Technologien Verwendung finden. Hier wird nicht nur deutlich, dass an Organisationen grundsätzlich andere Anforderungen hinsichtlich Rationalität oder Konformität mit Institutionen gestellt werden, sondern dass diese institutionellen (in diesem Falle rechtlichen) Anforderungen auch Anpassungen der Formal-

struktur erfordern, wodurch die Integration einer solchen Technologie erschwert werden kann. Indem Angehörige von Pflegeorganisationen privat angeschaffte oder in organisationale Pflegekonzepte eingebundene Technologien nutzen, eignen sie sich die Technologie an und geben ihr eine bestimmte Funktion für das Pflegesetting. Gleichzeitig werden sich so aber nicht nur die Funktion der Technologie, sondern auch die Regeln und Strukturen der Organisation verändern, auf die sich im Umgang mit der konfigurierten Technologie bezogen wird. Es ist also davon auszugehen, dass die Organisation der ambulanten Pflege und die digitale Technologie in einer Wechselwirkung zueinander stehen, die über die Pflegekraft vermittelt wird.

Einbindung durch andere Nutzer

Während hier ein sehr direkter Fall der Nutzung einer Technologie in einem organisierten Kontext beschrieben wurde, soll ein weiteres Beispiel darauf hinweisen, dass die Pflegeorganisationen auch vermittelt über andere Nutzer wie die Angehörigen oder die pflegebedürftige Person selbst in das sozio-technische System integriert werden kann. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn eine Angehörige das System konfiguriert, der Pflegedienst aber auf die Notrufe reagiert, die vom System abgesetzt werden. Diese Konstellationen ergeben sich oftmals auch inoffiziell, etwa wenn ein*e Angehörige*r einer*s Gepflegten mit Demenz die Meldung einer GPS-Ortung erhält und diese (telefonisch) an den Pflegedienst weitergibt, der sich daraufhin in Kooperation mit den Angehörigen auf die Suche nach der*m Gepflegten begibt. Ein solcher informellere Umgang mit der Technologie kann als Entkopplung von Formalstrukturen und informellen Alltagspraktiken betrachtet werden, da er den Pflegenden eine Möglichkeit bietet, das Kerngeschäft der Organisation zu verfolgen, ohne dass hierbei Formalstrukturen angepasst werden. Auch ist zu beobachten, dass vor allem digitale Technologien aus dem Bereich der Sicherheitsassistenzen eine psycho-emotionale Entlastung von Angehörigen der

Gepflegten bewirken. So können die Angehörigen etwa auf der Installation eines Hausnotrufs insistieren, um ihre beständige Sorgen um das Wohlergehen der Gepflegten zu mindern. Etwaige, in die Pflegekonstellation eingebundene Pflegeorganisationen sind dann gezwungen, sich mit dieser Technologie auseinander zu setzen, wenn die Angehörigen darauf bestehen. Auch in diesem Fall muss angenommen werden, dass diese erzwungene Auseinandersetzung Regeln der Organisation folgt und neue organisationale Praktiken des Umgangs mit solchen Interventionen herausgebildet werden.

Wir weisen aber ausdrücklich darauf hin, dass die Auffassungen von Technikentwickler*innen, wie eine digitale Assistenz wirken sollte, was “Alter” und “Pflegebedürftigkeit” in der heutigen Gesellschaft heißt, welche Bedürfnisse daraus resultieren und was anzustrebende Optimierungsprozesse in Pflegeorganisationen sind, zu einer “Einschreibung” eben jener für unsere Gesellschaft spezifischen Intentionen des Einsatzes digitaler Pflegetechnik in deren Prozeduren und Nutzungsanweisungen führt [Her16].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Entwicklung von digitalen Assistenz-zen ist zu berücksichtigen, dass diese oft nicht

nur als intermediäre Plattformen zwischen verschiedenen Akteur*innen genutzt werden, sondern dass mindestens eine*r dieser Akteur*innen (der*die Pflegedienstmitarbeiter*in) in einem hochgradig organisierten Kontext agiert. Das heißt er*sie richtet sich in der Nutzung der Technologie nach organisationalen Regeln. Wenn diese zu den in der Technologie eingeschriebenen Nutzungsmöglichkeiten in Konflikt stehen, kann es, weniger durch die Verweigerung des Individuums als durch die organisationalen Strukturen zum Scheitern der Adaption der Technologie kommen. Außerdem – und das ist mindestens genauso ausschlaggebend – werden die Nutzungspraktiken, welche die Akteur*innen mit der Technologie ausbilden, auf die Strukturen der Organisationen der ambulanten Pflege zurückwirken und zu Nutzungspraktiken der Organisation gemacht, wenn sie dauerhaft Bestand haben sollen. Dies ist zu berücksichtigen, wenn die Konsequenzen von Technologieanwendungen abgeschätzt werden sollen. Zu fragen wäre: Welche expliziten oder impliziten Anforderungen an die Organisation der Pflege werden von der Technologie gestellt? Sind diese mit den Zielen der Organisationen vereinbar?

Literatur

- [Bar90] S. R. Barley: The Alignment of Technology and Structure through Roles and Networks. In: Administrative Science Quarterly, Vol. 35(1), S. 61-103, 1990.
- [Ben63] J. Bensman und I. Gerver: Crime and Punishment in the Factory: The Function of Deviance in Maintaining the Social System. In: American Sociological Review, Vol. 28(4), S. 588-598, 1963.
- [Com18] D. Compagna: Partizipation und Moderne: Nutzerorientierte Technikentwicklung als missverstandene Herausforderung. In: H. Künemund und U. Fachinger (Hrsg.): Alter und Technik. Sozialwissenschaftliche Befunde und Perspektiven. Wiesbaden: SpringerVS, S. 177-206, 2018.
- [Gee04] F. W. Geels: From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. In: Research Policy, Vol. 33, S. 897-920, 2004.
- [Her16] J. Hergesell und A. Maibaum: Assistive Sicherheitstechniken in der geriatrischen Pflege. Konfligierende Logiken bei partizipativer Technikentwicklung. In: R. Weidner (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Konferenzband. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, S. 59-69, 2016.

- [Mey77] J. W. Meyer und B. Rowan: Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony. In: American Journal of Sociology, Vol. 83(2), S. 340-363, 1977.
- [Orl92] W. J. Orlikowski: The duality of technology: rethinking the concept of technology in organizations. In: Organization Science, Vol. 3(3), S. 398-427, 1992.
- [Ram89] W. Rammert: Technisierung und Medien in Sozialsystemen. Annäherung an eine Soziologie der Technik. In: P. Weingart (Hrsg.), Technik als sozialer Prozess. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 128-173, 1989.
- [Tho67] J. D. Thompson: Organizations in Action. Social Science Bases of Administrative Theory. New Brunswick and London: Transaction Publishers (2004 [1967]).
- [Woo90] S. Woolgar: Configuring the user: the case of usability trials. In: The Sociological Review, Vol. 38(S2), S. 58-91, 1990.
- [Zub89] S. Zuboff: In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power. New York: Basic Books, 1989.
- [Zuc77] L. G. Zucker: The Role of Institutionalization in Cultural Persistence. In: American Sociological Review, Vol. 42(5), S. 726-743, 1977.

Living Lab 65+

Senioren/innen testen technische Assistenzsysteme in ihrer häuslichen Umgebung

V. Hämmerle, C. Pauli, S. Lehmann und S. Misoch

Fachhochschule St.Gallen, IKOA
veronika.haemmerle@fhsg.ch, cora.pauli@fhsg.ch, stephanie.lehmann@fhsg.ch,
sabina.misoch@fhsg.ch

Kurzzusammenfassung

Der demographische Wandel und der häufige Wunsch von Senioren/innen möglichst lange in der eigenen Häuslichkeit verbleiben zu können, erfordern Innovationen im Bereich der technischen Assistenzsysteme. Um nachhaltige und akzeptierte Produkte zu entwickeln werden diese im Living Lab des IKOA-FHS direkt von den Endnutzern/innen in ihrer alltäglichen häuslichen Umgebung über mehrere Monate hinweg getestet.

Dieses Vorgehen ermöglicht es, Bedarfe zu erkennen, Hürden zu analysieren und Produkte an tatsächliche Bedürfnisse anzupassen. Im Zentrum dieses Ansatzes steht die Partizipation der „End-user“, der Senioren/innen selbst. Es werden quantitative, qualitative und partizipative Methoden zur Evaluation eingesetzt.

Abstract

Demographic change and the often-expressed concern by senior citizens to remain in their own homes for as long as possible require innovations in the field of technical assistance systems. In order to develop sustainable and accepted products, end users test technical innovations in IKOA-FHS' Living Lab. These Living Lab tests take place in the senior citizen's everyday life and "natural" living environment over several months.

This approach enables to identify requirements, analyse barriers and adapt products to actual needs. FHS' Living Lab approach put the participation of the end users - the senior citizens - at the centre. Quantitative, qualitative and participatory methods are used for evaluation.

Keywords

Living Lab, AAL, Partizipative Forschung, Senioren/innen

1 Einleitung

Wie in den meisten Industriegesellschaften wächst der Anteil der über 65-Jährigen, insbesondere die Zahl der Hochaltrigen (85+) in der Schweiz stetig [Bun17]. Gleichzeitig ist die Schweiz von einem Fachkräftemangel in der Pflege betroffen, der dazu führen wird, dass der Pflegebedarf in den nächsten Jahrzehnten kaum zu decken sein wird [Mer16]. Diese Entwicklungen und der Wunsch von Senioren/innen, so lange wie möglich in der eigenen Wohnung verbleiben zu können, machen offenkundig, dass Lösungen für die Unterstützung gefunden werden müssen.

1.1 Technologie für Senioren/innen

Der Einsatz von technischen Assistenzsystemen und Dienstleistungen auf der Grundlage neuer Technologien birgt grosses Potenzial, den Herausforderungen einer alternden Gesellschaft zu begegnen. So können sie einerseits zum Erhalt der Selbstständigkeit von Senioren/innen beitragen und damit auch die Lebensqualität älterer Menschen erhöhen bzw. erhalten. Andererseits können Technologien auch Pflegende unterstützen und entlasten. Obwohl die Active and Assisted Living

(AAL)-Technologien in diesem Kontext vielversprechend erscheinen, ist bei älteren Menschen eine tendenziell skeptische Haltung gegenüber ihrer Nutzung festzustellen. Neben einer mangelnden Zielgruppenpassung des Produktes, sind Hauptgründe für das Misstrauen mangelndes Wissen über den Nutzen dieser Technologien, das Risiko der Stigmatisierung, die Angst davor zu wenig Vorkenntnisse mitzubringen oder die Furcht vor hohen Kosten [Mey08; Mol04; Mol07]. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll Strategien zu entwickeln, um mehr über die Barrieren und realen Bedürfnisse von Endnutzern/innen zu erfahren.

2 Das Living Lab 65+

Eine geeignete Strategie dafür stellt der Living-Lab-Ansatz des Interdisziplinären Kompetenzzentrums Alter der Fachhochschule St.Gallen (IKOA-FHS) dar. Living Labs ermöglichen die direkte Erprobung und Validierung innovativer Dienstleistungen und Produkte durch die Endnutzer/innen unter realen Bedingungen. Dies ist ein vielversprechender Ansatz, um die Marktbarrieren zu überwinden und die Lücke zwischen Forschung, Industrie und Praxis zu schließen. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projekts "Age and Ageing in Society" (AGE-NT) das Living Lab 65+ aufgebaut. Es soll einen Raum bieten, um Technologien zu erproben und zu validieren.

2.1 Definition des Living Lab 65+

Bisher werden AAL-Technologien kurzfristig und im Labor unter künstlichen Bedingungen getestet. Der Living-Lab-Ansatz bietet hierzu ein Gegenmodell, das durch seine nutzerzentrierte Ausrichtung zu validen Ergebnissen führt. Kusiak (2007) und Stahlbröst (2013) zeigen unter anderem das Potenzial von Living Labs für eine erfolgreiche Innovationsentwicklung von assistiven Technologien auf. Das IKOA-FHS definiert ein Living Lab als ein Netzwerk von Haushalten (im Sinne von natürlichen Lebensräumen) älterer Menschen, in denen technische Assistenzsysteme

oder -dienste direkt von Endnutzern/innen getestet werden. Senioren/innen testen AAL-Technologien in ihrer häuslichen Umgebung in ihrem Alltag über eine längere Zeit (mehrere Monate) hinweg. Dazu gehören sowohl Privathaushalte, als auch Pflegeheime und andere betreute Wohnformen. Der Living-Lab-Ansatz unterscheidet sich damit von klassischen Kurzzeittests unter Laborbedingungen und setzt auf Langzeittests und "real life testing". Ein weiterer wichtiger Aspekt des Living-Lab-Konzeptes ist die Partizipation: Der/die Endnutzer/in steht nicht nur im Zentrum der Forschung, sondern wird bei der Entwicklung von assistiven Technologien aktiv eingebunden. Daher ist eine enge Begleitung und Unterstützung der Testpersonen durch das Projektteam besonders wichtig.

2.2 Ziele des Living Lab 65+

Das Living Lab 65+ ist Teil des schweizweit grössten nationalen Innovationsnetzwerkes AGE-NT und ein Gemeinschaftsprojekt der Fachhochschule St. Gallen und der Universität Genf. Ziel des Living Labs 65+ ist es, die tatsächlichen Bedürfnisse älterer Menschen in Bezug auf assistive Technologien zu verstehen und technische Assistenzsysteme direkt mit den Zielgruppen zu testen und an ihre Bedürfnisse anzupassen. Dank der partizipativen Einbindung können die Endnutzer/innen so früh wie möglich im Innovationsprozess direktes Feedback geben. So können Produkte und Dienstleistungen in einem iterativen Prozess getestet und verbessert werden.

Basierend auf den Feldtests können konkrete Informationen zu Bedarf, Zugänglichkeit, Usability und Technologieakzeptanz gewonnen werden. Diese Erkenntnisse bereichern die Forschung, ermöglichen es den Stakeholdern ihre Produkte zielgruppenspezifisch anzupassen und schaffen für die Senioren/innen nützliche Assistenzsysteme. Vor diesem Hintergrund können soziale Herausforderungen proaktiv angegangen und sozialverträgliche und nachhaltige Lösungen für Menschen 65+ entwickelt werden. Langfristiges Ziel des Projektes ist es, älteren Menschen einen möglichst langen und sicheren Verbleib in ihrer

gewohnten Umgebung zu ermöglichen, sowie Betreuungspersonen zu entlasten.

2.3 Forschungsmethoden

Das Projektteam des Living Lab 65+ besteht aus Soziologen, Ethnologen, Gerontologen, Psychologen und Technik-Experten. Ihre Forschung konzentriert sich (1) auf die aktive Beteiligung der Endnutzer/innen und (2) auf die praktische Relevanz der Forschung. Zur Datenerhebung werden quantitative und qualitative Methoden eingesetzt. Die Datenerfassung erfolgt zu mehreren Zeitpunkten. Die Befragung vor, während und nach der Nutzung beinhaltet standardisierte Fragebogenbatterien, Tagebucheinträge und leitfadengestützte Interviews. Welche Messmethoden eingesetzt werden, hängt von den konkreten Produkten und Dienstleistungen ab, sowie von der spezifischen im Voraus festgelegten Fragestellung. Als weiteres Instrument zum Erkenntnisgewinn werden teilweise Community-Events organisiert. Diese Veranstaltungen sind eine gute Gelegenheit für Teilnehmende, Wissenschaftler/innen und Industriepartner Erfahrungen auszutauschen und Ergebnisse partizipativ zu bewerten.

Um die Qualität der erhobenen Daten im Living Lab 65+ sicherzustellen, werden für die quantitative Befragung standardisierte Tests und Fragebögen verwendet. Es wird sichergestellt, dass die Qualitätskriterien Objektivität, Reliabilität und Validität eingehalten werden [Lie98]. Diese herkömmlichen Qualitätskriterien müssen für die qualitativen Daten angepasst und ergänzt werden [Mis15]. Neben der Reliabilität [May02; Mis15] und Validität werden daher auch die kontrollierte Subjektivität und intersubjektive Verständlichkeit [Mis15] berücksichtigt.

2.4 Studienpopulation des Living Lab 65+

Die Studienpopulation im Living Lab 65+ besteht aus Wohneinheiten, die sowohl private Haushalte im Sinne von systemunabhängigen Wohneinheiten als auch Wohnformen wie Pflegeheime oder betreutes Wohnen umfassen, in denen mindestens eine Person 65+ Jahre alt ist. Derzeit sind 32 Privathaushalte

und 80 Pflege- und Seniorenheime als potentielle Living-Lab-Testumgebungen registriert. Vor jeder Testung wird ein spezifisches Anforderungsprofil erstellt und auf dieser Grundlage werden in Frage kommende Haushalte oder Institutionen kontaktiert. Kriterien dieses Anforderungsprofils sind je nach Produkt unterschiedlich und berücksichtigen Eigenschaften und Anforderungen in Bezug auf den Einsatzort und in Bezug auf die Zielgruppe des zu testenden Assistenzsystems. So wird zum Beispiel abgeklärt, ob das Assistenzsystem eher in öffentlichen Einrichtungen oder in Privathaushalten eingesetzt werden soll und welchen Usertypus das Produkt ansprechen möchte. Ein weiterer Faktor, der bei der Auswahl der Teilnehmenden eine Rolle spielt, sind die Gegebenheiten vor Ort, wie z.B. notwendige technische Infrastruktur wie Internetzugang.

Qualitative Forschung birgt stets das Risiko von Stichprobenverzerrungen [Col96]. So weist die Forschung mit älteren Technologieanwendern/innen ein spezifisches Beteiligungsmuster auf: Die Teilnehmenden gehören in der Regel der oberen Bildungsschicht an und zeigen eine hohe Affinität zur Technik [Cla14], während andere soziale Gruppen wie Migranten/innen oder Geringqualifizierte unterrepräsentiert sind. Obwohl das Hauptziel des Living Lab 65+ nicht darin besteht, repräsentative Ergebnisse zu erzielen, wird eine heterogene Stichprobe angestrebt. Bei der Auswahl der Teilnehmer/innen wird nicht nur auf eine ausgewogene Verteilung von Alter und Geschlecht geachtet: Die Teilnehmenden sollen auch möglichst ein breites Spektrum an technologischer Affinität, sowie sozioökonomischem und kulturellem Hintergrund abbilden und somit die Vielfalt des Alterns widerspiegeln.

2.5 Living Lab 65+ Struktur und Ablauf

Testungen sind grundsätzlich in eine Alpha-Phase und eine Beta-Phase unterteilt. Jedes Produkt durchläuft vor dem Einsatz im Living Lab zunächst einen Alpha-Test im AGE-Lab. Hier werden die Produkte auf ihre einwand-

freie Funktionalität getestet und erst nach positiven Testergebnissen für das Living Lab 65+ zum Beta-Test weitergeleitet. Das AGE-Lab dient als (1) Testlabor (im Sinne eines klassischen, künstlichen Labors) für die Vorbereitung auf die Feldtestung der zu testenden Assistenzsysteme (Hard- und Software-Setup), (2) Raum für Brainstorming, (3) Demonstrationsraum für die Präsentation möglicher Anwendungsfelder und praktischer Lösungen für potentielle Endanwender/innen und (4) Forschungsraum für Datenanalyse aus dem Living Lab 65+. Während einer Testreihe werden die Protokolldaten der Wohneinheiten zentral erfasst und in anonymisierter Form auf dem AAL-Laborserver gespeichert, wo sie auch für grosse Datenanalysen verwendet werden können. Die Auswahl der Daten und der Datenauswertungsmethode richtet sich nach dem zu testenden AAL-System und den definierten Forschungsfragen. Für jeden Feldversuch werden adäquate Forschungsfragen und ein Untersuchungsdesign definiert. Während der Testphase werden die Teilnehmenden eng vom Living-Lab-Projektteam begleitet. IT-Spezialisten stellen die einwandfreie Installation der Geräte sicher und sorgen durch technischen Support für einen reibungslosen Ablauf der Testphase. Das Team bestehend aus Experten aus den Bereichen Psychologie, Ethnologie, Soziologie und Gerontologie begleitet die Testungen wissenschaftlich und stellt den Senioren/innen eine feste Kontaktperson für alle Anliegen während der Testung zur Seite. Zentral ist bei der Testung, dass das Produkt sich in den Alltag der Senioren/innen in ihrem gewohnten Umfeld einpassen lässt und keine künstliche Testatmosphäre kreiert wird. Dies wird einerseits bereits bei der Vorauswahl der Teilnehmer/innen und beim Design der Testung bedacht. Aber auch eine sorgfältige Einführung in die Handhabung und die enge Begleitung durch das Living-Lab-Team tragen dazu bei dieses Ziel zu erreichen. Während die Senioren/innen das Testprodukt in der gewohnten Wohnumgebung über einen vorher definierten Zeitraum einsetzen, werden zu mehreren Zeitpunkten

Befragungen durchgeführt. Die Rückmeldungen zur User Experience der Senioren/innen, sowie direkt geäußerte oder ableitbare Wünsche an das Produkt und Verbesserungsvorschläge werden vom Living-Lab-Team erfragt, dokumentiert und evaluiert und an den Hersteller im Rahmen eines Berichtes rückgemeldet. Anhand dieses Feedbacks kann der Hersteller sein Produkt modifizieren, um eine optimale Produkt-Nutzer-Passung zu erlangen. Je nach Testumfang erfolgt nach der Adaption des Gerätes gemäss den Rückmeldungen der Senioren/innen ein zweiter Testloop, der die Abänderungen nochmals evaluiert.

Die teilnehmenden Senioren/innen erhalten nach Projektabschluss einen schriftlichen Bericht über die wichtigsten Ergebnisse der Testung.

Durch die Mittlerrolle des Living-Lab-Teams wird sichergestellt, dass die Testungen uneinflusst und neutral erfolgen können. Hersteller sind nicht berechtigt die Adresse von Teilnehmenden zu erhalten. Der Austausch zwischen den beiden Parteien erfolgt einerseits über das Living-Lab-Team und kann, sofern gewünscht, persönlich bei den Community-Treffen stattfinden.



Abbildung 1: Living Lab 65+ Netzwerk

2.6 Herausforderungen

Bei der Umsetzung des Living-Lab-Ansatzes müssen einige Herausforderungen berücksichtigt werden. Da die Living-Lab-Projekte über einen längeren Zeitraum konzipiert sind, ist die sorgfältige Rekrutierung der Teilnehmenden unerlässlich [Ogo13]. Besonders zu

berücksichtigen ist, dass sich teils rasch verändernde Umstände und eine höhere Mortalität häufig in höheren Drop-Outs in der Forschung mit älteren Menschen niederschlagen. Um die Drop-Out-Rate generell möglichst gering zu halten, ist es notwendig die Motivation der Teilnehmenden auch über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten [Smi13]. Ein wichtiger Faktor für eine langfristige Zusammenarbeit ist ein fester Ansprechpartner, während des gesamten Projektes. Diese Person muss den Teilnehmenden bekannt und gut erreichbar sein [Geo15; Hes10]. Es wird auch empfohlen, gemeinsame Treffen zu organisieren, um die Bindung der Teilnehmenden an das Projekt zu erhöhen und damit eine grössere Verbindlichkeit der Teilnehmenden herzustellen. Es sollte berücksichtigt werden, dass die Forschung in einem Living Lab die Privatsphäre der Teilnehmenden mitunter beeinträchtigen kann. Zum einen ist das häusliche Umfeld ein besonders intimer Raum, zum anderen können auch private Informationen für die Forschung von Bedeutung sein. Eine sensible und einfühlsame Interaktion stärkt die Bindung zwischen Forschenden und Teilnehmenden und schafft ein Vertrauensverhältnis. In dieser Hinsicht ist die Arbeit auf gleicher Augenhöhe ein Schlüsselement [Smi13]. Die Teilnehmenden müssen sich ernst genommen fühlen und alle Prozesse und Entscheidungen müssen transparent für sie nachvollziehbar sein. Einladungen zu Vorträgen und Veranstaltungen (z.B. Community-Events) bei denen den Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben wird, von ihren Erfahrungen zu berichten und sich auszutauschen, können als ein Zeichen der Wertschätzung für ihren Einsatz betrachtet werden und signalisieren, dass ihre Rückmeldungen als wichtig erachtet werden. Ebenfalls zeigte sich, dass Teilnehmende auch durch das mediale Interesse an ihrem Engagement für die Forschung zur Mitwirkung motiviert werden können. Diese Strategien fördern das Engagement und die Bereitschaft, ehrliches und essentielles Feedback zu geben.

Obwohl die Forschung von der Heterogenität der Teilnehmenden profitiert, bringt dieses

Merkmal der Stichprobe auch Herausforderungen mit sich. Teilnehmende können unterschiedliche Vorerfahrungen und -kenntnisse, unterschiedliche Erwartungen und Bedürfnisse in Bezug auf die AAL-Systeme mitbringen und diese Eigenschaften können den Forschungsprozess beeinflussen [Ogo13]. Im Rahmen der Living-Lab-Testungen wird auf diese Herausforderungen damit reagiert, indem im Vorfeld der Testphase ein Matching zwischen Produkt und Teilnehmenden erfolgen soll.

2.7 Aktueller Stand und erste Ergebnisse

Über 30 Privathaushalte mit Senioren/innen 65+ sind bereits Teil des Living Lab 65+. Darüber hinaus stiess das Konzept auch bei unterschiedlichen Betagten- und Pflegeinstitutionen auf grosses Interesse. Das Living Lab 65+ kann somit mittlerweile auf ein breites Netz von potenziellen Kooperationspartnern und Teilnehmenden in der gesamten Schweiz zurückgreifen, welches weiterhin expandiert.

Bisher wurden im Living Lab 65+ Produkte aus dem Bereich Sensorik und Vitalparametermessung getestet. An den Testungen waren bislang insgesamt 22 Senioren/innen beteiligt. Nach Abschluss bisheriger Testungen lassen die gemachten Beobachtungen und Auswertungen der qualitativ erhobenen und inhaltsanalytisch [May10] ausgewerteten Daten erste Rückschlüsse auf die Erwartungen von Senioren/innen bezüglich technischer Unterstützungssysteme bzw. Bedingungen deren Akzeptanz zu. So zeigte sich, dass sowohl Eigenschaften der Technik, der Person selbst aber auch des Nutzungskontextes die Technikakzeptanz beeinflussen.

Bezogen auf die getesteten technischen Assistenzsysteme wurde klar, dass eine Serviceanbindung unabdingbar für den Einsatz ist. Sowohl die Installation und Instruktion der Geräte, als auch der Support während der Nutzung sind wichtige Faktoren, die das Nutzererleben beeinflussen und die Akzeptanz der Hilfsmittel erhöhen können. Technische Assistenzsysteme sind nicht gänzlich unabhängig von menschlichem Zutun und Unterstützung denkbar. Erst im Zusammenspiel mit

menschlichem Einsatz und zusätzlicher Dienstleistung können sie ihr volles Potenzial entfalten. Diese Erfahrungen machen klar, dass im Zuge der Technologisierung nicht von einer Substituierung von menschlicher Hilfe, sondern eher von anderen Einsatz- und Wirkgebieten gesprochen werden kann. Inwieweit diese Hilfestellung von den Anbietern selbst oder von zentralen Anlaufstellen für AAL-Technologien erbracht werden können und sollen und welche Kompetenzen von diesen Mitarbeitern gefordert wären, sollten Fragestellungen sein, die weiter diskutiert werden können.

Ein Thema, dass die potenziellen Endnutzer/innen, sprich die teilnehmenden Testhaushalte stark beschäftigte, war die Frage, wer für die Kostenübernahme der Technologien verantwortlich sein soll. Handlungsbedarf wurde hier vor allem auf politischer Ebene gesehen. So wurde unter anderem von den Teilnehmenden diskutiert, ob Kosten für ein Assistenzsystem auch von öffentlicher Hand oder von Versicherungen mitgetragen werden sollten. Voraussetzung für derartige Finanzierungen, wäre sicherlich einen objektiven finanziellen Wirkungsnachweis für Gemeinden oder Kantone zu erbringen, der bisher auch international noch fehlt. Auch kritisch betrachtet wurde von den Teilnehmenden, dass die Industrie sich nicht an den Bedürfnissen der Älteren orientiert, sondern Bedürfnisse erst mit gezielter und Ängste evozierender Werbung schaffe. Es ist davon auszugehen, dass eine an einem defizitorientierten Altersbild orientierte Werbestrategie die Stigmatisierungsfurcht unter den Endnutzern/innen verstärken kann.

In diesem Zusammenhang kann eine weitere Beobachtung erwähnt werden: Auch wenn Produkte einerseits von den Teilnehmenden als nützlich und hilfreich eingeschätzt wurden, wurde oftmals rückgemeldet, dass sie sich selbst noch zu "fit" für die Technologien fühlen und keinen Bedarf für den Einsatz im privaten Bereich sehen. Dieses Phänomen kann verschiedene Gründe haben. So kann dies einerseits an einem bislang nicht optimalen Matching liegen, andererseits kann angenommen werden, dass sich hier auch unbewusste

Ängste von Stigmatisierung niederschlagen. AAL-Technologie macht sichtbar, dass jemand nicht mehr oder eingeschränkt in der Lage ist, seinen Alltag selbstständig zu meistern [Lut17]. Damit kann die Anschaffung eines derartigen Produktes als Zeichen der Schwäche anderer oder sich selbst gegenüber wahrgenommen werden. Den Aspekt der Stigmatisierung gilt es daher weiterhin zu erforschen und Wege zu finden, diese Ängste und Gefahren abzubauen und somit die Akzeptanz der Zielgruppe zu erhöhen. Gleichzeitig gibt diese Rückmeldung einen weiteren Denkanstoss im Hinblick auf die Möglichkeiten und Grenzen von AAL-Technologie, der vor dem Hintergrund des SOK-Modells nach Baltes an Kontur gewinnt. Demnach stellen Selektion, Optimierung und Kompensation Mechanismen dar, die Menschen im Laufe ihres Lebens nutzen um mit Ressourcenverlusten umzugehen [Fre02]. Diese Mechanismen müssen stetig an vorhandene Ressourcen angepasst werden und gegenseitig ausbalanciert werden, um eine möglichst hohe Selbstständigkeit zu erhalten. Es geht dabei nicht darum, vorhandene Ressourcen durch Hilfsmittel zu substituieren, zu "kompensieren" und damit unter Umständen Ressourcen sogar zum Erlahmen zu bringen. Erfolgreiche Kompensation im Alter bedeutet bestehende Reserven aktiv zu halten. Vor dem Einsatz von AAL-Technologie sollte stets reflektiert werden, ob dieses Gerät oder System tatsächlich zu den Bedürfnissen der Nutzer passt und ob der Einsatz nicht auch zum Abbau von Fähigkeit und Fertigkeiten führen könnte oder ob die Teilnahme an einer Testung für eine Person gar belastend sein kann. Diese Risiken zeigen auf, dass die Ablehnung von AAL-Technologie ernst genommen und vor der individuellen Situation reflektiert werden muss. Die Entwicklung von Assessments, die einen verfrühten oder unpassenden Einsatz von AAL-Technologien ausschliesst, erscheint daher erstrebenswert und könnte dazu beitragen, dass AAL-Technologie ältere Menschen dabei unterstützen kann in einer Balance aus Selektion, Optimierung und Kompensation die höchstmögliche Selbstständigkeit zu erhalten.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Innovationen können beeinflussen unter welchen Umständen Menschen in Zukunft altern und dazu beitragen, dass Menschen länger in ihrem gewohnten häuslichen Umfeld verbleiben können. Um das volle Potenzial der Innovationen zu entfalten, müssen die Produkte jedoch auf die Endnutzer/innen abgestimmt sein und den Ansprüchen und Erwartungen der Zielgruppe entsprechen.

Um vertiefte Erkenntnisse zur Techniknutzung im Alter zu erlangen, wurde das Living Lab 65+ aufgebaut. Testungen durch die Zielgruppe unter realen Bedingungen ermöglichen vertiefte Erkenntnisse über die Bedürfnisse von Senioren/innen zu erlangen und die Akzeptanz von Produkten zu erhöhen. Mit der Einrichtung des Living Lab 65+ sollen Hersteller und Anbieter individuell die Möglichkeit erhalten, ihre Produkte und Dienstleistungen zielgruppenspezifisch anzupassen und in einem partizipativen Prozess zu einer optimalen Passung zwischen Produkt und Endnutzer/in zu kommen. Langfristig sollen durch die Living-Lab-Testungen aber auch Hinweise auf die Frage nach den realen Erwartungen an technische Unterstützungssysteme von Senioren/innen im Allgemeinen erlangt werden. Damit stösst das Living Lab 65+ einen Dialog zwischen Endnutzer/in, Wissenschaft und Wirtschaft an, von dessen Erkenntnisgewinn durch den Aufbau des Innovationsnetzwerkes "AGE-NT" möglichst viele Akteure profitieren können sollen.

Bisherige Testungen innerhalb des Living Lab 65+ haben vor allem zu Erkenntnissen in Bezug auf die partizipative Forschung unter Einbezug von Endnutzern und Herstellern geführt und dazu beigetragen die Abläufe der Testungen zu optimieren. Diese abgeschlossene Testungen geben auch Hinweise auf allgemeine

Tendenzen der Techniknutzung und auf Fragestellungen, die zukünftig weiterverfolgt werden sollten.

So führten bisherige Testungen des Living Lab 65+ zur Erkenntnis, dass technische Unterstützungssysteme menschliche Hilfestellung nicht obsolet machen. Die Nutzung von technischen Innovationen wird auch in Zukunft von menschlicher Service- und Supportleistung ergänzt werden müssen, um einen Mehrwert für die Zielgruppe schaffen zu können. Damit werden gegebenenfalls neue Tätigkeits- und Berufsfelder entstehen bzw. bestehende Dienstleistungen zielgruppenspezifisch angepasst werden müssen. Welche konkreten Anforderungsprofile und Aufgaben mit diesen Serviceleistungen verbunden sein werden und wie diese bestmöglich auf die Zielgruppe abgestimmt sein müssen, gilt es im Rahmen weiterer Studien zu erforschen.

Eine weitere Herausforderung der Zukunft wird die genaue Erforschung von externalen und internalen Stigmatisierungsprozessen sein. Die Ergebnisse bisheriger Testungen weisen darauf hin, dass defizitorientiertes Marketing die Akzeptanz bei Senioren/innen nicht erhöht und eher abschreckend wirkt. Es gilt weiterhin zu erforschen, wie Produkte gestaltet sein sollten, um Senioren/innen anzusprechen ohne dabei das Gefühl von Stigmatisierung auszulösen. Um zu verhindern, dass AAL-Technologie durch verfrühten oder falschen Einsatz dazu führen kann, vorhandene Ressourcen von älteren Nutzern zu substituieren, wird die Entwicklung von Assessments als vielversprechend erachtet. Nur durch Reflexion des Einsatzes von AAL-Technologie vor der individuellen Situation des Nutzers und seinen Wünschen, kann sichergestellt werden, dass AAL-Innovationen ihr Ziel erreichen die Selbstständigkeit des Menschen längst möglich zu erhalten.

Literatur

- [Bun17] Bundesamt für Statistik: Die Bevölkerung der Schweiz 2016. Neuchâtel, 2017.
- [Cla14] K. Claßen, F. Oswald, M. Doh, U. Kleinemas und H.-W. Wahl: Umwelten des Alterns: Wohnen, Mobilität, Technik und Medien. Stuttgart: Kohlhammer, 2014.
- [Col96] D. Collier und J. Mahoney: Insights and pitfalls: Selection bias in qualitative research. *World Politics*, 49(1), S. 56-91, 1996.

- [Fre02] A. M. Freund und P. B. Baltes: Life-management strategies of selection, optimization, and compensation: Measurement by self-report and construct validity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82, S. 642-662, 2002.
- [Geo15] A. Georges, D. Schuurman, B. Baccarne und L. Coorevits: User engagement in living lab field trials. *Info* 17, S. 26-39, 2015.
- [Hes10] J. Hess und C. Ogonowski: Steps toward a Living Lab for socialmedia concept evaluation and continuous user-involvement. *EuroITV'10*, 8th International Interactive TV&Video Conference, June 9-11. Tampere, S. 171-174, 2010.
- [Kus07] A. Kusiak: Innovation: the living laboratory perspective. *Computer-Aided Design and Applications*, 4(6), S. 863-876, 2007.
- [Lie98] G. A. Lienert und U. Raatz: Testaufbau und Testanalyse (6. Auflage). Weinheim: Psychologie Verlags Union, 1998.
- [Lut17] R. Lutze und K. Waldhör: Integration of stationary and wearable support services for an actively assisted living of elderly people: Capabilities, achievements, limitations, prospects-A case study. In Reiner Wichert und Beate Mand (Hrsg.), *Ambient Assisted Living: 9. AAL-Kongress* (S. 3-26). Frankfurt/M, Germany, April 20 - 21, (2017. Cham: Springer International Publishing.
- [May02] P. Mayring: Einführung in die qualitative Sozialforschung (5. Auflage). Weinheim: Beltz, 2002.
- [May10] P. Mayring: Qualitative Inhaltsanalyse (12. Auflage). Weinheim und Basel: Beltz, 2010.
- [Mey08] S. Meyer und E. Schulze: Smart Home für ältere Menschen. *Handbuch für die Praxis*. Berlin: Berliner Institut für Sozialforschung GmbH, 2008.
- [Mer16] C. Mercay und A. Grünig: Gesundheitspersonal in der Schweiz – Zukünftiger Bedarf bis 2030 und die Folgen für den Nachwuchsbedarf (Obsan Bulletin 12/2016). Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium, 2016.
- [Mis15] S. Misoch: Qualitative Interviews. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2015.
- [Mol04] H. Mollenkopf und R. Kaspar: Technisierte Umwelten als Handlungs- und Erlebensräume älterer Menschen. In: G. M. Backes, W. Clemens und H. Künemund (Hrsg.): *Lebensformen und Lebensführung im Alter* (S. 193-221). Wiesbaden: Springer, 2004.
- [Mol07] H. Mollenkopf, F. Oswald und H.-W. Wahl: Neue Person-Umwelt-Konstellationen im Alter: Befunde und Perspektiven zu Wohnen, ausserhäuslicher Mobilität und Technik. In: H.-W. Wahl und H. Mollenkopf (Hrsg.): *Alternsforschung am Beginn des 21. Jahrhunderts. Alterns- und Lebenslaufkonzeptionen im deutschsprachigen Raum* (S. 361-380). Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft, 2007.
- [Ogo13] C. Ogonowski, B. Ley, J. Hess, L. Wan und V. Wulf: Designing for the living room: Long-term user involvement in a Living Lab. Paris: CHI, 2013.
- [Sta13] A. Stahlbröst: A living lab as a service: creating value for micro-enterprises through collaboration and innovation. *Technology Innovation Management Review*, 3(1), S. 37-42, 2013.
- [Smi13] C. L. Smith: Factors affecting conditions of trust in participant recruiting and retention: a position paper. In: *Proceedings of the 2013 workshop on Living labs for information retrieval evaluation (LivingLab '13)*. ACM, S. 13-14, 2013.

Nutzungsorientierte Entwicklung eines robotikgestützten Assistenzsystems

Erhebung der Zielgruppenanforderungen mittels Mixed-Methods-Design

K. Brukamp

Evangelische Hochschule Ludwigsburg
k.brukamp@eh-ludwigsburg.de

Kurzzusammenfassung

Ein robotikgestütztes Assistenzsystem könnte immobile und pflegebedürftige Betroffene der Krankheit Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und ihre Bezugspersonen, wie Angehörige und Pflegende, entlasten. Zur Optimierung des Einsatzes im Gesundheitswesen werden die Nutzungsperspektiven potenzieller Zielgruppen besonders berücksichtigt. Dafür werden Anforderungen mit verschiedenen Methoden der empirischen Sozialforschung im Rahmen eines Mixed-Methods-Ansatzes analysiert. Die Ergebnisse demonstrieren eine reichhaltige Reflexion von gesellschaftlichen Kontexten, in denen Technik- und Robotiknutzung stattfindet. Insofern illustrieren die Untersuchungen, dass Akzeptanz und Akzeptabilität in einem soziotechnischen Setting nicht nur vom Funktionieren eines technischen Produkts abhängen, sondern auch von der Berücksichtigung sozialer und normativer Faktoren.

Abstract

User-Oriented Development of a Robotics-Driven Assistive System – Survey of Requirements in Target Groups via a Mixed Methods Design

A robotics-driven assistive system could relieve immobile and nursing-dependent patients with the disease amyotrophic lateral sclerosis (ALS) and their caregivers, such as relatives and nurses. In order to optimize utilization in the health care system, users' perspectives are particularly considered in potential target groups. For this purpose, requirements are analyzed with different methods of empirical social science research as part of a mixed methods approach. The results demonstrate a rich reflection on contexts in society, in which the use of technology and robotics takes place. Insofar, the studies illustrate that acceptance and acceptability in a socio-technical setting do not only depend on the functioning of a technical product, but also on the consideration of social and normative factors.

Keywords

Robotik, Amyotrophe Lateralsklerose (ALS), Pflege, Anforderungsanalyse, Ethische, rechtliche und soziale Aspekte/Implikationen (ELSA/ELSI)

1 Einleitung

Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Roboterunterstützte Dienste für eine individuelle und ressourcenorientierte Intensiv- und Palliativpflege bei Menschen mit ALS (ROBINA)“, das von 2017 bis 2020 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, wird ein Leichtbau-roboter in Armform für den Einsatz bei Pati-

entinnen und Patienten mit amyotropher Lateralsklerose (ALS) vorbereitet [Kie18a]. Ausgewählte und technisch schon beherrschbare Pflegetätigkeiten bei körperlich schwer eingeschränkten Menschen in einer Palliativsituation werden dabei statt von professionell und informell Pflegenden von einem technischen Assistenzsystem übernommen. Das Assistenzsystem beruht auf einer Analyse der ge-

samten Situation, in der ALS-Betroffenen Unterstützung angeboten werden soll; es ist robotikbasiert, insofern der Roboterarm eine wesentliche technische Komponente des Systems darstellt. Die Projektbeteiligten stammen unter anderem aus Ingenieurwissenschaften, Technikunternehmen, Informatik, Pflegeeinrichtungen, Humanmedizin und Techniksoziologie.

Die neurologische Krankheit ALS [Pet11] bedeutet eine zunehmende körperliche Einschränkung für die Betroffenen und führt in der Regel innerhalb weniger Monate bis Jahre nach Diagnosestellung zum Tod. Bei der ALS wird das motorische Nervensystem zerstört, so dass die Patientinnen und Patienten sich immer weniger bewegen können und im Laufe der Zeit vollständig pflegeabhängig werden. Eine ursachengerichtete Heilungsmöglichkeit der ALS ist bisher nicht bekannt, auch wenn eine verlaufsverzögernde neuroprotektive Medikation verfügbar ist. Daher bedeutet die Feststellung der Krankheit unmittelbar einen Eintritt in die Palliativsituation mit dem Schwerpunkt der Rehabilitation. Als wichtige Bestandteile einer optimierten ALS-Versorgung werden häufig Diagnosestellung, Kommunikation, Medikation zur Neuroprotektion, Symptommanagement, Atmungsunterstützung, Ernährung, Unterstützung der Bezugspersonen, palliativ- und multidisziplinäre Versorgung genannt [And13, Tak17].

Die begleitende Therapie kann auch eine Verbesserung der Hilfsmittelversorgung einschließen. 1.494 Patientinnen und Patienten in zwölf deutschen ALS-Zentren zeigten über vier Jahre insbesondere einen Hilfsmittelbedarf in den Bereichen Rollstühle, Orthosen, Badezimmeranpassungen und Kommunikation [Fun18]. Während jeweils knapp die Hälfte ein bis vier beziehungsweise fünf bis zwanzig technische Assistenzgeräte besaß, benötigten immerhin 7% mehr als zwanzig Technikprodukte [Fun18]. Die führenden Gründe, warum die Betroffenen in 30% der Fälle die indizierten Hilfsmittel nicht in angemessenem Umfang erhielten, waren die Ab-

kehrung der Finanzierung durch Krankenkassen, die Entscheidung der Betroffenen selbst und der Tod der Patientinnen und Patienten, bevor das Assistenzsystem ihnen zur Verfügung gestellt wurde [Fun18].

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts ROBINA wird ein Roboterarm zur Unterstützung im häuslichen Pflegesetting vorbereitet. Insofern kann er potenziell von ALS-Betroffenen selbst, ihren Angehörigen, Pflegenden und Therapierenden, wie beispielsweise solchen aus der Physiotherapie, als Zielgruppen genutzt werden. Die Nutzungsweisen und die Steuerungsmöglichkeiten sollen im Projekt näher definiert werden. Das Projekt wird dankenswerterweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als dem Projektförderer finanziell unterstützt (Förderkennzeichen 524-4013-16SV7794).

Bisher wurden in der Forschung wenige Ansätze zur Unterstützung von ALS-Patientinnen und -Patienten mit Leichtbauroboterarmen und Arm-Exoskeletten getestet. Ein technisch neuartiges Spezifikum in diesem Projekt ist die Verwendung eines innovativen Roboters, der sich unter anderem aufgrund von Drehmomentsensoren in den Gelenken [Alb07] besonders sensitiv an berührte Oberflächen anpassen kann.

Die Initiative bei der Initiierung des Projekts ging von klinisch tätigen Personen aus, unter anderem von der ALS-Ambulanz der Charité – Universitätsmedizin Berlin und ihren kooperierenden Partnerinnen und Partnern sowie ALS-Betroffenen und ihren Bezugspersonen. Bei ihnen allen besteht ein hohes Forschungs- und Entwicklungsinteresse, um die Lebensqualität der Erkrankten zu verbessern. Das Projekt wurde nicht durch Ingenieurwissenschaften initiiert, sondern die Robotik- und Informatikexpertinnen und -experten wurden sekundär dafür gewonnen. Die zu erfüllenden Ziele wurden vorab definiert, und danach wurden technische und nichttechnische Aufgaben im Konsortium vergeben.

Die hier thematisierten Fragestellungen aus technikethischer Sicht lauten: Welche Anfor-

derungen stellen die Zielgruppen an die vorgesehene Robotik und die Nutzungssettings? Welches sind die lebensweltlichen und gesellschaftlichen Kontexte, in denen eine Unterstützung durch die angebotene technische Vorrichtung geschehen kann? Welche ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekte (ELSA) beziehungsweise Implikationen (ELSI) lassen sich identifizieren und sollten schon im Stadium der Forschung und Entwicklung berücksichtigt werden?

Das gezielte Ansprechen von ELSA wird als ein Baustein von „Responsible Research and Innovation“ (RRI) [For15] verstanden. Beide Ansätze besitzen antizipatorische und interaktive Elemente [Zwa14, Bur17], auf deren Grundlage der Entwicklungsprozess mitgestaltet wird.

2 Methoden

Zur Adressierung der technikethischen Fragestellungen wurden mehrere Methoden der empirischen Sozialforschung eingesetzt, und zwar sowohl qualitative als auch quantitative im Sinn eines Mixed-Methods-Ansatzes, teilweise mit simultaner und teilweise mit sukzessiver Durchführung. Im Einzelnen wurden folgende Komponenten genutzt:

Qualitative, leitfadengestützte Einzelinterviews mit fünf ALS-Betroffenen und fünf Angehörigen wurden durchgeführt, ebenso solche mit weiteren acht Stakeholderinnen und Stakeholdern, beispielsweise Engagierten in Selbsthilfe-Vereinigungen und Hilfsmittel anbietenden [Eic18]. Zusätzlich fand eine Fokusgruppen mit fünf professionell Pflegenden statt [Eic18]. Eine quantitative Befragung wurde an die ALS-Betroffenen der ALS-Ambulanz der Charité – Universitätsmedizin Berlin gerichtet, woran 89 Personen teilnahmen [Eic18]. ELSA-Themen wurden innerhalb eines strukturierten Workshopformats mit siebzehn Projektbeteiligten diskutiert [Kie18b]. Aus den Ergebnissen wurden Anforderungen abgeleitet, die im Rahmen einer Anforderungsanalyse-Abstimmung von siebzehn Projektpartnerinnen und -partnern priorisiert wurden.

An dieser Stelle kann nur ein Ausschnitt aus den Resultaten präsentiert werden. Weitere Berichte wurden bereits (siehe auch [Eic18, Kie18b]) beziehungsweise werden noch veröffentlicht. Die Ergebnisse sind konzeptionell miteinander verbunden, da sie inhaltlich dem Ziel einer individuell und gesellschaftlich verantwortlichen Technikentwicklung dienen und methodisch in einem Mixed-Methods-Ansatz gewonnen wurden.

Die Resultate des ELSA-Workshops [Kie18b] entstammen einem strukturierten und moderierten Diskurs [Bru18], der auf der Grundlage des Modells zur ethischen Evaluation soziotechnischer Arrangements (MEESTAR) [Man13] stattfand. Die Workshop-Teilnehmenden bereiteten die sozialen und ethischen Themen in kleinen Arbeitsgruppen allgemein und projektbezogen auf und diskutierten sie im Plenum.

Gemäß MEESTAR werden sieben inhaltliche Dimensionen der gesundheitsbezogenen Technikethik auf den drei soziologischen Ebenen der Mikro-, Meso- und Makroperspektiven bewertet [Man13]. Die Dimensionen beruhen auf vier weitläufig akzeptierten Prinzipien der Gesundheitsethik, nämlich Respekt vor der Autonomie von Personen, Fürsorge, Nichtschaden und Gerechtigkeit [Bea12]. Insofern stellen die Dimensionen eine Ausdifferenzierung auf der Grundlage eines etablierten Konzepts der biomedizinischen Ethik [Bea12] dar, das eine Verwurzelung bietet und eine Vereinheitlichung des Ansatzes gewährleistet. Die Wahl anderer oder zusätzlicher Dimensionen in der angewandten Ethik ist grundsätzlich möglich; Auswahlkriterium könnte hierbei die relative Unabhängigkeit der Dimensionen voneinander sein, so dass sie möglichst unterschiedliche Perspektiven generieren.

3 Ergebnisse

Die qualitativen Interviews [Eic18] legen subjektive Theorien der Teilnehmenden offen. Ein Zusammenhang zwischen Alter und Technikvorerfahrung einerseits und Technikakzeptanz andererseits wird sowohl für die ALS-Betroffenen als auch für die Pflegenden gesehen. Bedienungsfreundlichkeit und Service

durch die Anbietenden werden als akzeptanzsteigernde Kriterien identifiziert. Auch der Vermittlung von technischen Informationen an die ALS-Betroffenen durch Angehörige und Pflegende kommt eine wichtige Rolle zu. Ein wiederkehrendes Thema ist die Frage nach der Finanzierung des Assistenzsystems. Diese Sorge im Hinblick auf den zukünftigen Zugang zu einer Pflege- und Therapietechnologie ist durch Erfahrungen mit aktuell teilweise auftretenden Verzögerungen bei der Hilfsmittelversorgung bedingt [Eic18].

Die quantitative Befragung [Eic18] richtet sich an die Zielgruppe der ALS-Betroffenen. 23% der Patientinnen und Patienten schätzen ihre Pflegesituation so ein, dass bereits der Gebrauch des im Projekt bearbeiteten robotischen Assistenzsystems sinnvoll gewesen wäre, und 26% wünschen ihn sich aktuell als Unterstützung. In dieser Population besteht kaum ein Unterschied zwischen den subjektiv gesehenen Einsatzmöglichkeiten in körperfernen (38%) versus körpernahen (36%) Bereichen. 28% der Befragten bewerten den Roboter als positiv im Hinblick auf die Autonomie von Patientinnen und Patienten [Eic18].

Im ELSA-Workshop [Kie18b] werden die Diskussionspunkte in sieben inhaltliche Dimensionen der Technikethik [Man13] kategorisiert. Eine Haltung der Fürsorge gegenüber den Patientinnen und Patienten gebietet, ihnen Unterstützung anzubieten, um sie und ihre Bezugspersonen zu entlasten. Damit können die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und die Beteiligung an gemeinsamen Aktivitäten gefördert werden. Der Gestaltungsspielraum der Betroffenen wird im Sinn der Selbstbestimmung erweitert. Die Dimension der Sicherheit wird auf vielen Ebenen des technischen Assistenzsystems und seines sozialen Settings relevant; beispielsweise sollen Fehlfunktionen soweit wie möglich ausgeschlossen werden. Zudem werden Sicherheitsgedanken im Bereich der Privatheit bedeutsam, wenn der Umgang mit Daten, die beim Gebrauch des Roboterarms erhoben werden, festgelegt wird. Überlegungen zur Gerechtigkeit betreffen vor allem die Frage nach dem Zugang zur Technik

im Gesundheitssystem und die Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Krankheitsbilder. Schließlich führt die Dimension Selbstverständnis zur Hoffnung, Technik ohne Einschränkungen der sozialen Beziehungen erfolgreich in den Alltag zu integrieren und Selbstwirksamkeit und Selbstwertgefühl der Zielgruppen zu steigern [Kie18b].

Die sich aus den verschiedenen Quellen der Studien ergebenden Anforderungen werden thematisch geordnet und von den Projektbeteiligten nach Relevanz bewertet, um wesentliche Punkte im Projektverlauf gezielt umzusetzen. Dabei werden die Bereiche Anwendungskontexte, Technikbedingungen, Akzeptanz, Funktion und Sicherheit identifiziert. Für die Anwendung wird beispielsweise die Notwendigkeit gesehen, eine leicht zugängliche und verständliche Bedienungsanleitung zu erstellen. Zu den als wichtig bewerteten Technikbedingungen gehört das Vorhalten von Servicedienstleistungen, um ein konstantes Funktionieren des technischen Produkts zu ermöglichen. Für die Akzeptanz wird die überschaubare Größe des Roboterarms als förderlich angesehen. Vorgestellte Funktionen betreffen sehr unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten, von denen einige für die Realisierung im Rahmen des Projekts ausgewählt werden. Für den Bereich Sicherheit werden die Vermeidung einer Verletzungsgefahr und ein Datenschutzkonzept erwartet.

4 Diskussion

Die angegebenen Fragestellungen der Technikethik können durch die vielfältigen Studien im Rahmen des Mixed-Methods-Ansatzes adressiert werden. Durch die Berücksichtigung verschiedener Zielgruppen und der Projektbeteiligten wird eine umfassende Anforderungsanalyse erzielt. Der Input für das Projekt besteht nicht nur aus Assoziationen zur robotischen Technik, sondern betrifft auch die sozialen Faktoren der Nutzungssettings. Die gesellschaftlichen Kontexte scheinen wiederholt auf, beispielsweise angesichts der Finanzierung von Hilfsmittelversorgung im Gesundheitssystem. Die frühe Reflexion von ELSA im Projekt dient dazu, von Anfang an

akzeptable Wege zu beschreiten. Insbesondere der dezidierte Fokus darauf im Rahmen eines spezialisierten Workshops erbringt reichhaltige Perspektiven. Der Vergleich der Resultate aus den auf verschiedenen Methoden beruhenden Studien zeigt Übereinstimmungen und auch Komplementarität der Ergebnisse.

Die eingesetzten Methoden sind sehr gut geeignet, um mit einem Mixed-Methods-Design mehrere Zielgruppen sowie Stakeholderinnen und Stakeholder zu untersuchen. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen dahingehend, dass die Teilnehmendenzahlen bei der quantitativen Befragung gesteigert, die qualitativen und quantitativen Komponenten in Anteilen sukzessive bei denselben Gruppen erhoben und sie dadurch inhaltlich stärker aufeinander bezogen werden könnten. Die ELSA-Ergebnisse aus den Workshopreflexionen [Kie18b] sollten noch konkreter gefasst und formuliert werden, um sie in der Praxis zu adressieren; diese Aufgaben werden zukünftig im weiteren Projektverlauf erfüllt, da weitere Diskurse zu sozialen und ethischen Themen folgen.

Die initialen Projektschritte im Hinblick auf Nutzung und Akzeptanz, wie die Studien zur Anforderungsanalyse, demonstrieren spezifische Argumentationsmuster, die den Einsatz des technischen Systems bei Menschen mit ALS konzeptionell legitimieren. Zum Beispiel sollen Minimal- und Komforthandlungen unterstützt werden [Kie18a]. Damit werden Pflegebedürftige und Pflegenden entlastet, weil häufig wiederholte menschliche Hilfestellungen für ständig nötige Korrekturbewegungen übernommen werden. Des Weiteren

soll der Roboterarm möglichst in die teilweise bereits bestehende Umfeldsteuerung integriert werden. Zusätzlich wird ein Gebrauch für Unterhaltungszwecke angestrebt. Insgesamt lassen sich erkrankungs- und einschränkungsabhängige Bedürfnisse identifizieren, die die Nutzung einer bestimmten technischen Lösung, gerade auch aus der Sicht der Betroffenen, in besonderer Weise begründen.

Die Ergebnisse des Projekts, einschließlich der Anforderungsanalyse, lassen sich aller Voraussicht nach zumindest teilweise auf andere robotische Assistenzsysteme übertragen. Allerdings werden sich Unterschiede im Assistenzansatz durch die ausgewählte Gruppe der zu unterstützenden Personen ergeben, weil ihre Bedürfnisse je nach Krankheitsbild und Pflegegrad verschieden sein werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Vorbereitung von technischen und robotischen Assistenzsystemen zum Einsatz im Gesundheitswesen erfordert aufgrund der Vulnerabilität der von Krankheiten Betroffenen bereits in den Forschungs- und Entwicklungsphasen eine Reflexion der gesellschaftlichen Voraussetzungen. Im Rahmen eines Mixed-Methods-Ansatzes werden im Projekt ROBINA potenzielle Nutzungsgruppen breit und strukturiert einbezogen. Die Berücksichtigung von Anforderungen ist mit der Hoffnung verbunden, dass technische Assistenz Menschen mit ALS und mit vergleichbar körperlich einschränkenden Erkrankungen in ihren sozialen Kontexten sinnvoll unterstützen kann.

Literatur

- [Alb07] A. Albu-Schäffer, S. Haddadin, C. Ott, A. Stemmer, T. Wimböck und G. Hirzinger: The DLR Lightweight Robot: Design and Control Concepts for Robots in Human Environments. In: *Industrial Robot: An International Journal* 34 (5), S. 376-385. doi: <https://doi.org/10.1108/01439910710774386>, 2007.
- [And12] The EFNS Task Force on Diagnosis and Management of Amyotrophic Lateral Sclerosis: P. M. Andersen, S. Abrahams, G. D. Borasio, M. de Carvalho, A. Chio, P. Van Damme, O. Hardiman, K. Kollewe, K. E. Morrison, S. Petri, P.-F. Pradat, V. Silani, B. Tomik, M. Wasner and M. Weber: EFNS guidelines on the Clinical Management of Amyotrophic Lateral Sclerosis (MALS) – Revised Report of an EFNS

- Task Force. In: *European Journal of Neurology* 19, S. 360-375. doi:10.1111/j.1468-1331.2011.03501.x, 2012.
- [Bea12] T. L. Beauchamp und James F. Childress: *Principles of Biomedical Ethics*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- [Bru18] K. Brukamp: Responsible Research und Innovation for Communication by Brain-Computer Interfaces in Severe Brain Damage. S. 116-119. In: S. Boll, A. Hein, W. Heuten und K. Wolf-Ostermann (Hrsg.): *Zukunft der Pflege – Innovative Technologien für die Praxis*. Oldenburg: Universität Oldenburg, 2018.
- [Bur17] M. Burget, E. Bardone und M. Pedaste: Definitions and Conceptual Dimensions of Responsible Research and Innovation: A Literature Review. In: *Science and Engineering Ethics* 23 (1), S. 1-19. doi: 10.1007/s11948-016-9782-1, 2017.
- [Eic18] C. Eicher, J. Kiselev, K. Brukamp, D. Kiemel, T. Meyer, A. Maier, S. Spittel und M. Greuß: Entwicklung eines robotergestützten Assistenzsystems für die amyotrophe Lateralsklerose (ALS) unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsperspektiven. S. 22-27. In: S. Boll, A. Hein, W. Heuten und K. Wolf-Ostermann (Hrsg.): *Zukunft der Pflege – Innovative Technologien für die Praxis*. Oldenburg: Universität Oldenburg, 2018.
- [For15] E.-M. Forsberg: ELSA and RRI – Editorial. In: *Life Sciences, Society and Policy* 11, 2. doi: 10.1186/s40504-014-0021-8, 2015.
- [Fun18] A. Funke, S. Spittel, T. Grehl, J. Grosskreutz, D. Kettemann, S. Petri, U. Weyen, P. Weydt, J. Dorst, A. C. Ludolph, P. Baum, M. Oberstadt, B. Jordan, A. Hermann, J. Wolf, M. Boentert, B. Walter, N. Gajewski, A. Maier, C. Münch und T. Meyer: Provision of Assistive Technology Devices among People with ALS in Germany: a Platform-Case Management Approach. In: *Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration* 19 (5-6), S. 342-350. doi: 10.1080/21678421.2018.1431786, 2018.
- [Kie18a] D. Kiemel und K. Brukamp: Robotische Assistenz bei amyotropher Lateralsklerose (ALS). Selbstständigkeit erhalten mit technischer Unterstützung. In: *Pflegezeitschrift* 71 (4), S. 56-58, 2018.
- [Kie18b] D. Kiemel und K. Brukamp: Robotisches Assistenzsystem bei amyotropher Lateralsklerose: Soziale und ethische Aspekte. S. 120.124. In: S. Boll, A. Hein, W. Heuten und K. Wolf-Ostermann (Hrsg.): *Zukunft der Pflege – Innovative Technologien für die Praxis*. Oldenburg: Universität Oldenburg, 2018.
- [Man13] A. Manzeschke, K. Weber, E. Rother und H. Fangerau: *Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“*. Berlin: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2013.
- [Pet11] S. Petri und T. Meyer: Motoneuronerkrankungen. In: *Nervenarzt* 82 (6), S. 697-706. doi: 10.1007/s00115-010-2967-y, 2011.
- [Tak17] K. Takei, K. Tsuda, F. Takahashi, M. Hirai und J. Palumbo: An Assessment of Treatment Guidelines, Clinical Practices, Demographics, and Progression of Disease among Patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis in Japan, the United States, and Europe. In: *Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration* 18 (supl), S. 88-97. doi: 10.1080/21678421.2017.1361445, 2017.
- [Zwa14] H. Zwart, L. Landeweerd und A. van Rooij: Adapt or Perish? Assessing the Recent Shift in the European Research Funding Arena from ‘ELSA’ to ‘RRI’. In: *Life Sciences, Society and Policy* 10, 11. doi: 10.1186/s40504-014-0011-x, 2014.

Menschzentrierte Simulation mit adaptiver kollisionsfreier Roboterbahnplanung in der Mensch-Roboter-Kollaboration

P. Glogowski, K. Lemmerz, A. Hypki und B. Kuhlenkötter

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme
{glogowski, lemmerz, hypki, kuhlenkoetter}@lps.rub.de

Kurzzusammenfassung

Eine realitätsnahe Simulation der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) mit kollisionsfreier Bahnplanung liefert bereits während der Planung und weit vor der Inbetriebnahme wertvolle Informationen für die Prozess- und Layoutgestaltung eines kollaborativen Montageszenarios. Dieser Beitrag beschreibt einen Ansatz für eine menschzentrierte MRK-Simulation mit adaptiver kollisionsfreier Bahnplanung. In der Simulation werden die Positions- und Bewegungsdaten des Menschen im Montageprozess vorgegeben und die Roboterbahn so angepasst, dass eine Kollision mit dem Menschen ausgeschlossen wird. Nach geltenden Normen wie der DIN ISO/TS 15066 ist die Einhaltung von Sicherheitsabständen zwischen Mensch und Roboter zwingend erforderlich und soll in diesem Beitrag fokussiert werden.

Abstract

Human-Centered Simulation with Adaptive Collision-Free Robot Path Planning in HRC

A realistic simulation of the human-robot collaboration (HRC) with collision-free path planning provides reliable information for the process and layout design of a collaborative assembly scenario even during planning and well before commissioning. This paper describes an approach for a human-centered HRC simulation with adaptive collision-free path planning. In the simulation, the position and movement data of the human worker in the assembly process are specified and the robot's path is adapted to avoid collisions with the human worker. According to applicable standards such as DIN ISO/TS 15066, the observation of safety distances between the human worker and the robot is absolutely essential and will be addressed in this article.

Keywords

Mensch-Roboter-Kollaboration, Kollisionsfreie Bahnplanung, Robot Operating System, ROS, DIN ISO/TS 15066, Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung, Sicherheitsabstand

1 Einleitung

Ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz von Montagesystemen mit direkter Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ist der Mangel an entsprechender Planungs- und Simulationssoftware [Bau16]. Insbesondere ist es für Unternehmen schwierig, die Wirtschaftlichkeit eines MRK-Szenarios ohne eine entsprechende Planungs- und Simulationsunterstützung zu beurteilen, da viele Unterbrechungen und Sicherheitsanforderungen, wie z. B. Geschwindigkeitsreduzierungen oder Sicherheitsstopps, die zuvor abgeschätzte Produktivität beeinflussen.

Der erforderliche Modellierungsaufwand zur Planung und Gestaltung eines kollaborativen Montagesystems, zur Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit und zur Ermittlung des Potenzials des MRK-Systems ist enorm und verhindert den breiten Einsatz solcher Technologien.

Die Entwicklung eines ganzheitlichen Simulationswerkzeugs für die MRK steht daher im Fokus aktueller Forschungsaktivitäten (vgl. [Glo17, Lem18]). Hierbei wird die Integration von Roboterfunktionalitäten wie einer Roboterbahnplanung sowie Greif- und Sensorsimulation in eine bestehende proprietäre Software

für die Simulation der menschlichen Montagearbeit erforscht [Lem18]. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der kollisionsfreien Simulation der Mensch-Roboter-Bewegungen. Eine realitätsnahe Simulation der MRK mit kollisionsfreier Bahnplanung liefert bereits während der Planung und weit vor der eigentlichen Inbetriebnahme der MRK-Anwendung zuverlässige Informationen, bspw. über die Zykluszeit oder technische Machbarkeit, welche u. a. für die Prozess- und Layoutgestaltung herangezogen werden.

Dieser Beitrag beschreibt den Ansatz einer menschenzentrierten MRK-Simulation mit adaptiver kollisionsfreier Bahnplanung. Im Rahmen der Simulation werden die Positionen und Bewegungsgeschwindigkeiten des Menschen im Montageprozess vorgegeben. Die Bewegung des Roboters muss dabei so angepasst werden, dass eine Kollision mit dem sich bewegenden Menschen ausgeschlossen wird. Nach geltenden Normen wie der DIN ISO/TS 15066 ist im MRK-Betriebsmodus der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung zusätzlich die Berechnung von Sicherheitsabständen zwischen Mensch und Roboter notwendig, die zwangsläufig in der Roboterbahnplanung eingehalten werden müssen.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 gibt eine kurze Einführung in das Themenfeld MRK und fokussiert dabei besonders die aktuell geltenden normativen Rahmenbedingungen, die zur Berechnung des notwendigen Sicherheitsabstands herangezogen werden. In Kapitel 3 wird darauf aufbauend die Systemarchitektur eines zugrunde liegenden MRK-Simulationswerkzeugs beschrieben, in der sich der hier beschriebene Ansatz zur adaptiven kollisionsfreien Roboterbahnplanung einordnet. Dieser Ansatz für den MRK-Betriebsmodus der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung wird in Kapitel 4 vorgestellt und anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels erläutert.

2 Mensch-Roboter-Kollaboration

In der MRK arbeiten Mensch und Roboter gleichzeitig an einem Werkstück in einem gemeinsamen Arbeitsraum ohne trennende

Schutzeinrichtungen. Dies bietet neue Möglichkeiten der Arbeitsplatzgestaltung, insbesondere in der Montage, da Aufgaben von Menschen und Robotern individuell bearbeitet werden können. Neben ihren eigenen Arbeitsbereichen haben bei der MRK Mensch und Roboter auch einen gemeinsamen Arbeitsraum, den sog. *Kollaborationsraum*, der sich aus der Überlappung der beiden Arbeitsbereiche von Mensch und Roboter ergibt [Beu05]. Generell gibt es fünf verschiedene Interaktionsformen der Zusammenarbeit zwischen Roboter und Menschen – von der abgeschotteten Zelle bis zur Kollaboration [Bau16].

2.1 Sicherheitsanforderungen

Durch die Änderungen und Neuentwicklung der Normen und Richtlinien (vgl. Abschnitt 2.3.1) wurden rechtliche Randbedingungen geschaffen, die eine direkte Kollaboration von Mensch und Roboter zulassen. Aufgrund entfallender Schutzzäune ist eine physische Kollision zwischen Mensch und Roboter oder mit der Umgebung möglich. In der Folge können leichte bis schlimmstenfalls schwere Verletzungen beteiligter Werker nie vollkommen ausgeschlossen werden. Um die Zusammenarbeit von Menschen und Robotern im Kollaborationsraum dennoch zu ermöglichen, müssen verschiedene Sicherheitsanforderungen erfüllt werden. Dies dient in erster Linie dem Schutz des menschlichen Mitarbeiters, der die Zusammenarbeit mit dem Roboter ausführt. Um den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, muss der Kollaborationsraum ständig mit geeigneter Sensorik überwacht werden. Die Position des menschlichen Arbeiters muss bekannt sein, um die Geschwindigkeit des Roboters anzupassen, gegebenenfalls eine Bewegung dynamisch neu planen oder eine Bewegung beim Betreten kritischer Sicherheitszonen zu stoppen.

2.2 Betriebsmodi

Grundsätzlich sind vier Betriebsmodi nach der aktuellen Normenlage zulässig:

1. **Sicherheitsbewerteter überwachter Halt:** Es kommt zum Stopp des Roboters, wenn der Mitarbeiter den gemeinsamen

Arbeitsraum betritt. Sobald der Werker den gemeinsamen Arbeitsraum verlässt, wird die Roboterbewegung wieder aufgenommen.

2. **Handführung:** Hierbei handelt es sich um eine aktive Steuerung der Roboterbewegung durch den Mitarbeiter anhand geeigneter Ausrüstung.
3. **Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung:** Roboter und Werker dürfen sich gleichzeitig im Kollaborationsraum bewegen, wobei der Kontakt zwischen dem in Bewegung befindlichem Roboter und dem Werker vermieden wird.
4. **Leistungs- und Kraftbegrenzung:** Die zwischen dem Werker und dem Roboter auftretenden Kontaktkräfte sind auf ein ungefährliches Maß reduziert und orientieren sich an den in der DIN ISO/TS 15066 spezifizierten biomechanischen Grenzwerten.

Dieser Beitrag richtet sich speziell an den dritten MRK-Betriebsmodus der *Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung* und soll im Folgenden im Detail behandelt werden.

2.3 Sicherheitsabstand

Im Betrieb der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung darf ein Sicherheitsabstand zwischen Roboter und Werker nicht unterschritten werden, andernfalls muss das Robotersystem stoppen. Der Sicherheitsabstand ist dabei abhängig von verschiedenen Faktoren wie der Position und den Geschwindigkeiten aller beweglichen Roboterteile und der des Werkers. Als Reaktion auf ein Unterschreiten des Sicherheitsabstands kann die Geschwindigkeit reduziert oder aber eine alternative Bahn genutzt werden. Ebenfalls müssen gefährliche Raumbereiche durch Achsbegrenzung dem Roboter verwehrt bleiben und die Geschwindigkeit überwacht werden.

2.3.1 Normen- und Rechtslage

Die nachstehenden Normen und Richtlinien sind zur Bestimmung des notwendigen Sicherheitsabstands relevant:

- **DIN ISO/TS 15066:2017:** Spezifikation

des Betriebsmodus inkl. Formel zur Bestimmung des Mindestabstands

- **DIN EN ISO 10218-1:2012:** Bestimmung von Anhaltezeit und Anhalteweg für einzelne Roboterachsen
- **DIN EN ISO 10218-2:2012:** Allg. Definition der MRK-Betriebsmodi
- **DIN EN ISO 13855:2010:** Grundlage zur Berechnung des Mindestabstands für die DIN ISO/TS 15066
- **DGUV-Information 3D-Schutzraum (2014):** Bestimmung des Eindringabstands bei optischen Sensoren (Erweiterung der DIN EN ISO 13855 für 3D-Sensorik)

2.3.2 Stand der Forschung

Der Betriebsmodus der Geschwindigkeit- und Abstandsüberwachung ist seit einigen Jahren auch Gegenstand diverser Forschungs- und Entwicklungsinitiativen. Lacevic und Rocco [Lac10] beschreiben eine Sicherheits- und Gefahrenbewertung für Umgebungsobjekte innerhalb von Roboterzellen. Auf Basis eines kinetostatischen Gefahrenfeldes wird dabei der vollständige Roboterzustand in Form von Position und Geschwindigkeit bestimmt und für die Ableitung des Gefahrenlevels in Roboter-nähe verwendet.

Der Beitrag [Pol14] befasst sich mit dem Problem der Kollisionsvermeidung in der MRK. Hierfür wird ein Konzept für ein kinetostatisches Sicherheitsfeld eingeführt. Es handelt sich um eine neuartige Sicherheitsbewertung des Risikos in der Nähe eines Körpers wie einem menschlichen Körperteil. Das Sicherheitsfeld hängt von der Position und Geschwindigkeit des Körpers ab, wird aber auch von seiner Geometrie beeinflusst.

Marvel [Mar13] schlägt eine Reihe von Metriken für die Bewertung und den Vergleich von Algorithmen zur Kollisionsvermeidung vor und führt zudem eine erste Fall-Studie zur Anwendung der Abstandsformel aus der damals noch nicht veröffentlichten technischen Spezifikation durch.

In [Mar17] wird die in der DIN ISO/TS 15066 erstmals spezifizierte Formel für die Berech-

nung des notwendigen Mindestabstands detailliert zerlegt und hinsichtlich der Anwendbarkeit bewertet. Zudem werden Hinweise für die Implementierung und Integration der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung in kollaborative Roboterarbeitszellen skizziert. Die meisten bisherigen Ansätze zur Abbildung und Integration der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung berücksichtigen i. d. R. nur eine einzige repräsentative Koordinate zur Beschreibung der Roboterbewegung (z. B. den Werkzeugflansch). Zanchettin u. a. [Zan16] skizzieren diesbezüglich eine neue Metrik, die speziell für die Aufrechterhaltung der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung für die gesamte kinematische Kette in den Steuerungsalgorithmen eines Roboters entwickelt wurde.

2.3.3 Berechnungsgrundlagen

Der Sicherheitsabstand S_p berechnet sich nach DIN ISO/TS 15066 wie folgt:

$$S_p(t_0) = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r \quad (1)$$

In Gl. (1) entspricht t_0 dem Zeitpunkt der Auswertung des Sicherheitsabstands. S_h ist der Beitrag zum Sicherheitsabstand, der durch die Positionsänderung des Mitarbeiters im laufenden Prozess berücksichtigt werden muss:

$$S_h = \int_{t_0}^{t_0+T_r+T_s} v_h(t) dt \quad (2)$$

Dabei ist T_r die Ansprechzeit von Robotersystem und Sicherheitstechnik. Hierzu zählen die Erkennung des Werkers durch die Sensorik, die Verarbeitung der Erkennung und die Aktivierung des Roboterhalts. T_s ist die Anhaltezeit des Roboters. Der Weg, den der Roboter bis zum Ansprechen des Robotersystems zurücklegt, wird durch

$$S_r = \int_{t_0}^{t_0+T_r} v_r(t) dt \quad (3)$$

mit der gerichteten Geschwindigkeit des Robotersystems v_r zur Bedienperson berechnet. S_s entspricht dem eigentlichen Anhalteweg:

$$S_s = \int_{t_0+T_r}^{t_0+T_r+T_s} v_s(t) dt \quad (4)$$

v_s ist die Geschwindigkeit des Roboters während des Anhaltvorgangs bis zum Stillstand. Sowohl S_s als auch T_s sind von der Anordnung des Roboters, der geplanten Bewegung, der Geschwindigkeit, des Endeffektors sowie der Last abhängig. Zudem spielt die in der Robotersteuerung ausgewählte Stoppkategorie - Stopp 0, Stopp 1 oder Stopp 2 (vgl. DIN EN ISO 10218-1) - eine entscheidende Rolle. Die letzten drei Terme von Gl. (1) können zur Beschreibung des definitiven Mindestabstands zusammengefasst werden:

$$S_m = C + Z_d + Z_r \quad (5)$$

C beschreibt die Eindringtiefe eines Körperteils in den Erkennungsbereich eines Sensors nach DIN ISO 13855, bevor der Körperteil (i. d. R. die Hand) erkannt wird. Die Anteile Z_d und Z_r sind Unsicherheitsfaktoren bzgl. der ausgewählten Sensorik. Z_d ergibt sich aus der Messunsicherheit des Sensorik zur Positions-erkennung des Werkers. Die Ungenauigkeit der Roboterposition wird in Z_r betrachtet. In frühen Entwürfen der DIN ISO/TS 15066 wird der Mindestabstand aus Gl. (1) in einer linearisierten Form [Mar17] durch

$$S_p = v_h(T_r+T_s) + v_r T_r + B + S_m \quad (6)$$

angegeben, wobei B den vom Roboter beim Bremsen zurückgelegten Weg kennzeichnet. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Gl. (6) eine lineare Beziehung und somit lediglich eine grobe Annäherung an den erforderlichen Mindestabstand beschreibt.

3 Simulationswerkzeug für MRK

Die zugrunde liegende Systemarchitektur des MRK-Simulationswerkzeugs, worin die Berechnung des Sicherheitsabstands einfließen soll, besteht aus zwei zentralen Systemkomponenten [Glo17]: einer Roboter- und Peripheriesimulation sowie einer Menschsimulation.

3.1 Menschsimulation

Der Teil der Menschsimulation wird durch den *Editor menschlicher Arbeit* (EMA) der Firma imk automotive GmbH abgedeckt. EMA liefert eine zeitliche Bewertung und ergonomische Analyse des geplanten Arbeitsablaufs sowie eine realistische Visualisierung der menschlichen Körperbewegungen [Bau15]. Obwohl Robotersysteme bereits in EMA integriert werden können, werden bisher nur eingeschränkte Funktionalitäten für die Simulation von Roboter- und Peripheriekomponenten angeboten, insbesondere in Zusammenarbeit mit dem integrierten Menschmodell. Zudem existieren keine hinreichenden Möglichkeiten, um sicherheitsrelevante Informationen für MRK-Anwendungen abzuleiten. Dazu gehören bspw. die Bestimmung der zulässigen Robotergerwindigkeit und der zu beachtenden Gefahren- und Sicherheitszonen nach den entsprechenden Normen und Richtlinien.

3.2 Roboter- und Peripheriesimulation

Der Teil der Roboter- und Peripheriesimulation basiert auf dem Open-Source-Software-Framework *Robot Operating System* (ROS) [Qui09], welches als Standard in der Roboterforschung und -entwicklung gilt [Jos15a; Guz16]. ROS ermöglicht die ganzheitliche Simulation von Robotern, Sensoren und Umgebung und liefert eine Vielzahl von Treibern zur Steuerung von Sensoren, Aktoren und ganzen Robotersystemen. Ergänzt wird dies durch grundlegende Robotik-Algorithmen für die Bahnplanung, Sensordatenverarbeitung sowie Kollisionsprüfung und -überwachung. [Qui15; Jos15b]

3.2.1 Bewegungsplanung

Das Bewegungsplanungs-Framework *MovelIt!* vereint die aktuellsten Algorithmen zur Bewegungsplanung, 3D-Wahrnehmung, Kinematik, Regelung und Navigation. *MovelIt!* basiert auf der *Open Motion Planning Library* (OMPL) [Suc12], welche zur Berechnung von kollisionsfreien Roboterbahnen verwendet wird.

3.2.2 Umgebungsmodellierung

Die Umgebung und alle Informationen zur Erstellung der Welt, in der sich der Roboter befindet, werden in der *Planning Scene* gespeichert. Dazu zählt auch der Zustand des Roboters selbst. Dabei können Auskünfte über den aktuellen Roboterzustand (z. B. Gelenkwinkel), Sensorinformationen und Geometrie-Informationen über die Umwelt aufgerufen werden. [Chi16]

Unter Verwendung des *OctoMap-Frameworks* [Hor13] wird mithilfe von Distanz-Sensorik wie einer TOF-Kamera ein 3D-Voxelfeld der Umgebung erstellt (Abbildung 2). Es entsteht eine Karte aus vielen kleinen Quadern, die die Umgebung repräsentieren. Sie wird von der Bewegungsplanung mit berücksichtigt und ermöglicht so die Vermeidung von Kollisionen mit der Umgebung.

3.3 Schnittstelle und Datenaustausch

Ein wesentlicher Bestandteil des Simulationswerkzeugs für MRK ist die Datenschnittstelle [Lem18] zwischen EMA und ROS. Der gesamte Montagearbeitsplatz mit allen Mensch-, Roboter- und Umgebungsmodellen wird vom Planer virtuell in EMA modelliert (Abbildung 1) und anschließend in Form eines virtuellen Abbildes an die Robotersimulation in ROS übergeben.

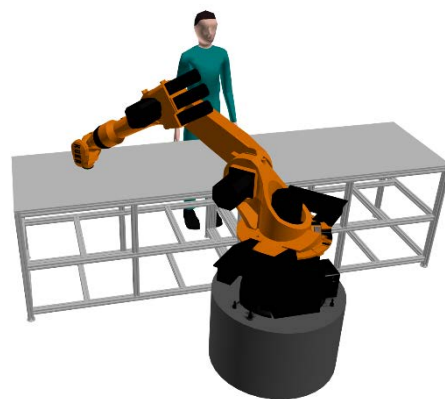


Abbildung 1: Montageszenario in EMA

Um die Bewegungen des Menschen und alle in EMA modellierten Umgebungsobjekte in der Robotersimulation während des Montage-

prozesses zu berücksichtigen, werden die Bewegungsdaten des Menschen sowie alle Umgebungsinformationen über ein vereinfachtes 3D-Voxelfeld (Abbildung 2) von EMA nach ROS übertragen.

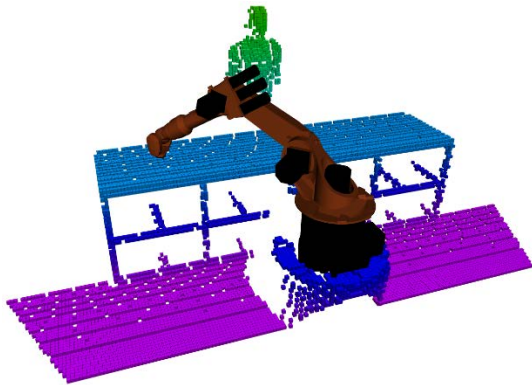


Abbildung 2: 3D-Voxelfeld in ROS

Das 3D-Voxelfeld stellt die Punkte dar, die während des Montageprozesses belegt sind, und liefert somit die erforderlichen Umgebungsdaten für die kollisionsfreie Bahnplanung. Es wird angenommen, dass das Menschmodell und die Bewegungen des simulierten menschlichen Werkers gegeben und unveränderlich sind, d. h. der Roboter muss seinen Weg um den Werker herum planen.

Nachdem sämtliche Umgebungs- und Bewegungsdaten an ROS übertragen wurden, erfolgt die Roboter- und Peripheriesimulation. Dabei werden die berechneten Gelenkwinkel des Roboters von ROS über die Daten- und Kommunikationsschnittstelle zurück an EMA geschickt. Der Roboter wird anschließend in der Simulationsumgebung von EMA angesteuert und visualisiert, wodurch eine ganzheitliche Simulation eines MRK-Montageszenarios realisiert wird.

4 Adaptive kollisionsfreie Bahnplanung

Im Rahmen dieses Beitrags liegt als Ausgangssituation eine bereits geplante kollisionsfreie Roboterbahn vor, welche jedoch die Sicherheitsabstände nach DIN ISO/TS 15066 nicht berücksichtigt. Grundsätzlich bestehen hier zwei unterschiedliche Strategien, um auf die Roboterbewegungen Einfluss zu nehmen: Ohne den zuvor geplanten Roboterpfad verän-

dern zu müssen, kann einerseits die Geschwindigkeit des Roboters angepasst werden, um den notwendigen Sicherheitsabstand zu gewährleisten. Andererseits kann der Roboterpfad modifiziert werden, sofern die Geschwindigkeiten des Roboters prozessbedingt vorgegeben sind.

4.1 Anwendungsbeispiel

Im Folgenden soll ein Anwendungsbeispiel für einen typischen MRK-Arbeitsplatz mit geteiltem Arbeitsraum, dem Kollaborationsraum, zwischen Mensch und Roboter betrachtet werden. Als Roboter kommt ein konventioneller sechssachsiger Industrieroboter KUKA KR 16-2 (Nenntraglast: 16 kg, maximale Reichweite: 1.801 mm) zum Einsatz. Die Lokalisierung des Mitarbeiters erfolgt über das Kamerasystem Pilz SafetyEYE. Dabei wird der Betriebsmodus der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung im Folgenden behandelt. Der Roboter bewegt sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius r von einer Start- zu einer Zielposition (Abbildung 5), wobei nur die erste Roboterachse q_1 zwischen 90° und -90° rotiert wird.

4.2 Konzept

Der folgende Abschnitt beschreibt den Ansatz zur adaptiven Roboterbahnplanung. Die aktuelle Position und Geschwindigkeit des Menschen sind aus der Mensch- und Prozesssimulation in EMA bekannt. EMA liefert die dazugehörigen Informationen des Menschen in Form eines 3D-Voxelfelds. Das Voxelfeld besitzt ein definiertes Referenzkoordinatensystem, welches sich im Zentrum des Voxelfelds befindet, mit einem Ursprung bzgl. eines Weltkoordinatensystems.

Um den Ursprung des Menschen wird ein dynamischer Zylinder gelegt (Abbildung 3). Dieser Zylinder ist in seinem Radius bzw. seiner Grundfläche variabel, der aus der DIN ISO/TS 15066 berechnete Mindestabstand zwischen Mensch und Roboter legt dabei den Radius des Zylinders fest. Die Höhe des Zylinders ist konstant und theoretisch unendlich groß.

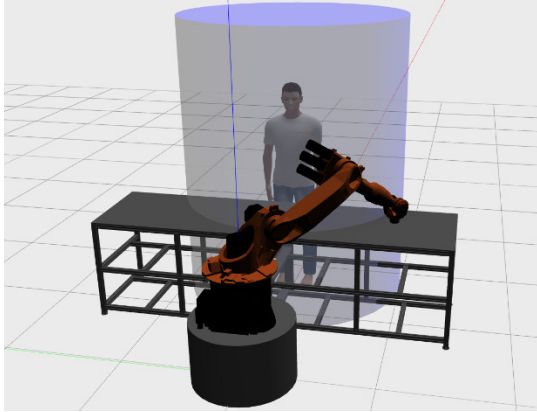


Abbildung 3: Abstandszylinder in ROS

Der Zylinder wird von der Abstandssensorik in ROS registriert (Abbildung 4) und als Voxelwelt ebenfalls an die Bahnplanung in *MoveIt!* übergeben. Dementsprechend detektiert die Bahnplanung in *MoveIt!* den Zylinder als Kollisionsobjekt. Dies hat zur Folge, dass die Roboterbahn um den Zylinder herum geführt und sichergestellt wird, dass der geforderte Sicherheitsabstand zwischen dem Menschen und dem Roboter immer eingehalten wird.

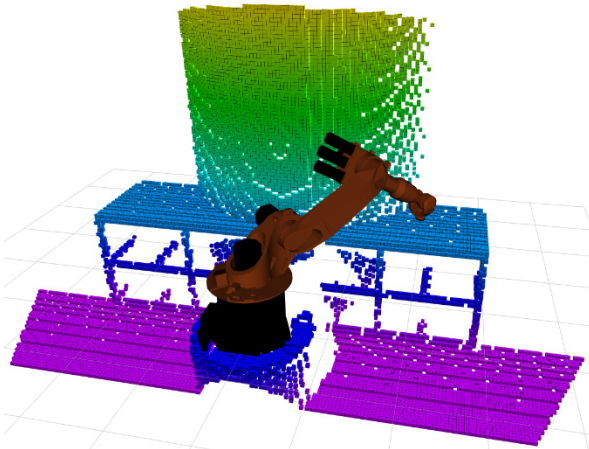


Abbildung 4: Sensorbild in ROS

4.3 Abstandsberechnung

Der Abstand zwischen Mensch und Roboter-TCP zu einem betrachteten Zeitpunkt t_0 ist durch $s = r_h - r_r$ mit $S_{IST} = |s|$ gegeben. v_r beschreibt den Roboter Geschwindigkeitsvektor am TCP bzgl. eines Weltkoordinatensystems. Die absolute Roboter Geschwindigkeit am TCP berechnet sich zu $v_r = |v_r|$.

Tabelle 1: Parameter zur Abstandsberechnung für die Komponenten KUKA KR 16-2 und Pilz SafetyEYE

Anhalteweg Achse 1:	$b = 42,16^\circ$
Minimaler Abstand:	$S_m = 0,608 \text{ m}$
Reaktionszeit:	$T_r = 0,265 \text{ s}$

Ein besonderes Augenmerk liegt in diesem Beitrag auf der Berechnung des Anteils der Roboter Geschwindigkeit in Richtung des Abstandsvektors s (Abbildung 5). Hierfür erfolgt die orthogonale Zerlegung des Geschwindigkeitsvektors v_r in Richtung des Abstandsvektors s :

$$v_{r,s} = \frac{v_r s}{|v_r|^2} s \quad (7)$$

Der Betrag der Geschwindigkeit $v_{r,s} = |v_{r,s}|$ in Richtung des Abstandsvektors s fließt in die linearisierte Berechnung des geforderten Sicherheitsabstands aus Gl. (6) mit ein:

$$S_{SOLL} = v_{r,s} T_r + B + S_m \quad (8)$$

Hierbei wird angenommen, dass der Mensch im Beispielprozess stillsteht und somit seine Geschwindigkeit $v_h = 0$ beträgt. Der Bremsweg von Achse 1 im kartesischen Raum wird für die Stoppkategorie 0 mit $B = b \pi / 180^\circ r$ berechnet (vgl. Tabelle 1).

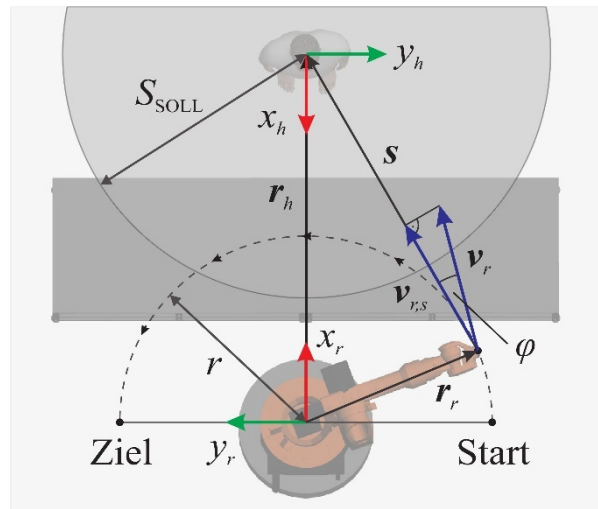


Abbildung 5: MRK-Arbeitsplatz von oben

Im nächsten Schritt erfolgt die Überprüfung, ob der geforderte Sicherheitsabstand eingehalten wird. Sofern der aktuelle Abstand S_{IST} zwischen Mensch und Roboter-TCP kleiner als der geforderte Mindestabstand S_{SOLL} ist und zusätzlich der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}_r$ und dem Abstandsvektor $\mathbf{s}$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{v}_r \mathbf{s}}{|\mathbf{v}_r| |\mathbf{s}|} \right) < \pi/2 \quad (9)$$

beträgt, muss die Geschwindigkeit des Roboters verringert werden. Für alle Winkel $\varphi \geq \pi/2$ entfernt sich der Roboter quasi vom Menschen, da der Geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}_r$ entgegen gerichtet zum Abstandsvektor $\mathbf{s}$ ist. Folglich werden die dazugehörigen Roboter-geschwindigkeiten an dieser Stelle nicht angepasst, da sie potenziell keine Gefahr für den Menschen darstellen. Die angepasste Roboter-geschwindigkeit $\tilde{v}_{r,s}$ berechnet sich nach Umstellung von Gl. (8) wie folgt:

$$\tilde{v}_{r,s} = \frac{1}{T_r} (S_{SOLL} - B - S_m) \quad (10)$$

In einem letzten Schritt wird der angepasste Roboter-geschwindigkeitsvektor $\tilde{\mathbf{v}}_{r,s} = \tilde{v}_{r,s} \frac{\mathbf{s}}{|\mathbf{s}|}$ in Richtung des ursprünglichen Geschwindigkeitsvektors $\mathbf{v}_r$ zurück transformiert:

$$\tilde{\mathbf{v}}_r = \frac{\tilde{v}_{r,s}}{\cos \varphi} \frac{\mathbf{v}_r}{|\mathbf{v}_r|} \quad (11)$$

4.4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse des einfachen MRK-Anwendungsbeispiels erläutert werden und sind in Tabelle 2 sowie Abbildung 6 im Detail dargestellt. Die betrachtete Roboterbahn wurde dabei in einzelne Bahnpunkte (1-14) mit den folgenden Ergebnissen unterteilt:

Bahnpunkte 1-4: Im betrachteten Zeitintervall $0 \text{ s} < t_0 < 1,31 \text{ s}$ ist der aktuelle Abstand S_{IST} zwischen Mensch und Roboter größer als der berechnete Mindestabstand S_{SOLL} (Abbildung

6(a)). Dementsprechend findet keine Geschwindigkeitsanpassung des Roboters statt.

Bahnpunkte 5-7: Der aktuelle Abstand S_{IST} ist zum Zeitpunkt $1,46 \text{ s} < t_0 < 1,74 \text{ s}$ kleiner als der geforderte Mindestabstand S_{SOLL} (Abbildung 6(b)). Zusätzlich ist der Winkel φ zwischen dem Roboter-geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}_r$ und dem Abstandsvektor $\mathbf{s}$ kleiner als 90° . Folglich wird die TCP-Geschwindigkeit $\mathbf{v}_{r,s}$ zu $\tilde{\mathbf{v}}_{r,s}$ verringert, um den notwendigen Sicherheitsabstand einzuhalten (Abbildung 6(c)).

Bahnpunkte 8-10: Im weiteren Verlauf zur Zeit $1,87 \text{ s} < t_0 < 2,15 \text{ s}$ ist der Abstand S_{IST} zwischen Mensch und Roboter weiterhin zu gering (Abbildung 6(d)). Allerdings gilt für den Winkel $\varphi > 90^\circ$. Dementsprechend entfernt sich der Roboter vom Menschen und der geringe Abstand ist unbedenklich.

Bahnpunkte 11-14: Im folgenden Zeitintervall $2,31 \text{ s} < t_0 < 2,96 \text{ s}$ wird der geforderte Sicherheitsabstand wieder eingehalten. Auch hier ist keine Geschwindigkeitsanpassung notwendig.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag stellt eine neue Methode zur adaptiven kollisionsfreien Roboterbahnplanung vor, worin eine Berechnung der erforderlichen Sicherheitsabstände für MRK-Anwendungen im Betriebsmodus der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung und damit einhergehend eine kontinuierliche Geschwindigkeitsanpassung des Roboters erfolgt. Bisher bekannte Ansätze aus der Literatur behandeln lediglich die Analyse des in der DIN ISO/TS 15066 spezifizierten Betriebsmodus und der dort beschriebenen Formel zu Berechnung des Mindestabstands. Zudem schlagen die meisten Anwender und Systemintegratoren aufgrund von unbekannten Größen, wie genaue TCP-Positionen und -Geschwindigkeiten, Menschbewegungen etc., i. d. R. hohe und konstante Sicherheitsfaktoren auf die Berechnung der Mindestabstände auf, wodurch diese zumeist sehr groß und statisch ausfallen. Durch die Integration der hier beschriebenen Methode in ein ganzheitliches MRK-Simulationswerkzeug sind bereits reichlich Simulationsdaten vorhanden, wie Positionen und Ge-

schwindigkeiten von Mensch und Roboter sowie Informationen aus der Sensorsimulation, die für die Abstandsberechnung verwendet werden können. Folglich kann nun eine präzisere Berechnung der Sicherheitsabstände in der Simulation erfolgen, sodass diese auf ein Minimum reduziert werden können. Dies bietet allen voran die Möglichkeit einer besseren Nutzung des Raum- und Platzbedarfs sowie eine erhöhte Produktivität aufgrund effiziente-

rer Roboterbahnen. Da sämtliche Betrachtungen und Berechnungen zum Sicherheitsabstand in der simulativen Welt erfolgen, besteht zunächst noch kein Anspruch auf eine realistische Sicherheitsbewertung. Vielmehr sollen die Ergebnisse aus der simulativen Abstandsberechnung frühzeitig in der Planungsphase einer MRK-Applikation genutzt werden, bspw. zur Prozessoptimierung, Layoutgestaltung oder aber auch als erste Sicherheitsrichtlinie für MRK-Systemintegratoren.

Tabelle 2: Adaptive Roboterbahnplanung mit Anpassung des Geschwindigkeitsprofils $v_{r,s}$ unter Berücksichtigung des Mindestabstands S_{SOLL} für ein MRK-Beispielszenario

Nr.	t_0 [s]	q_1 [°]	r_r [m]	v_r [m/s]	$v_{r,s}$ [m/s]	S_{IST} [m]	S_{SOLL} [m]	φ [°]	$\tilde{v}_r$ [m/s]	$\tilde{v}_{r,s}$ [m/s]
1	0,65	78,00	(0,19; -0,91)	0,51	0,50	2,25	1,43	11,86	0,51	0,50
2	0,92	66,00	(0,38; -0,85)	0,82	0,82	2,10	1,51	0,41	0,82	0,82
3	1,13	54,00	(0,55; -0,75)	1,01	0,98	1,86	1,55	12,17	1,00	0,98
4	1,31	42,00	(0,69; -0,62)	1,16	1,04	1,67	1,57	26,24	1,10	1,04
5	1,46	30,00	(0,81; -0,47)	1,28	0,95	1,52	1,54	42,16	1,15	0,85
6	1,61	18,00	(0,88; -0,29)	1,40	0,70	1,40	1,48	60,12	0,78	0,39
7	1,74	6,00	(0,92; -0,10)	1,51	0,27	1,33	1,36	79,80	0,78	0,14
8	1,87	-6,00	(0,92; 0,10)	1,51	0,27	1,33	1,36	100,20	1,51	0,27
9	2,00	-18,00	(0,88; 0,29)	1,40	0,70	1,40	1,48	119,89	1,40	0,70
10	2,15	-30,00	(0,80; 0,47)	1,28	0,95	1,52	1,54	137,84	1,28	0,95
11	2,31	-42,00	(0,69; 0,62)	1,16	1,04	1,68	1,57	153,76	1,16	1,04
12	2,49	-54,00	(0,55; 0,75)	1,01	0,98	1,86	1,55	167,83	1,01	0,98
13	2,70	-66,00	(0,38; 0,85)	0,82	0,82	2,06	1,51	179,58	0,82	0,82
14	2,96	-78,00	(0,19; 0,91)	0,51	0,50	2,25	1,43	168,14	0,51	0,50

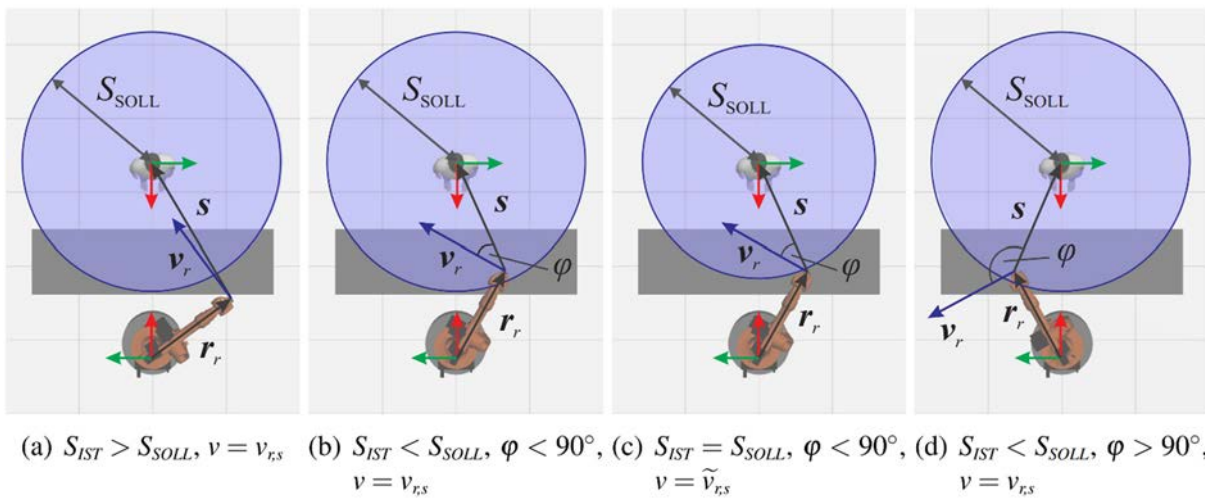


Abbildung 6: Adaption der Abstandszyylinder in ROS

Der hier beschriebene Ansatz zur Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung wurde anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels erläutert, wobei lediglich die Roboter Geschwindigkeit am TCP als Geschwindigkeitsparameter in die Abstandsberechnung eingeflossen ist. Im weiteren Verlauf der Forschungsaktivitäten soll der Ansatz auf die gesamte kinematische Kette des Roboters erweitert werden, wobei die gerichteten Geschwindigkeiten der einzelnen Teilkörper des Roboterarms geometrisch bestimmt und für die Abstandsberechnung einbezogen werden. Im bisherigen Ansatz wurde zudem lediglich der Abstand zum Schwerpunkt eines stillstehenden Menschen betrachtet. Nachfolgend sollen dann auch die dynamischen Bewegungen des Mitarbeiters simuliert werden. In diesem Zusammenhang werden die einzelnen Körperregionen in Form eines Mensch-Voxelfeldes mit den dazugehörigen Positionsdaten zur Abstandsberechnung herangezogen.

Die beschriebene Methodik erfolgt zunächst rein in der Simulation. Zukünftig soll die Mensch- und Prozesssimulation in EMA an eine reale Robotersteuerung über die offene ROS-Schnittstelle angebunden werden. Hierbei gilt es, die tatsächlichen, nicht simulierten Menschbewegungen im Montageprozess durch bspw. ein Kamerasystem aufzunehmen und mit Methoden des maschinellen Lernens auszuwerten, sodass eine Bahnanpassung im realen Prozess durchgeführt werden kann.

Förderhinweis

Das Projekt „KoMPI“ (FKZ: 02P15A060) wird im Rahmen des Förderprogramms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ zum Themenfeld „Kompetenz Montage – kollaborativ und wandlungsfähig (KoMo)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und wird vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Literatur

- [Bau15] S. Bauer: Prozesssprachenbasiertes System zur Ansteuerung digitaler Menschmodelle als Teilkomponente einer Software zur Planung und Visualisierung menschlicher Arbeit in der Digitalen Fabrik. Diss. Technische Universität Chemnitz, 2015.
- [Bau16] W. Bauer, M. Bender, M. Braun, P. Rally und O. Scholtz: Leichtbauroboter in der manuellen Montage - Einfach einfach anfangen: Erste Erfahrungen von Anwenderunternehmen. 2016.
- [Beu05] K. Beumelburg: Fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung in der direkten Mensch-Roboter-Kooperation. Diss. Universität Stuttgart, 2005.
- [Chi16] S. Chitta: MoveIt!: An Introduction. In: Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 1). Hrsg. von A. Koubaa. Cham: Springer International Publishing, S. 3-27, 2016.
- [Glo17] P. Glogowski, K. Lemmerz, L. Schulte, A. Barthelmey, A. Hypki, B. Kuhlenkötter und J. Deuse: Task-based Simulation Tool for Human-Robot Collaboration within Assembly Systems. In: Tagungsband des 2. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter. Hrsg. von T. Schüppstuhl, J. Franke und K. Tracht. Springer Berlin Heidelberg, S. 155-163, 2017.
- [Guz16] R. Guzman, R. Navarro, M. Beneto und D. Carbonell: Robotnik – Professional Service Robotics Applications with ROS. In: Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 1). Hrsg. von A. Koubaa. Cham: Springer International Publishing, S. 253-288, 2016.
- [Hor13] A. Hornung, K. M. Wurm, M. Bennewitz, C. Stachniss und W. Burgard: OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework based on Octrees. In: Autonomous Robots 34.3, S. 189-206, 2013.

- [Jos15a] L. Joseph: Learning Robotics using Python. Bd. 1. Birmingham: Packt Publishing, 2015.
- [Jos15b] L. Joseph: Mastering ROS for Robotics Programming. Bd. 1. Birmingham: Packt Publishing, 2015.
- [Lac10] B. Lacevic und P. Rocco: Kinetostatic Danger Field – a Novel Safety Assessment for Human-Robot Interaction. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE. 2010, S. 2169-2174, 2010.
- [Lem18] K. Lemmerz, P. Glogowski, A. Hypki und B. Kuhlenkötter: Functional Integration of a Robotics Software Framework into a Human Simulation System. In: 50th International Symposium on Robotics (ISR). 2018.
- [Mar13] J. A. Marvel: Performance Metrics of Speed and Separation Monitoring in Shared Workspaces. In: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 10.2 (2013), S. 405-414, 2013.
- [Mar17] J. A. Marvel und R. Norcross: Implementing Speed and Separation Monitoring in Collaborative Robot Workcells. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 44, S. 144-155, 2017.
- [Pol14] M. P. Polverini, A. M. Zanchettin und P. Rocco: Real-time Collision Avoidance in Human-Robot Interaction based on Kinetostatic Safety Field. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE. 2014, S. 4136-4141, 2014.
- [Qui15] M. Quigley, B. Gerkey und W. D. Smart: Programming Robots with ROS. Hrsg. von M. Blanchette und D. Schanafelt. Bd. 1. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015.
- [Qui09] M. Quigley, B. Gerkey, K. Conley, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, E. Berger, R. Wheeler and A. Ng: ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA Workshop on Open Source Software. 2009.
- [Suc12] I. A. Sucan, M. Moll und L. E. Kavraki: The Open Motion Planning Library. In: IEEE Robotics & Automation Magazine 19.4, S. 72-82, 2012.
- [Zan16] A. M. Zanchettin, N. M. Ceriani, P. Rocco, H. Ding und B. Matthias: Safety in Human-robot collaborative manufacturing environments: Metrics and control. In: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 13.2, S. 882-893, 2016.

Intelligente Handschuhe zur Werkerunterstützung in der digitalisierten Produktion

Konzeptdarstellung und Voruntersuchungen zur Entwicklung eines auf intelligenten Materialien basierenden haptischen und sensorischen Handschuhs

S. Gratz-Kelly¹, S. Hau², P. Motzki¹ und S. Seelecke^{1,2}

¹ Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) gGmbH

² Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme
s.gratz-kelly@zema.de, steffen.hau@imsl.uni-saarland.de, p.motzki@zema.de,
stefan.seelecke@imsl.uni-saarland.de

Kurzzusammenfassung

Aufgrund der stark fortschreitenden Mensch-Maschine-Interaktion in der modernen Industrie 4.0 Umgebung wird die flexible und sichere Handhabung von Werkstücken sowie die Rückmeldung des Handhabungsgerätes an den Werker, beispielsweise durch haptisches Feedback, immer wichtiger. Dielektrische Elastomere (DEs) eignen sich aufgrund ihrer hohen Integrationsdichte und der gleichzeitigen Nutzbarkeit als Aktor und Sensor besonders um die beschriebenen Aufgaben zu erfüllen. Insbesondere für die Verwendung in mobilen Anwendungen und für die Integration in Textilien, beispielsweise in Werkerkleidung, sind DE's aufgrund ihrer Flexibilität und Energieeffizienz prädestiniert.

Der vorliegende Beitrag präsentiert erste Ergebnisse der Entwicklung eines intelligenten Handschuhs mit integrierten DEs, zur Detektion der Handposition und Gesten des Nutzers sowie der haptischen Rückmeldung an diesen.

Abstract

Intelligent glove to assist the worker in the digital production

Due to the high demand for human-machine-interaction, especially in the industry 4.0 environment, a flexible and safe interaction between the handling device and the worker, for example by haptic feedback, is very important. Dielectric Elastomers (DEs) are known for their use as actuator and sensor elements at the same time. These properties together with a high energy efficiency as well as flexibility make them perfectly suit for mobile application, in particular for integration into textiles. This paper shows first results of the development of an intelligent glove prototype. DE-Elements are used for gesture recognition of and haptic feedback to the worker.

Keywords

Dielektrische Elastomere, intelligente Textilien, intelligenter Handschuh, Assistenztool für Industrie 4.0, Werkerunterstützung

1 Einleitung

Im Folgenden wird ein Konzept für die Entwicklung eines intelligenten Handschuhs, mit integrierten Sensor – und Aktorelementen auf Basis von intelligenten Materialien, vorgestellt.

1.1 Motivation

Für die voranschreitende Digitalisierung in der Industrie 4.0 Umgebung sowie der verstärkte Einsatz von Handhabungsgeräten und Robotern in der Produktion sind Assistenztools zur Werkerunterstützung von großem Interesse. In der modernen Industrieumgebung ist aufgrund der Komplexität und

Feinabstimmung der einzelnen Produktionsschritte eine intuitive, ergonomische, möglichst Kostengünstige und gleichzeitig flexible Werkerunterstützung unabdingbar. Insbesondere durch die zunehmende Mensch-Maschine-Interaktion werden leicht handhabbare und ‚schlanke‘ Assistenztools zur Kommunikation und der Hilfestellung für den Bediener notwendig. Intelligente Materialien sind prädestiniert für diese Anwendung.

Die Realisierung des Konzeptes erfolgt im Rahmen des Promotionskollegs „Tragbare Assistenztools für die digitale Produktion“ [Pro00].

1.2 Stand der Technik

Verschiedene haptische Handschuhe und Handschuhe zur Werkerunterstützung sind bereits am Markt verfügbar. Die aktuell verfügbaren Lösungen lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen. So gibt es Produkte welche vergleichsweise komplexe, teure und unter Umständen für den industriellen Einsatz einschränkende Exoskelette nutzen, wie beispielsweise der Cyber Grasp von Cyber Glove Systems [Aip13]. Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung einfacherer Handschuhe mit IMU-Sensoren (inertia measurment unit) und Vibrationsmotoren zur Erzeugung haptischen Feedbacks wie der Senso Glove von Senso Devices Inc. oder der CIE.DataGlove [Kan00]. Zudem gibt es Lösungen die spezieller an Anforderungen in der Produktion angepasst sind, wie der ProGlove [Pro00] oder der Werker 4.0 von PANMobile [Wer00]. Des Weiteren existieren beispielsweise Lösungen mit Kamerasystemen [Mue17], die kein haptisches Feedback erlauben oder solche, die für die industrielle Anwendung eher untypisch sind wie z.B. Fingerhutsysteme (Tactai vgl. [Pro05]) und Schnursysteme (VR Glove von cynteract [Cyn00]). In [Cla17] sind eine Vielzahl weiterer Handschuhsysteme aufgeführt und verglichen. Anhand der genannten Beispiele lässt sich erkennen, dass die Lösungen entweder relativ schwer und komplex im Aufbau sind, nur einen Teil der für die Fragestellung wichtigen Eigenschaften besitzen, relativ teuer oder für die sehr spezielle Umgebung in

der Produktion schlichtweg ungeeignet sind. Dies ist meist der Tatsache, dass (bis auf wenige Ausnahmen wie HaptX [Tec00] oder Sensing Glove von StretchSense [Obr14]) alle kommerziell erhältlichen Lösungen konventionelle Aktorik nutzen, geschuldet. Daher kommen sie für eine umfassende Werkerunterstützung nur bedingt in Frage [Per00]. Ein vielversprechender Ansatz ist die Nutzung von intelligenten Materialien und hier im speziellen die Verwendung von Dielektrischen Elastomeren (DEs).

In Abbildung 2 ist die Konzeptidee eines intelligenten Handschuhs skizziert. Durch Vereinfachung des Aufbaus, sowie Kombination der Eigenschaften von erhältlichen Handschuhsystemen und hinzufügen von zusätzlichen Eingabemöglichkeiten für den Werker soll ein für die industrielle Anwendung optimiertes Assistenztool entstehen.



Abbildung 2: Schema eines intelligenten Assistenztools zur Kombination verschiedener Eigenschaften erhältlicher Systeme

1.3 Ziel

Ziel des vorgestellten Projektes ist es, durch die Verwendung von DE-Elementen, ein Handschuh-Prototypen zu entwickeln, welcher sowohl die Handstellung und Gesten des Werkers detektiert, als auch situationsspezifische, haptische Rückmeldung an den Werker gibt. Hierzu wird ein Assistenztool konzipiert, welches zum einen in das übergeordnete Datenverarbeitungssystem und die Kommunikationsstruktur der Industrie 4.0 Umgebung eingebettet ist und zum anderen mit dem Werker interagieren kann. Das vorgestellte Assistenztool kann zudem als Informationsassistent

in der Produktionsumgebung dienen. Die Informationsrückmeldungen an den Werker können haptisch (bspw. Vibration, Kraftpuls), kinästhetisch (bspw. Einschränkung bestimmter Freiheitsgrade der Hand), visuell oder akustisch sein.

DEs eignen sich aufgrund der einfach anpassbaren Geometrie, ihrer inhärenten Flexibilität/Dehnbarkeit ($>100\%$) und des einfachen Aufbaus besonders zur Verwendung als integrierte Aktor-Sensor-Elemente. Wegen des geringen Gewichts und der hohen Energieeffizienz sind DE's zudem für die Verwendung in mobilen Anwendungen und für die Integration in Textilien, beispielsweise wie vorliegend in Handschuhen, besonders geeignet.

2 Dielektrische Elastomere

DEs sind eine Untergruppe der elektroaktiven Polymere, welchen gemein ist, dass sie aufgrund einer elektrischen Spannung eine Gestaltänderung erfahren oder eine mechanische Verformung in eine elektrisch messbares Signal wandeln [Sha07].

2.1 Funktionsweise

DEs basieren auf einem Elastomerfilm (typischerweise $10 - 100 \mu\text{m}$ Dick), auf welchem beidseitig eine sehr dünne Elektrode (wenige μm) aufgebracht ist [Yor10]. Hierdurch entsteht ein flexibler Kondensator der sowohl als Aktor als auch als Sensor genutzt werden kann [Riz16]. Beim Aktoreffekt wird die Gestaltänderung durch elektrostatischen Kräfte hervorgerufen. Dies geschieht durch das Anlegen einer elektrischen Spannung an den beiden nachgiebigen Elektroden woraufhin sich diese, aufgrund der aufgebrachten gegenpaarigen Ladungen, anziehen (vgl. Abbildung 3) und so einen elektrostatischen Druck (Maxwelldruck) auf den dielektrische Film (Dielektrikum) ausüben. Dieser wird hierdurch in Dickenrichtung komprimiert, was aufgrund der Inkompressibilität des verwendeten Elastomers zusätzlich zu einer Flächenausdehnung führt [Kor00].

Umgekehrt ändern sich, infolge einer wirkende äußere Kraft, die Geometrie des DEs

und folglich auch dessen Kapazität sowie dessen Elektrodenwiderstand. Durch eine Kapazitätsmessung an dem DE Element kann, je nach mechanischem Aufbau, die Kraft welche senkrecht auf das DE-Element wirkt oder die Dehnung des Elastomers in Längsrichtung gemessen werden. Beides führt zu einer messbaren und mit der Verformung korrelierbaren Kapazitätsänderung (siehe Abbildung 2).

DEs lassen somit die energieeffiziente Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie und umgekehrt (energy harvesting vgl. [Tie12]) zu [Big13].

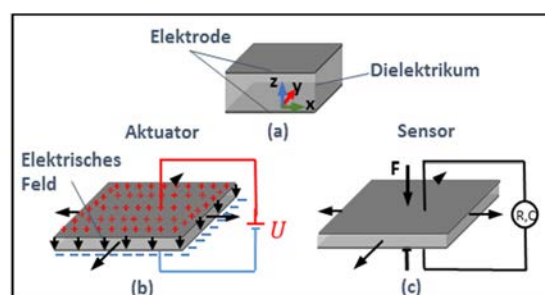


Abbildung 3: Funktionsprinzip von DEs. (a) DE in der unbelasteten Konfiguration; Geometrieänderung (b) nach Anlegen einer elektrischen Spannung und (c) nach Verformung durch externe Kräfte

2.2 Einbindung in Textilien

DE-Elemente können sehr einfach in Textilien integriert werden. In Abbildung 4 (a) ist der prinzipielle Aufbau eines DE-Elements, welches zwischen zwei Textilschichten eingebettet ist, dargestellt. In der Darstellung sind weitere wesentliche Vorteile von DE-Elementen (neben der simultanen Verwendung als Sensor und Aktor) aufgrund ihrer sehr flachen und kompakten Bauweise erkennbar. Zudem ist es möglich die DE-Elemente mit wenig Aufwand elektrisch zu kontaktieren, so können die Zuleitungen direkt an die DEs geklebt oder Gepresst werden und mithilfe von elektrisch leitfähigen elastischen Garnen (Abbildung 4 (b)) direkt mit der Ansteuerelektronik verbunden werden.

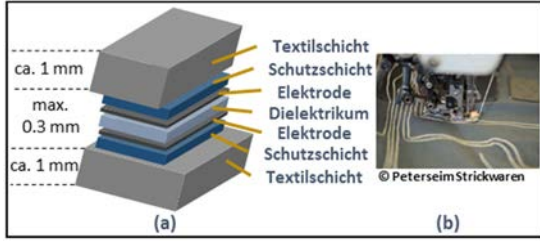


Abbildung 4: Schichtaufbau eines in Textil eingebetteten DEs (a) und dessen elektrische Kontaktierung durch ins Textil eingewebte Zuleitungen und Kontaktierungen (b) (nach [Bru17]).

3 Konzept

Durch die Einbettung von DE-Elementen an verschiedenen Gelenkstellen sowie in den Handinnenflächen und dem Handrücken (siehe Abbildung 7) kann die Hand- und Fingerhaltung gemessen und haptisches Feedback an den Werker gegeben werden. Durch die Integration weiterer Sensorelemente ist zudem die Erfassung von bspw. Greifkräften geplant. Kraftpulsförmige Rückmeldungen in eine vom System gewünschte Richtung können zusätzlich dazu dienen eine gewisse Hand/ Fingerbewegung auszuführen bzw. zu unterlassen. Des Weiteren sind in einem späteren Stadium der Prototypenentwicklung weitere Eingabemöglichkeiten durch zusätzliche Bedienelemente (wie bspw. kleine DE basierte Knöpfe oder mini-Joysticks) zu entwickeln.

3.1 Sensorik

Für die Hand- bzw. Fingerhaltungsmessung und Greifkraftmessungen wird die sensorische Eigenschaft von DEs ausgenutzt. Dieses basiert wie bereits erwähnt auf der Kapazitätsänderung der DEs bei Dehnung. Die Kapazität eines DEs lässt sich mit der Formel für einen Plattenkondensator beschreiben:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{lb}{d}. \quad (1)$$

Hierbei ist ε_0 die elektrische Feldkonstante, ε_r die relative Permittivität des Dielektrikums, A die Elektrodenfläche, l die Länge und b die Breite des DE's sowie d die Dicke der Elastomerschicht. In Gleichung (1) ist zu erkennen, dass die Kapazität des DEs linear mit der Elektrodenfläche ansteigt und sich inverspro-

portional zur Dicke des Dielektrikums verhält. Aufgrund der Inkompressibilität des Dielektrikums ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen der Ausgangsgeometrie (mit Index „0“) und verformter Geometrie (mit Index „v“):

$$A_v \cdot d_v = A_0 \cdot d_0, \quad (2)$$

Beziehungsweise abhängig von der DE Länge

$$\frac{A_v}{l_v} = \frac{A_0}{l_0}. \quad (3)$$

Damit sind Flächenänderung und Dickenänderung unter Verwendung von Gleichung (2) direkt über die Ausgangsgeometrie miteinander verknüpft:

$$A(z) = \frac{A_0 \cdot d_0}{d(z)}. \quad (4)$$

Mit dem Einsetzen von Gleichung (4) in Gleichung (1) folgt die dickenabhängige Kapazität zu

$$C(z) = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A_0 \cdot d_0}{d(z)^2}. \quad (5)$$

Mit gleichem Vorgehen und nutzen von Gleichung (3) ergibt sich die längenabhängige Kapazität des DE-Elementes zu

$$C(x) = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A_0 \cdot l(x)^2}{l_0^2 \cdot d_0} \quad (6)$$

Aus Gleichung (5) kann somit eine Funktion für eine Kraftmessung (bspw. Greifkraft) aus der Dickenänderung und mit Gleichung (6) eine Funktion für eine Längenmessung (bspw. Handstellung) hergeleitet werden. Wobei zu beachten ist, dass sich beide Effekte auch überlagern können und daher eine intelligente Auswertelektronik nötig ist.

Zur Messung der Handstellung und Handposition ist es notwendig die Sensorelemente an geeigneten Stellen an der Hand zu platzieren. In Abbildung 5 sind hierzu für die einzelnen Gelenke der Hand und die Handfläche die Freiheitsgrade dargestellt. Insgesamt besitzt die Hand nach dem dargestellten Modell somit 29 Freiheitsgrade, wobei hierbei zwei Freiheitsgrade des Handgelenkes mit einberechnet und die Räumliche Ausrichtung der Hand mit 6 Freiheitsgraden als beliebig angenommen sind.

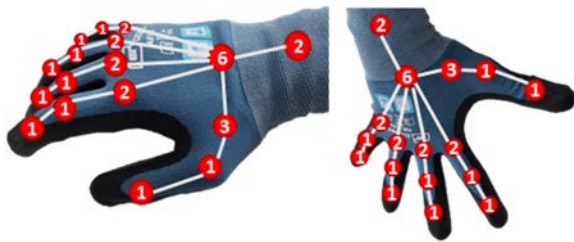


Abbildung 5: Freiheitsgrade der Hand

Je nach angestrebter Komplexität des Handschuhs können folglich nur die für eine Anwendung wichtigen Freiheitsgrade erfasst werden. Der ebenfalls auf DE Basis aufbauende, von der Firma Stretchsens entwickelte, Handschuh Sensing Glove löst beispielsweise lediglich 5 Freiheitsgrade der Hand (einfaches beugen der Finger) auf, je nach Anwendungsfall kann dies, für ein in der Produktion eingesetztes Assistenztool, jedoch zu ungenau sein.

3.2 Aktorik

Neben der sensorischen Verwendung der DE-Elemente können bei exakt gleichem Aufbau dieselben Elemente auch als Aktor verwendet werden. Grundlage des Aktorprinzips ist der bereits erwähnte Maxwelldruck, der beim Anlegen einer Spannung entsteht. Die anzulegende Spannung liegt, um erkennbare mechanische Auslenkungen zu erzeugen, typischerweise im Bereich zwischen 50 und 80 V/ μm [Car11]. Die Erzeugung und Abschirmung der hohen Spannungen stellt spezielle Anforderungen an die Ansteuerelektronik und das Anschlusskonzept des DE-Elements, sowie insbesondere an die Isolation zur Hand. Aufgrund der sehr geringen Ströme, welche sich im Normalbetrieb im μA -Bereich befinden, ist die Leistungsaufnahme und entsprechend die Energiemenge ($<30\text{ mJ}$) der DEs jedoch sehr gering und daher besteht selbst bei einer Fehlfunktion keinerlei Verletzungsgefahr für den Träger des Handschuhs.

Für die Platzierung der Aktorelemente gibt es, entsprechend zu der Platzierung der Sensorelemente, prädestinierte Bereiche auf der Hand. Hierzu sind in Abbildung 6 die rezeptiven Felder der Handinnenfläche dargestellt. Insbesondere für Vibrationen im Frequenzbereich von 50 – 300 Hz, sind die Pacini-Körperchen

besonders empfindlich, weshalb an den entsprechenden Stellen der Haut eine Platzierung von Aktorelementen sinnvoll ist.

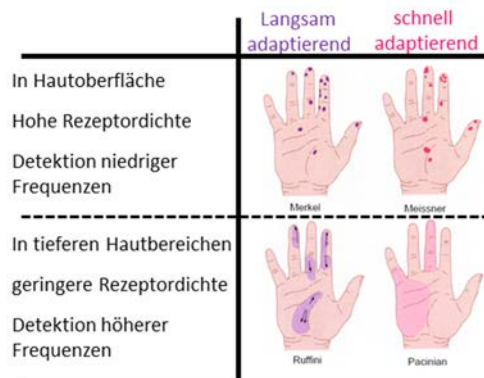


Abbildung 6: Rezeptive Felder der Handinnenfläche (nach [Kan00])

Neben der speziellen Platzierung von Aktorelementen in der Handinnenfläche, können an der Handoberseite die DE-Elemente, welche zur Handpositionsmessung eingesetzt werden, ebenfalls als Aktor Verwendung finden und ein haptisches Feedback erzeugen.

4 Anwendung und Einbindung in die digitale Produktionsumgebung

Neben dem Hardwareaufbau, der DE Ansteuerung und Kapazitätsmessung ist für die spätere Anwendung in der digitalen Produktionsumgebung eine Kommunikation und Datenauswertung nötig.

Im späteren Anwendungsfall muss das verwendete Assistenztool mit dem übergeordneten Datenverarbeitungssystem sowie mit Maschinen, Robotern und weiteren Assistenztools Kommunizieren. Zudem können dem Werker situationsspezifisch Hilfestellungen gegeben werden und seine Produktionsschritte überprüft und dokumentiert werden. In Abbildung 7 ist hierzu ein prinzipielles Schema der Kommunikation in der Produktionsumgebung skizziert. Durch die Verwendung des intelligenten Handschuhs werden dem Bediener zudem ergonomische Vorteile beim Arbeiten mit schweren Lasten, durch Kraft und Gestenerkennung sowie durch die Verwendung weiterer integrierter Bedienelemente, geboten und eine flexible und intuitive Bedienbarkeit erzielt.

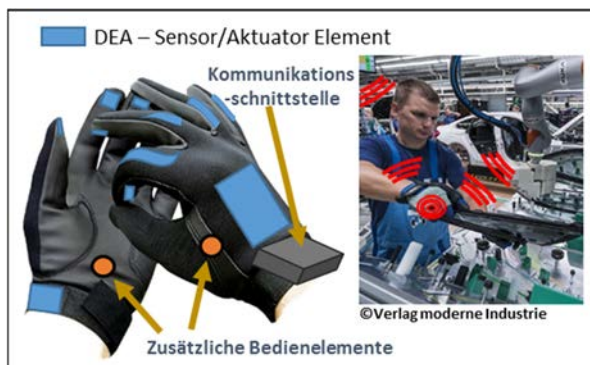


Abbildung 7: Einbettung des Assistenztools in die Industrie 4.0 Umgebung

Weitere Ergonomieverbesserungen sind beispielsweise durch die Verwendung der Handpositions- und Kraftdaten zur Impedanz-/Admittanzregelung eines Handsteuergerätes (siehe [Ker09]) möglich.

5 Erste Voruntersuchungen

Für den ersten Prototypenaufbau werden zunächst für den Handschuh angepasste DE-Elemente ausgelegt und besonders die sensorischen Eigenschaften dieser untersucht. Hierzu werden folgend ein erstes DE Design vorgestellt und einfache Messungen zur Fingerstellung betrachtet.

5.1 DE Design

Das in Abbildung 8 dargestellte streifenförmige DE-Element wird mithilfe des Siebdruckverfahrens (vgl. [Fas16]) speziell zu Winkelmessung an den Fingergelenken hergestellt.

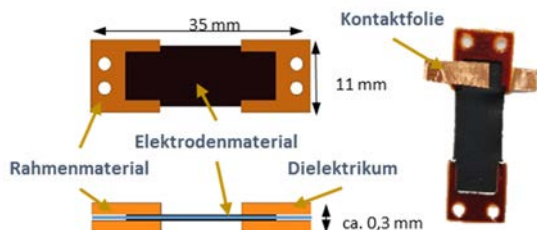


Abbildung 8: DE Streifenelement zur Dehnungs- und Winkelmessung

In der Darstellung sind die gedruckte Elektroden und der Befestigungsrahmen zu erkennen. Mithilfe von 3D gedruckten Klemmen kann das DE-Element auf die Textilschicht des

Handschuhs geklemmt werden. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 9 der Aufbau eines DE-Elements auf einer Textilschicht dargestellt.

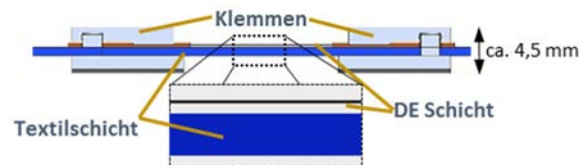


Abbildung 9: Verklebung des DE-Elements auf der Textilschicht des Handschuhs

Die Dicke des Aufbaus, inklusive des Textilmaterials und der Klemmen, beträgt lediglich ca. 4,5 mm. Durch weitere Integration in das Textilmaterial (vgl. Abbildung 4) sind hier jedoch noch wesentliche Dickenreduzierungen in den Submillimeterbereich möglich.

5.2 Aufbau zur Charakterisierung

Zu messtechnischen Charakterisierung des in Abbildung 8 vorgestellten DE-Elements, speziell für die Handschuhanwendung, wird mit einem Aufbau zur Winkeleinstellung (siehe Abbildung 10) die Kapazitätsänderung des DE-Elements von 0° bis 120° gemessen. Die Winkelabhängige Kapazität wird in 15°-Schritten gemessen.

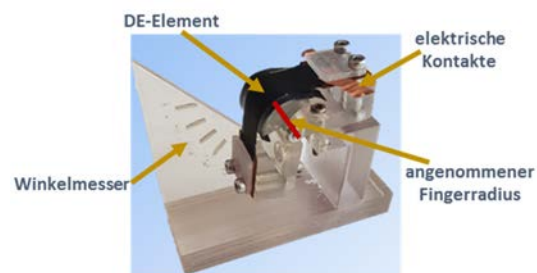


Abbildung 10: Aufbau zur winkelabhängigen Kapazitätsmessung des DE-Elements

5.3 Messergebnisse

In einer ersten Messreihe wird die Wiederholgenauigkeit der Kapazitätsänderung untersucht. Hierzu wird jeder Winkel 11-mal angefahren und die auftretende Streuung untersucht. Abbildung 11 zeigt die winkelabhängige Kapazitätsänderung des DE-Elements anhand von Mittelwerten für jeden angefahrenen

Winkel, während die Fehlerbalken das 3σ -Streuintervall angeben.

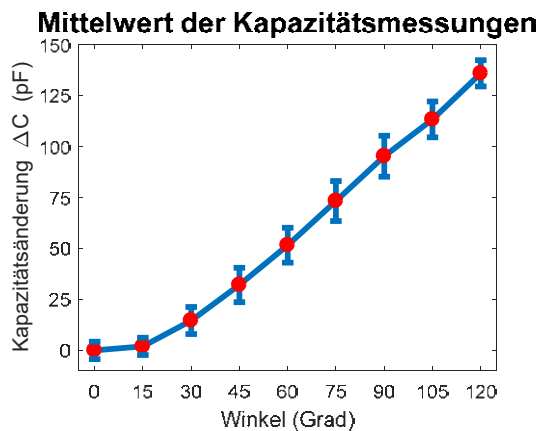


Abbildung 11: Winkelabhängiger Kapazitätsverlauf eines DE-Elements

Die maximale Standardabweichung σ liegt bei einem Winkel von 90° und beträgt $3,3 \text{ pF}$. Zu beachten ist, dass die Standardabweichung auch die Ungenauigkeiten der Versuchsdurchführung enthält. Diese entstehen durch den Aufbau des Winkelmessers, bei dem es zu Parallaxenfehlern von einigen Grad kommen kann.

Insgesamt zeigt das DE-Element eine Kapazitätsänderung von 136 pF über den betrachteten

Winkelbereich. Dies entspricht einer Verdopplung der Ausgangskapazität (bei 0° beträgt die Ausgangskapazität 122 pF), was die Anforderungen an eine integrierte Messelektronik deutlich reduziert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag wird ein Konzept zur Entwicklung eines Assistenztools zur Werkerunterstützung in der digitalen Produktion vorgestellt. Mit Hilfe von integrierten DE-Elementen zwischen Textilschichten von Werkerhandschuhen kann ein intelligenter Handschuh entwickelt und aufgebaut werden, welcher sowohl die genaue Handhaltung des Werkers detektieren, als auch situationsspezifische, haptische Rückmeldung an den Werker geben kann. Erste Untersuchungen der sensorischen Eigenschaften von DEs haben bereits ihre Eignung für diese Anwendung gezeigt. Durch die flexible Gestaltungsmöglichkeit der DE-Elemente, die Vielzahl an Möglichkeiten der Eingabe und Steuermöglichkeit (Gestenerkennung, Greifkraftmessung, Entwicklung zusätzlicher Bedienelemente) durch den Werker sowie die Einbindung in ein übergeordnetes Datenverarbeitungssystem kann somit ein vielseitiges, lernfähiges und intuitiv bedienbares Assistenztool entstehen.

Literatur

- [Aip13] A. Aiple und M. Schiele: Pushing the limits of the CyberGraspTM for haptic rendering, IEEE, 2013.
- [Big13] J. Biggs, K. Danielmeier, J. Hitzbleck und J. Krause: Elektroaktive Polymere: Entwicklungen und Perspektiven dielektrischer Elastomere. In: Angewandte Chemie Bd. 125, Wiley Online Library, Nr. 36, S. 9581-9595, 2013.
- [Bru17] B. Brunner: Silikonsensoren und Aktoren in Textilien, SmartTex-Symposium. In: . Weimar : SmartTex-Symposium, 2017.
- [Car11] F. Carpi, D. Rossi, R. Kornbluh und R. E. Perline: Dielectric elastomers as electro-mechanical transducers: Fundamentals, materials, devices, models and applications of an emerging electroactive polymer (2011)
- [Cyn00] Cynteract – Glove for the Virtual. URL <http://www.cynteract.de/>. - abgerufen am 2018-08-01
- [Fas16] B. Fasolt, N. Hodgins und S. Seelecke: Characterization of screen-printed electrodes for dielectric elastomer (DE) membranes: influence of screen dimensions and electrode thickness on actuator performance. In: Y. Bar-Cohen und F. Vidal (Hrsg.): S. 97983E, 2016.
- [Kan00] E. Kandel und R. Schwartz: Principles of neural science, McGraw-Hill, Health Professions Division, 2000.

- [Ker09] T. A. Kern (Hrsg.): Entwicklung Haptischer Geräte. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009 — ISBN 978-3-540-87643-4
- [Kor00] R. Kornbluh, R. Pelrine, J. Eckerle und J. Joseph: Electrostrictive polymer artificial muscle actuators. In: Proceedings. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.98CH36146). Bd. 3 : IEEE — ISBN 0-7803-4300-X, S. 2147-2154, 1998.
- [Mue17] F. Mueller und F.: GANerated Hands for Real-time 3D Hand Tracking from Monocular RGB, 2017.
- [Obr14] B. O'Brien, T. Gisby, A. ANDERSON, Y. Bar-Cohen (Hrsg.): Stretch sensors for human body motion, 2014.
- [Pac17] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi und A. Frisoli: Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives, 2017.
- [Per00] J. Perret und E. V. Poorten: Touching Virtual Reality: a Review of Haptic Gloves. In: researchgate.net.
- [Pro00] ProGlove Wearables for the Industry 4.0. URL <https://www.proglove.de/>. - abgerufen am 2018-08-01.
- [Pro00] Promotionskolleg Digitalisierung der Produktion - pk-digprods Webseite! URL <https://www.pk-digprod.de/die-projekte/>. - abgerufen am 2018-08-01.
- [Pro05] W. Provancher, M. Cutkosky, K. Kuchenbecker und G. Niemeyer: Contact Location Display for Haptic Perception of Curvature and Object Motion, SAGE Publications, 2005.
- [Riz16] G. Rizzello, D. Naso, A. York und S. Seekecke: Closed loop control of dielectric elastomer actuators based on self-sensing displacement feedback. In: Smart Materials and Structures Bd. 25, Nr. 3, S. 035034, 2016.
- [Sha07] S. Ravi, G. Tushar, S. Richard.: Dielectric elastomers as next-generation polymeric actuators. In: Soft Matter Bd. 3, The Royal Society of Chemistry, Nr. 9, S. 1116, 2007.
- [Tec00] Technology | HaptX. URL <https://haptx.com/technology/>. - abgerufen am 2018-08-01.
- [Tie12] T. Li , S. Qu und W. Yang: Energy harvesting of dielectric elastomer generators concerning inhomogeneous fields and viscoelastic deformation. In: Journal of Applied Physics Bd. 112, American Institute of Physics, Nr. 3, S. 034119, 2012.
- [Wer00] Werker 4.0 - der Daten erFASSER bei PANMOBIL.de. URL <https://www.panmobil.de/werker>. - abgerufen am 2018-08-01
- [Yor10] A. York, J. Dunn und S. Seelecke: Experimental characterization of the hysteretic and rate-dependent electromechanical behavior of dielectric electro-active polymer actuators. In: Smart Materials and Structures Bd. 19, IOP Publishing, Nr. 9, S. 094014, 2010.

Application of camera controlled laser projection systems for manual mounting tasks

J. Taubert¹, M. Rehe¹ und R. Müller-Polyzou²

¹ Leibniz University, Institute of Production Engineering and Machine Tools IFW
Taubert@ifw.uni-hannover.de, Rehe@ifw.uni-hannover.de

² Leuphana University, Institute of Product and Process Innovation PPI
Ralf.Mueller-polyzou@stud.leuphana.de

Abstract

This article presents an approach of an assistance system for manual mounting tasks. For this, the three main requirements usability, flexibility and reliability are identified. A mounting assistance system is implemented in a test scenario, with consideration to the previously established requirements. It consists of an industrial laser guidance system that is controlled by a software using machine learning based image recognition. The software determines the status of the actual mounting progress and the location of product components. It controls the laser projection system, thus eliminating the need for any user interaction. Additional instructions are projected onto the work surface to increase the system usability. The results of a structural user test evaluating the mounting efficiency, effectiveness and perceived usability are presented. Finally, the article gives an outlook to further developments.

Kurzzusammenfassung

Anwendung eines kamerakontrollierten Laserprojektions-Systems für manuelle Montageaufgaben

Dieser Artikel präsentiert einen Ansatz für ein Assistenzsystem zur Unterstützung von Montagefähigkeiten. Hierfür werden die drei Hauptanforderungen Benutzerfreundlichkeit, Flexibilität und Verlässlichkeit identifiziert. Anschließend wird ein Montageassistenzsystem unter Berücksichtigung der Anforderungen in einer Testumgebung aufgebaut. Das System besteht aus einem Laserprojektionssystem, welches durch eine Bilderkennungssoftware basierend auf maschinellem Lernen gesteuert wird. Die Software bestimmt den aktuellen Status des Montageprozesses sowie die Position von Bauteilen. Sie steuert die Laserprojektion und eliminiert den Bedarf einer Steuerung durch den Nutzer. Zusätzliche Instruktionen werden auf die Arbeitsoberfläche projiziert, um die Nutzerfreundlichkeit zu verbessern. Die Ergebnisse eines Anwendertests zur Bewertung der Montageeffizienz, -effektivität und empfundenen Nutzerfreundlichkeit werden dargestellt. Abschließend bietet der Artikel einen Ausblick auf weitere Entwicklungen.

Keywords

mounting assistance, cyber-physical systems, image recognition, machine learning, Viola-Jones

1 Introduction

The increase of product variety and decrease of lot-sizes because of individualization of products leads to growing challenges for manufacturing companies [Hol17]. Additionally, research studies indicate that human work

force remains an important factor for modern assembly tasks [Gan13]. Due to societal developments such as aging, assembly personnel vary in their qualification and affinity for digital interfaces. The question arises which functionality an assistance system shall offer and

how such systems should be designed to efficiently support the aging work force in an increasingly digital environment [Pei13].

Traditional systems, which are designed to support manual mounting tasks, reach their technological limitations due to the aforementioned factors [Dom13]. A typical example for this are industrial laser projection systems. They are used in various industries supporting manual mounting and fabrication tasks by projecting work instructions on objects and tools. Usually, these instructions are controlled by the assembly personnel [Jec17]. This however can prevent full concentration on the assembly task.

Motivated by the identified challenge, this paper describes three main requirements which modern assisting systems should fulfill: Usability, flexibility and reliability. Based on this approach, a laser projection system which is enhanced with machine learning image recognition is implemented in an industrial test environment. A reliable image recognition algorithm using input from a camera system recognizes the progress of the mounting process and automatically controls the system. Users can thereby fully concentrate on the mounting task. The provision of digital mounting instructions at the right point of time in an ergonomically well-suited position improves the mounting efficiency and overall usability of the system. The system is flexible and only requires CAD data of the mounting objects.

2 State of technology

A variety of mounting assistance systems is available to support manufacturing companies in their operational challenge to increase process efficiency. One can choose between multiple technologies such as video projection, augmented reality, light signal or speech instructions [Kas14]. The systems themselves are controlled by manual interaction, gesture tracking, voice commands or other input mechanisms. Merkel et al. present a capability based selection model to select the best fitting assistance system [Mer17a]. Merazzi and Friedel present a value based concept to select

the most feasible system for a specific mounting task. The concept highlights that projection based mounting systems are beneficial for complex mounting tasks. Furthermore, a combination of picture recognition for inline quality control in real time is proposed to reduce the training period and increase production efficiency [Mer17b].

One way of projecting information are laser projection systems. It is possible to project CAD data onto work pieces or working surfaces. In comparison to a video projector, a laser projection is well visible at challenging ambient light conditions. Additionally, due to its preciseness the laser supports tasks with high requirements on accuracy.

Users traditionally control the systems using the graphical user interface or a system specific remote control [Lap18]. Alternative intuitive control concepts have been analyzed in user studies showing preference for system control using voice commands. However, a human system input is still required and the system itself has no capabilities to react to the user's actions [Mue18].

The user input frequency automatically increases with the number of product variants, decreasing batch sizes and the complexity of the manual mounting tasks. The work process is interrupted, thus reducing the efficiency of the actual mounting task. Therefore, system providers are challenged to improve their existing operation and control mechanisms on the human machine interface. Besides an increased usability and process efficiency they target an improved company image in terms of quality and innovation by enhancing the human machine interface [Gan13, Pei13].

To reduce the control interaction needed by the user, an assistance system needs to fulfill more functions than the output of process information [Zae09]. By adding capabilities for process recognition and analysis, the user is relieved of this workload and can concentrate on the main process (e.g. a mounting task). This extended system fulfills the definition of a cyber-physical system by connecting the physical world with data accessing and processing mechanisms [Bah11].

There are several approaches to mounting assistance similar to the system developed here. Kosch et al. present a system developed in the MotionEAP project that supplies the user with mounting instructions and provides process feedback. During the project, several types of user feedback have been evaluated. Visual feedback had been found to be the best solution with a good usability by the users. The feedback is being projected directly on the working surface with a video projector [Kos17].

Commercially available industrial solutions support picking and mounting processes by evaluating the process with a camera or camera-sensors. The user then receives feedback whether the component is correctly chosen and mounted. The corresponding information is displayed on a screen or using a video projector [Opt18, Uli18].

Common to the aforementioned approaches for mounting assistance systems is a direct evaluation of the mounting and picking process on the workbench. This is only possible because the user either assembles the product on the workbench or puts assembled parts in specified areas for process control, therefore interrupting the mounting process. An approach giving instructions based on mounting processes which do not happen directly on the workbench or in a designated area is not yet evaluated.

To provide sustainable feedback on a system's function and usability, a suitable evaluation method is required. Among several evaluation methods, the System Usability Scale (SUS) developed by Brooke is widely recognized as a standard procedure. The method uses a questionnaire of ten questions in which a system's perceived usability is assessed on a scale from one to five. The ratings are then converted to a value between zero and one hundred. A SUS value above 68 represents a good perceived system usability [Bro96]. The After-Scenario Questionnaire (ASQ) is applied to measure the efficiency and effectiveness of task completion [Lew91].

3 Requirements for intelligent mounting assistance systems

A changing manufacturing environment leads to modified requirements on modern mounting assistance systems. This section identifies three main requirements resulting from the targeted functionality and user group: Usability, flexibility and reliability. While these requirements are not new, new technological advancements render them increasingly important. Currently, manufacturing facilities are on the verge to change towards systems commonly referred to under the term "Industry 4.0" and "Smart Factories". This includes improved and connected information flows as well as user-friendly, intelligent cyber-physical systems.

3.1 Usability

As mentioned before, the workforce is increasingly aging while digital technologies are entering the shop floor. Resulting from that, an assistance system should not only be well designed in terms of ergonomic aspects but also be able to support the user independent of their affinity for technology and digital change. The information provision should follow good design principles for visual communication [Agr11]. Furthermore, it is important not to distract workers from their tasks and support them situationally when needed. For that, the provided information should be easy to read and be displayed in the user's field of view. At the same time, any input which only serves the control of the system should be avoided.

3.2 Flexibility

The rising of product individualization leads to smaller batch sizes and larger amounts of product variants. To satisfy varying customer needs, a production system must be able to flexibly produce different product variants. With rising variants, it is not feasible for users to learn and remember multiple work instructions. Therefore, a mounting assistance system must provide the correct instructions at the time of assembly. For this guidance, it must be able to identify the progress of the mounting process. During production, the system must

switch the variant with minimal or no input from the user. Additionally, it must be easy to add new variants to the system.

Another aspect concerns the parts handling. With multiple variants, standardized load carriers are used for component variants. A system which identifies components must be able to recognize them in various positions. Otherwise, each new assembly process would need to consider the design of the assistance system, which is not feasible. Furthermore, the system should also be able to instruct the user which component to pick from which tray position in order to reduce overall commissioning times.

3.3 Reliability

The final aspect concerns the systems reliability. With intelligent, highly connected systems, a design focusing on reliability is crucial to ensure an uninterrupted production. Manufacturing companies work with optimized processes, and any unplanned interruption of the production process results in financial loss and is therefore not accepted.

Since the system needs to be able to recognize the mounting process, it is highly important that this recognition is performed flawlessly. Therefore, the system must be able to recognize parts or part movements independently of ambient light conditions or other influencing factors. Furthermore, human errors by wrong system interaction shall be eliminated to increase the overall system reliability.

4 Test scenario

To analyze and evaluate the defined requirements, a test environment has been chosen which resembles the aspects discussed before. In this environment, a ballpoint pen is produced in a manual mounting process.

The production takes place in a showcase factory. The pen is individualized and consists of six parts. The basic parts lead to 36 variants. Personalized laser engraving and riddle performed in previous process steps increase the possible variants endlessly resulting in a batch size of one.

While parts like the end piece and the refill can vary in color, other parts have different shapes and are customizable by the user, see figure 1.



Figure 1: Ballpoint pen and part variations

The single parts of the pen are stored in a tray with corresponding compartments, see figure 2. This tray is used during the whole pen production process and allows an easy customer identification via RFID. It can be put in a holding device in the center of the workbench, which contains an integrated RFID reader.



Figure 2: Tray with pen parts

To mount the pen, the user has to fulfill two subtasks: 1) Picking the parts from the compartments of the tray, and 2) Mounting the parts in the correct way. The component position on the tray is unknown to the system, since the user commissions the tray in the previous steps of the production process. The commissioning system in the previous process does not indicate in which compartment of the tray the user should place the part. Even with an indication, a wrong placement would not be recognized. The mounting assembly system

can therefore not rely on position information of parts placed on the tray.

After finishing the mounting, there is a storage compartment on the tray for the completed ballpoint pen. The storage compartment is located in the top area of the tray, see figure 2.

5 System implementation

The goal of the design process was to develop a system, which fulfills the requirements identified in section 3. For the chosen test environment, a laser projection system is used to display the mounting instructions while a camera allows the system to follow the mounting progress. This section presents the implementation and details how each of the requirements influenced the system design.

5.1 Workbench setup

From the perspective of the chosen test environment, the user should be assisted with the assembly of the pen by showing which components to pick from which compartments of the tray and how to assemble them. In terms of usability, the information provided by the system must be easy to read and interpret. This refers to the software functionality as well as the system ergonomics. The user should be able to stay focused on the task without needing to control the assistance system in each step. This directly influences the implementation of hardware elements, as seen in figure 3 and 4.

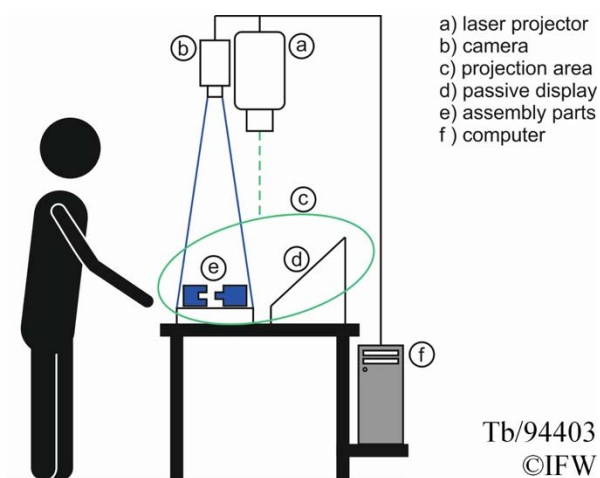


Figure 3: Workbench layout

The camera and the laser projection system are mounted on top of the workstation, above the user's head without interfering with the user's sight. The camera points to the tray, allowing a top down view on it and effectively creating a seemingly two-dimensional image. The computer is located behind the workbench in a non-disturbing position. A passive display is placed in an ergonomic position behind the tray. The passive display is black coated to secure good visibility of the work instructions projected by the laser system. The height of the overall workbench is adjustable to specific individual needs.



Figure 4: Tray, holder and passive display

It should be emphasized that the system does not use any external control devices, like a remote control or a keyboard.

5.2 Program flow

The software assists the user during the whole task, starting with the identification of the tray in the holding device and ending with the user putting the finished pen in the designated compartment of the tray. To create a flexible system, product components need to be recognized in all locations on the tray.

The program flow is presented in figure 5. After the user puts the tray in the holding device, the software begins to identify the components on the tray. Once the recognition is finished, the component location is compared to a table of compartment coordinates. The resulting allocation information is then used to project the first pick instruction on the tray using the laser projector. With the beginning of the projec-

tion, the software starts to perform the recognition of the component to pick. After the part is removed from its compartment, the recognition leads to a negative result, which initializes the projection of the mounting instruction. While the user is mounting the picked components, the next projection is started after a pre-defined time.

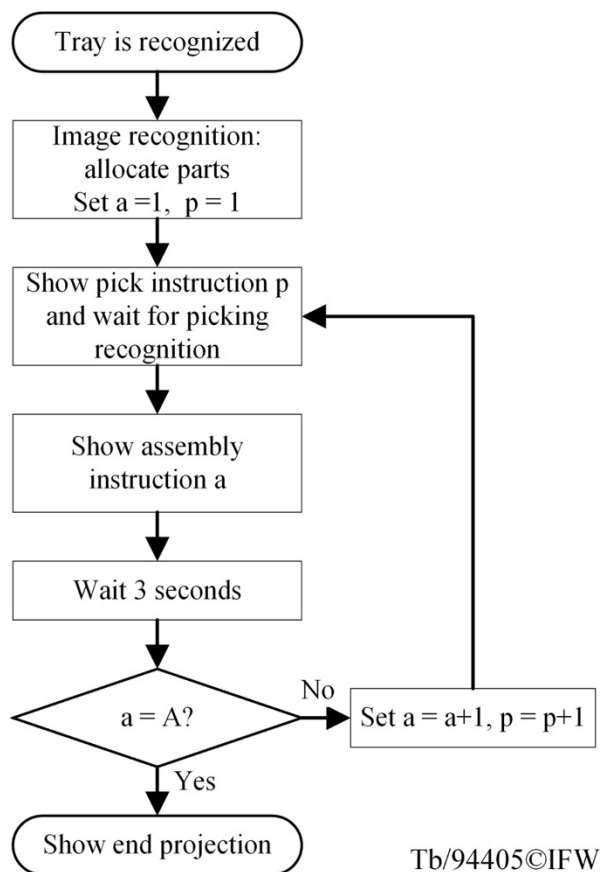


Figure 5: Program flow

This process repeats until all parts are removed from the tray and the final mounting projection is shown to the user. After this, the compartment in which the fully mounted pen should be stored is highlighted on the tray, together with a storing instruction on the passive display. Once the fully mounted pen is recognized on the tray, the process is finished and can start again with a new tray.

5.3. Component recognition

A robust process recognition is significant to create a reliable mounting assistance system. The developed software uses the Viola–Jones object detection framework to identify the

components [Jen08]. The algorithm, which was originally designed for face recognition, works well for the situation in the depicted mounting scenario. It needs a low amount of training images to work reliably. The required number of images had been determined through several test runs. During these runs, classifiers trained with ascending numbers of images had been used in different ambient light conditions. A training set of almost 5,000 positive and 10,000 negative images was used by Viola and Jones to train a face detection classifier with high detection accuracy. For the mounting scenario, 50 negative images and 30 positive images per component were sufficient to get satisfying results. Components are detected fast and independently of different ambient light conditions, providing reliable information of component location.

5.4. Projection of picking and assembly instructions

To fulfill the requirement of flexibility, the software must be able to handle different variants of components. These components can be located in different positions during the assembly process. The pen tip for example can be found in any of the seven compartments on the tray. To show the correct compartment for picking the next part, a green line is projected onto the trays surface, according to its position determined by the software, see figure 6.



Figure 6: Projection assistance of pick instruction

The projection of mounting instructions is more complex since there are multiple work

steps including different components or already mounted parts.

However, the projection system allows the usage of generic CAD data. In this case, existing 3D CAD models have been converted into 2D images and supplemented with basic drawing objects (e.g. arrows and lines) using standard CAD software. The mounting instructions have been optimized so that users can understand the work instructions fast and easy in the system context [Agr03]. All projection data is prepared in the work preparation process and sent to the laser projector by the software during the mounting process. An example of the projection on the passive display can be seen in figure 7.

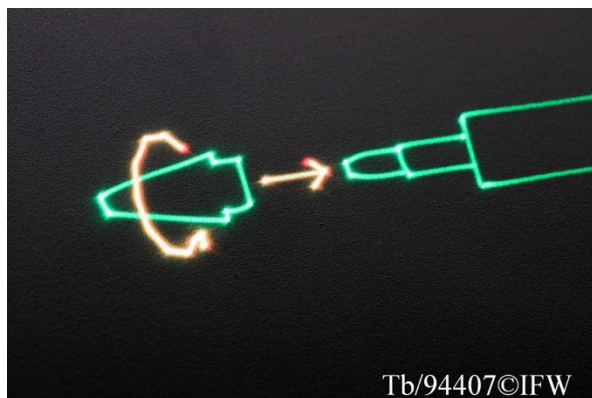


Figure 7: projection assistance of assemble instruction (detail)

6 System evaluation

To measure the perceived usability, efficiency and effectiveness of the implemented system, a structural user test (n=7) has been conducted at the showcase factory. The goal of the study was to gain information about the systems advantages and drawbacks by gathering feedback from users who were not involved in the design process. Additionally, the system was used in the showcase factory over a period of three months proving the reliability in a stress environment. This section presents the study and the corresponding results.

6.1 Testing procedure

The sample group consisted of seven manufacturing trainees from a Small Medium Enterprise (SME). They received a brief introduction of the test environment and filled out

a questionnaire preceding the testing. Apart from socio-demographic information (gender, age and educational background), the participants were asked for their expectations towards an assistance system. The participants were then individually challenged to mount the pen using the mounting system.

Following the completion of the assembly process, the participants received the second questionnaire consisting of twelve defined statements that should be rated based on a Likert-scale from zero (strongly disagree) to four (strongly agree). The set of statements was based on the SUS measuring the perceived system usability and extended by two statements from the ASQ evaluating the efficiency and effectiveness of task completion.

The statements were alternating positively and negatively formulated:

1. I can imagine myself using the system regularly.
2. I think the system is unnecessarily complex.
3. I think the system is easy to use.
4. I think I would need technical support to use the system.
5. I think the system functions are well integrated.
6. I think there are too many inconsistencies in the system.
7. I can imagine that most people learn to use the system quickly.
8. I think the operation is inconvenient.
9. I felt confident using the system.
10. I needed to learn a lot before I could work with the system.
11. I am happy with how easy I could handle the task.
12. I am happy with the time I needed for handling the task.

The answers to each of the twelve questions were stored as values from the Likert-scale ranging from zero to four. The values from the positive statements 1, 3, 5, 7, 9, 11 are added up. The answers from the negative statements 2, 4, 6, 8, 12 are each subtracted from the maximum value four and added up. The final score was calculated by adding up both sub-sums.

The score is then normalized to provide a final result between zero and one hundred whereby one hundred represents the best value.

During the assembly process, the participants were observed to identify problems concerning the interaction between the system and the user.

Following the second questionnaire, the participants were asked to mount the pen again, this time using paper instructions commonly used in manufacturing environments. The paper instruction described a different assembly order to prevent the participants from mounting the pen from memory. A coffee break created further distance between the testings. A third questionnaire, similar to the second one, was filled out and an open discussion concluded the study.

A more thorough assessment of these paper instructions was not performed in this study since the participants already knew the process while assembling the pen with these instructions. Future work with additional sample groups could focus on this subject matter.

6.2 Results

The participants named multiple expectations towards mounting assistance systems. These expectations can be clustered into three key areas, as shown in table 1. Almost every participant named expectations connected to usability: Participants mentioned that a system should be easy to use and understand.

Table 1: Expectations towards a mounting assistance system (number of mentions) [m]

	Mentions [m]
Good usability	8
Robustness	7
Effectiveness	3

All participants completed the mounting process successfully. They needed on average 59 seconds (6 sec. standard deviation) to complete the mounting task. During this time, no mounting errors were observed. All participants understood the instructions given by the system.

After completion, six participants stated that their expectations were fulfilled by the system. The camera-controlled system reached a high average perceived usability score of 81,8 on the adapted 12 question SUS, characterizing a high system usability. Overall, the system received a very good feedback for being easy to learn and to use, as shown in table 2.

Table 2: Average agreement values [A] (scale: zero and four) and standard deviation [σ]

	A	σ
1. I can imagine myself using the system regularly.	3.00	1.00
2. I think the system is unnecessarily complex.	0.71	0.95
3. I think the system is easy to use.	3.14	1.21
4. I think I would need technical support to use the system.	1.29	1.70
5. I think the system functions are well integrated.	3.57	0.53
6. I think there are too many inconsistencies in the system.	0.71	0.95
7. I can imagine that most people learn to use the system quickly.	3.71	0.49
8. I think the operation is inconvenient.	0.57	1.13
9. I felt confident using the system.	3.00	1.15
10. I needed to learn a lot before I could work with the system.	0.00	0.00
11. I am happy with how easy I could handle the task.	3.29	0.76
12. I am happy with the time I needed for handling the task.	2.86	1.35

Using paper instructions, the participants needed seven seconds longer (66 seconds on average) to complete the task. At the same time, 1.6 mistakes on average were caused by the participants, e.g. by completing steps in a wrong order. This was mostly caused by participants handling the task from memory in-

stead of following the given instructions. Furthermore, the system was highly rated regarding the efficiency and effectiveness of mounting task completion represented in the statements 11 and 12.

7 Discussion and outlook

Based on current developments, this paper identifies three main requirements an intelligent mounting assistance system has to fulfill. First, usability presents a key requirement given aging assembly personnel and new digital production systems. The second aspect concerns the system's flexibility, which is increasingly important due to rising product individualization and variation. A system's high reliability is of utmost importance in the production environment.

Due to multiple component variants and a flexible tray loading, the ballpoint pen assembly is a fitting representation of a modern assembly scenario. Subsequently, a mounting assistance system derived from the identified requirements is implemented in a showcase factory. The system uses an input-free strategy to assist the user with the mounting task without distraction. It reacts to different tray loading situations by identifying components using machine learning based image recognition. The conducted structural user test shows good results for the system's perceived usability. The participants were able to understand and follow the presented instructions without any guidance. Furthermore, users rated the system

highly regarding the efficiency and effectiveness of task completion.

While the approach already supports the user in the chosen test environment, the pilot study results show potential for further examinations and developments. These can be separated in two categories: 1) The first field of examination concerns the aspects of flexibility and reliability. Further studies should analyze how well the system fulfills these two requirements, for example by analyzing long-term behavior or by introducing different, more complex products which require a higher flexibility. On a technological level, approaches using artificial intelligence could help to shorten the implementation phase, e.g. by automatically identifying new product parts. Additionally, the implementation of new technology, like motion tracking systems, is currently considered to improve the process tracking capabilities of the system. 2) On a higher level, the system's role as a cyber-physical system could be evaluated. It is especially interesting to analyze an extended system which includes workplaces for the next and previous work steps being able to interact dynamically.

Acknowledgements

The work was conducted as a best practice industry project at the Mittelstand 4.0-centre of excellence in Hannover, which is funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy of Germany. Project partner is the LAP GmbH Laser Applikationen.

Literature

- [Agr03] M. Agrawala, D. Phan, J. Heiser, J. Haymaker, J. Klingner, P. Hanrahan and B. Tversky: Designing Effective Step-By-Step Assembly Instructions, Rockwood (Hg.) 2003.
- [Agr11] M. Agrawala, W. Li and F. Berthouzoz: Design principles for visual communication. Communications of the ACM Vol. 54 No. 4, pp. 60-69, 2011.
- [Bro96] J. Brooke: SUS - A quick and dirty usability scale, Usability evaluation in industry 189 (194), pp. 4-7, 1996.
- [Bah11] R. Baheti and H. Gill: Cyber-physical systems, The impact of control technology, 12(1), pp. 161-166, 2011.
- [Dom13] U. Dombrowski, T. Wagner and C. Riechel: Analyse eines Konzepts zur Montageplanung auf Basis cyber-physischer Systemmodule, ZWF 108 (5), pp. 344-348, 2013.

- [Gan13] O. Ganschar and S. Gerlach: Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0, Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2013.
- [Hol17] P. Hold, S. Erol, G. Reisinger and W. Sihm: Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems, *Procedia Manufacturing* 9, pp. 143-150, 2017.
- [Jec17] JEC Group, Overview of the global composites market. At the crossroads., JEC Group, 2017.
- [Jen08] O. H. Jensen: Implementing the Viola-Jones Face Detection Algorithm, Kongens Lyngby, 2008.
- [Kas14] S. Kasselmann and S. Willeke: Interaktive Assistenzsysteme 4.0 READY. Technologie-Kompodium, IPRI, IPH, 2014.
- [Kos17] T. Kosch, R. Kettner, D.-I.M. Funk and A. Schmidt: MotionEAP–Ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion.
- [Lap18] LAP GmbH Laser Applikationen: CAD-PRO: LASER PROJECTORS for the projection of outlines and templates based on CAD data, available at <https://www.lap-laser.com/general-industries/projection/laser-projectors/cad-pro/> (accessed on October 28, 2018).
- [Lew91] J. R. Lewis: Psychometric Evaluation of an After-scenario Questionnaire for Computer Usability Studies: the ASQ., *ACM SIGCHI Bulletin* 23, 1, pp. 78-81, 1991.
- [Mer17a] L. Merkel, J. Starz, C. Schultz, S. Braunreuther and G. Reinhart: Digitale Assistenzsysteme in der Produktion, *wt Werkstatt online* 107, H.3, pp. 124-128, 2017.
- [Mer17b] J. Merazzi and A. Friedel: Einteilung und Bewertung von Montageassistenzsystemen, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 112 (6), pp. 413-416, 2017.
- [Mue18] R. Müller, R. Müller-Polyzou, L. Hörauf, A. Bashir, M. Karkowski, D. Vesper and S. Gärtner: Intuitive Bedienung laserbasierter Montageassistenz, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 113 (6), pp. 363-368, 2018.
- [Opt18] Optimum GmbH: Der "schlaue Klaus": Anwendungen für intelligente Bildererkennung, available at <https://www.optimum-gmbh.de/der-schlaue-klaus.html> (accessed on August 11, 2018).
- [Pei13] M. Peissner and C. Hipp: Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen, Fraunhofer IAO, 2013.
- [Uli18] ULIXES Robotersysteme GmbH: „Der Assistent“, available at <http://derassistent.de/> (accessed on August 11, 2018).
- [Zae09] M. Zaeh, M. Wiesbeck, S. Stork and A. Schubö: A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations, *Prod. Eng. Res. Devel.* (2009) 3, pp. 489-496, 2009.

Dimensionen von Unterstützung im medizinischen Behandlungskontext Eine kritische Analyse am Beispiel Morbus Parkinson

N. Strüver und N. Ziesen

Institut für Soziologie, Lehrstuhl Technik- und Organisationssoziologie,
RWTH Aachen University
nstruever@soziologie.rwth-aachen.de, nziesen@soziologie.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Am Beispiel der Erkrankung Morbus Parkinson werden exemplarisch verschiedene Unterstützungsdimensionen herausgearbeitet, die spezifisch auf Stadien des Krankheitsverlaufs zugeschnitten sind. Dabei wird zum einen eine kontextuale Verbindung zur *personalisierten* Medizin hergestellt. Zum anderen wird das in den technischen Unterstützungsformen implizierte *Versprechen* der Hersteller mit der faktischen Umsetzung konfrontiert. Mit Blick auf den betrachteten Phänomenbereich soll hinterfragt werden, welche Behandlungsmethode bzw. spezifische Technik für welche individuelle Krankheitsphase sowie für welche Patienten*innen als passgenau ausgewiesen wird und dies abseits einer rein medizinischen Perspektive. Welche materiellen Verteiltheiten lassen sich in verschiedenen Behandlungssettings beobachten?

Abstract

Dimensions of support in the context of medical treatment

A critical analysis of Parkinson's disease

Using the example of Parkinson's disease, various dimensions of support are laid out which are specifically tailored to stages of the course of the disease. On the one hand, a contextual connection to *personalized medicine* is established. On the other hand, the manufacturers' *promises* implied in the technological forms of support are confronted with the actual implementation. Alluding to the area of the phenomena under consideration, the aim is to question which treatment method or special technique is precisely suited for which individual phase of the disease and for which patients and this beyond a purely medical perspective. Which material distributions can be observed in different treatment settings?

Keywords

Technische Unterstützung, Morbus Parkinson, Personalisierte Medizin, Versprechen, Neue Materialismen

1 Einleitung: Morbus Parkinson

Die neurodegenerative Erkrankung *Morbus Parkinson* – umgangssprachlich auch *Schüttellähmung* genannt – zählt zu den häufigsten Nervensystemkrankheiten weltweit, mit einer Gesamtzahl von circa 300.000 Patienten*innen in Deutschland [Mas13].

Die Krankheit manifestiert sich überwiegend erstmals ab dem sechzigsten Lebensjahr mit physischen Symptomen wie fortschreitenden Bewegungsstörungen, Anspannungen und

Haltungsinstabilität, welche von einem Dopaminmangel durch eine Stammganglienerkrankung hervorgerufen werden. Als markante Erkrankungs-Symptome gelten: *Akinese*, *Tremor*, *Rigor* und *posturale Instabilität* [Mas13]. Diese, mit (Bewegungs-)Hemmungen verbundenen, Symptome bedingen ein spezifisches *Erleben* des eigenen Körpers.

2 Körper-Erleben

Im gesellschaftlichen Diskurs wird meist der Tremor der Parkinson-Krankheit angesprochen, welcher sich als Frühsymptom jedoch nur bei 50 % der Patienten*innen manifestiert. Weniger augenscheinliche sowie nicht thematisierte Aspekte der Erkrankung sind meist psychische Beeinträchtigungen, wie Wahrnehmungs- und Gedächtnisstörungen, depressive Episoden und Angstzustände [Mas13]. Weiterhin können Impulskontrollstörungen, Demenz, paranoid-halluzinatorische Phasen, Wahrnehmungsdefizite sowie Geruchs-, Geschmacks-, Farbseh- und räumliche Störungen auftreten [Mas13]. Zugleich stehen in diesem Erkrankungs-Kontext (Selbst-)Stigmatisierungen, im Sinne einer fehlenden Selbstständigkeit, welche sich in Wechselwirkung mit den psychischen Belastungen, in Form von Beeinträchtigungen im Alltag (bspw. Hobbys betreffend), auf die Lebenszufriedenheit der Patienten*innen auswirken [Rae05, Möll7].

Eine Kombination aus den genannten physischen und psychischen Symptomen der Parkinson-Erkrankung kann einen Zustand *hypokinetischer Hemmung* hervorrufen: „Der Patient erlebt seinen Körper wie einen fremdartigen Bewegungsapparat, den er durch verstärkte Willküranstrengung antreiben oder zur Ruhe zu bringen hat“ [Mas13]. So offenbaren sich bei der Parkinson-Erkrankung Wechselwirkungen zwischen der *Motorik*, in der Interaktion mit der Umwelt, und der Selbstwahrnehmung. Auch sensitiv-motorische Interaktionen mit der Umwelt sind für Kognitionen und mentale Repräsentationen von konstitutiver Bedeutung – im Sinne einer *embodied cognition* [Schl7b].

Das mit der Parkinson-Krankheit verbundene *Erleben* des Körpers als fremdartiger Bewegungsapparat und die Perspektive der *embodied cognition* schließen an den bekannten Dualismus zwischen *Körper-Haben* und *Leib-Sein* an. So umfasst der Leib das (psychisch) Lebendige, Gelebte und Gespürte, während der Körper sich auf das Physische, Materielle, sprich die Materie bezieht, die in medizinischen Interventionen, wie die der Physio- und

Ergotherapie, im Fokus steht [Gug06]. Allerdings handelt es sich hierbei um eine konstruierte Trennung: Die begriffliche Unterscheidung zwischen dem Körper als materiale Existenzform, des Habens, und dem Leib als sinnlich-spürbare Existenzform, mit einem subjektiv-wahrnehmbaren Zugang zur Welt, ist zugleich eine analytische Unterscheidung, obwohl beide Dimensionen empirisch verschmolzen sind [Sta16].

Dieser Perspektive folgend, wird auch in diesen Ausführungen ein Verständnis von Körper als Zweiheit von Leib und Körper, eine Dualität im Sinne einer *Zweiheit von Leib-Sein und Körper-Haben* [Gug06], eingenommen: „Der wahrnehmend-wahrnehmbare, spürend-spürbare Leib und der Körper als form- und manipulierbarer Gegenstand bilden eine untrennbare, sich wechselseitig prägende Einheit.“ [Gug06]. So ist der Körper „in seiner konzeptuellen Doppelheit von physiologischem Organismus als materiale Dinghaftigkeit, Objekt, Instrument und sinnlich-spürendem Wahrnehmen als subjektive leibliche Erfahrung zu denken“ [Sta16].

Mit dieser begrifflich enthaltenen Zweiheit, die sowohl *Körper-Haben* als auch *Leib-Sein* erfasst, kann mit dem betrachteten Gegenstandsbereich erfasst werden, wie Körperlich-Physisches mit dem Sinnlich-Spürbaren verschmolzen ist, beispielsweise die Wahrnehmung des Körpers als fremdartigen Bewegungsapparat mit unkontrollierbaren Zittern betreffend. Zugleich erscheint der Körper als (manipulierbares) Objekt von Behandlungsmethoden im Rahmen des Krankheitsverlaufs. Dies soll im Folgenden Eingang in die Betrachtung finden.

3 Krankheits-Phasen und Behandlungen

Bezüglich der Behandlung von Morbus Parkinson wird darauf verwiesen, dass ein individuell bzw. auf die jeweilige Person zugeschnittenes Gesamtkonzept notwendig sei, unter Berücksichtigung der jeweiligen Verträglichkeit und Wirksamkeit, aber auch mit Blick auf alltäglich bestehende Erfordernisse [Hen00] in der jeweiligen Lebenswelt.

Im Kontext dessen zeigen sich auch narrative Verwendungen einer *personalisierten* Medizin: Dabei impliziert Personalisierung zum einen eine Übertragung auf verschiedene Kontexte sowie (Krankheits-)Bereiche und zum anderen ein *Versprechen*, verbunden mit einer Erwartungshaltung: “no-one would want “im-personal” services, or “one size fits all” provisions; surely everyone wants to be [...] treated as a whole, unique person“ [Ros13]. Obwohl der Begriff mit Entwicklungen in der Genforschung, Molekularbiologie sowie neuen Informationstechnologien verbunden ist, findet dieser auch Verwendung zur Beschreibung einer patienten*innen-zentrierten Interaktion und Behandlung in der medizinischen Praxis [Tut12], wie in dem hier beschriebenen Phänomenbereich.

Trotz dem, mit der personalisierten Medizin verbundenem, Versprechen zu einer Optimierung der medizinischen Vorsorge und Behandlung für jedes einzelne Individuum, dienen in der Medizin nach wie vor Klassifizierungen in Fälle bzw. Gruppen einem *Matching* von Diagnose und Behandlung [Til06]. Diese – dynamischen und modifizierbaren – Kategorien zeigen sich auch bei der Einteilung der Parkinson-Erkrankungs-Phasen [Thü02].

Tabelle 1: Krankheitsstadien

Stadium 1:	Einseitige Symptomatik, geringe funktionelle Beeinträchtigung
Stadium 1,5:	Einseitige, axial betonte Symptomatik
Stadium 2:	Beidseitige Symptomatik ohne Gleichgewichtsstörungen
Stadium 2,5:	Beidseitige Symptomatik, Ausgleich bei Pulsionsprovokation
Stadium 3:	Erste Anzeichen gestörter Stellreflexe, schwache bis mäßige Krankheitsausprägung
Stadium 4:	Voll entwickelte, schwer beeinträchtigende Symptomatik
Stadium 5:	Angewiesenheit auf Rollstuhl oder (ohne externe Hilfe) bettlägerig

Um exemplarisch Unterstützungsformen analytisch herauszuarbeiten, die auf die verschiedenen Stadien des Krankheitsverlaufs zugeschnitten sind, ist im Folgenden zunächst eine Darstellung von *First-Line*- bzw. etablierten Therapieformaten (Kap. 3.1 und 3.3) gegeben, um daran anschließend, nach der Betrachtung von Begleittherapien (Kap. 3.2), eine neue Form der Behandlung einzuführen (Kap. 3.4). Dabei sei darauf hingewiesen, dass die hier dargestellten Verfahren keinen exklusiven Charakter implizieren, sondern häufig in Kombination und Variation zum Einsatz kommen.

3.1 Medikamentöse Behandlung

Bis heute ist L-Dopa der sogenannte *Gold-standard* der pharmakologischen Parkinsontherapie, da keine andere Monosubstanz eine vergleichbare Effektivität zu zeigen scheint [Kak18]. Die schwerwiegendsten Nebenwirkungen einer L-Dopa-Therapie sind Störungen der Bewegungsabläufe (Dyskinesie) und verschiedene Formen des *Wearing-Off*-Phänomens. Hier kann es zum Nachlassen der Medikamentenwirkung kommen, sodass physische und psychische Symptome wieder verstärkt auftreten [Fre17]. Weiterhin ist, jedoch seltener, eine sogenannte *On-Off-Fluktuation* möglich, sodass die Wirkung abwechselnd ein- und aussetzt. Alle Formen des *Wearing-Off*-Phänomens werden beeinflusst vom Alter der Patienten*innen, dem Krankheitsstadium und der allgemeinen Behandlungsdauer [Fre17].

Obwohl L-Dopa seit den 1950er Jahren ohne tiefgreifende fachinterne Kontroversen genutzt wird, zeigen sich auch alternativ entwickelte medikamentöse Behandlungsansätze. So werden vor allem in früheren Stadien der Erkrankung bzw. bei milderer Ausprägung der anfänglichen Symptome *schwächere* Medikamente an Patienten*innen verschrieben [Lud07, Kak18].

Eine, nicht statisch zu betrachtende, Orientierung für die medikamentöse Behandlung bietet generell das Alter der Patienten*innen: So gilt „als Richtlinie, dass unter 70 Jahre alte Patienten im Frühstadium eher nicht mit einem

L-Dopa-Präparat behandelt werden sollten, sondern primär mit einem Dopaminagonisten“ [Weh16]. Zusätzlich werden Neben- und Wechselwirkungen der eingenommenen Präparate berücksichtigt, wie auch Wirkungen aus der Kombination mit weiteren Therapieelementen.

3.2 Begleitende Therapien

Zum Erhalt der Bewegungsfähigkeit, der Selbstständigkeit im Alltag, der Sprechfähigkeit und der sozialen Kontakte werden begleitend Kombinationen aus Physio- und Ergotherapie sowie Logopädie und psychosoziale Betreuung verschrieben [Thü02]. In diesen Begleittherapien werden spezifische Übungen durchgeführt, um die Selbstständigkeit der Patienten*innen möglichst lange zu erhalten. Hier kommen – besonders in der Ergotherapie – einfache technische Hilfsmittel zum Einsatz [Hen00], welche die Therapieeinheit unterstützen, jedoch meist nicht direkt den alltäglichen Umgang mit der Parkinson-Erkrankung. Daher wird im Weiteren nicht tiefergehend auf diese Formen der Therapie eingegangen. Dies gilt ebenfalls für die vielfältigen sozialen Unterstützungsformen und Situationen der Patienten*innen, welche nicht technisch vermittelt sind und daher abseits des hier eingenommenen Fokus stehen.

3.3 Operatives Therapieverfahren: THS

Die tiefe Hirnstimulation (THS) ist eine invasive, jedoch reversible, funktionell-stereotaktische Behandlungsmethode, welche seit den 1990er Jahren bei Morbus Parkinson angewandt wird [Ale05]. Auf Basis bildgebender Verfahren erfolgt eine Platzierung zweier Elektroden in derzeit drei festgelegte Zielgebiete im Gehirn [Kle18]. Die implantierten Elektroden stimulieren anschließend permanent die dysfunktionalen neuronalen Netzwerke, wobei der stetige elektrische Impuls von einem ebenfalls implantierten und via Kabel verbundenen Generator, meist im Brust- oder Schulterbereich platziert, ausgeht. Dieser Neurostimulator ist gleichzeitig die Energiequelle sowie koordinative Instanz in der THS-

Technik, da hierüber einerseits eine Anpassung der Stromstärke und -frequenzen seitens des medizinischen Fachpersonals erfolgen kann und andererseits die Patienten*innen (bei einigen Modellen) den Batteriezustand überprüfen sowie selbstständig aufladen können [Med14]. Durch die post-operativ bestehende Möglichkeit – und Notwendigkeit – einer Feinjustierung, die zentraler Bestandteil der Behandlung ist, wird die THS auch als eine *individualisierbare* Behandlungsmethode erachtet, da die Stimulation gemäß dem Verlauf der Erkrankung anpassbar ist [Ami11]. Hier zeigen sich ebenfalls narrative Verknüpfungen zur *personalisierten* Medizin (Kap. 3).

Durch die fortlaufende Anpassung der Stimulation wird verdeutlicht, dass es in diesem Kontext keine *absolute* Identität einer Entität geben kann, da die materiellen Wirkungen im Geschehen zu verorten sind. So läuft in jedem Zeitraum, der zwischen zwei Justierungsinstanzen vergeht, ein konstanter *Aushandlungsprozess* um die Wirkungsweisen des Behandlungsnetzwerks ab. Während dieses Vorgangs wird die Form des sozio-technischen Gefüges, durch die Herausstellung von Relevanz und Ansprüchen auf Definitionssdominanz über das Netzwerk durch die Entitäten, festgelegt [Bar12]. Dabei tritt der (neu-)kalibrierte Technikkomplex der THS – Elektroden, Kabel, Stimulator – gegen die sich adaptierenden Hirnstrukturen an, sodass nach jeder Re-Konfiguration eine ko-produktive Neuordnung der Welt stattfindet [Ben07, Maa17, Schl7a]. Hier offenbart sich die Rigorosität und Tiefe des Eingriffs der THS, wie es exemplarisch-autobiographisch in [Dub06] dargestellt wird. Auch weitere Patienten*innen, die mit der THS behandelt wurden, berichten von traumatischen Erfahrungen, die mit dem operativen Eingriff verbunden sind, sowie von posttraumatischen Alpträumen und Belastungsstörungen. So kann sich auch mit dieser Therapieform, wie mit der Parkinson-Erkrankung selbst (Kap. 2), eine wahrgenommene Fremdheit einstellen, in Form eines Vergleichs der Körperempfindungen vor und nach der Stimulation, ebenfalls verbunden mit

bestehenden Normalitäts- und Stigmatisierungsvorstellungen. Bezogen auf die Zweiheit von Leib und Körper zeigt sich nicht nur mit der Erkrankung, sondern auch im Kontext dieser Behandlung eine potenzielle Entfremdung des Körpers, anhand der individuell (heterogen) wahrgenommenen Nebenwirkungen [Mül09]. Daher ist bei dieser Therapieform die weniger hinterfragte *Normalität*, mit welcher diese als etablierte Behandlung eingesetzt wird, kritisch zu reflektieren. Eine umfassende Aufklärung der Patienten*innen über etwaige Implikationen der Unterstützung ist folglich unerlässlich.

3.4 GyroGlove

Der GyroGlove (GG), optisch wie ein Handschuh, soll durch die Verwendung von Gyroskopen die, für Morbus Parkinson typischen, Handtremores ausgleichen und so alltägliche Aktivitäten wieder ermöglichen [Gyr18].

Die Funktionsweise des GG fußt auf der Gyroskoptechnologie. Gyroskope sind kleine, sich drehende Scheiben, die Drehimpulse konservieren und aufrechterhalten. Hierdurch bleiben diese ständig in einer aufrechten Position, sodass Krafteinwirkungen aus anderen Richtungen kompensiert werden können. Diese kleinen Apparate wurden in die Handschuhform des GGs eingelassen [Gyr18].

Das Tragen des Handschuhs soll insgesamt also die Stabilität der Hand erhöhen. So wird durch diese Form technischer Unterstützung die Möglichkeit gegeben, verstärkt Kontrolle auf den eigenen Körper auszuüben [Karl17]. Es findet somit durch das Hinzufügen eines technischen Artefakts eine *Rekonfiguration* von organischen und mechanischen Objekten statt, indem die Eigenaktivitäten der verschiedenen Entitäten in einen Aushandlungsprozess miteinander eintreten. Am Ende dieses Prozesses steht eine neue Form des Unterstützungsnetzwerks. Dabei können sich möglicherweise gewisse Abhängigkeiten entwickeln, welche es den Patienten*innen zu illustrieren gilt.

Insgesamt sollen alltägliche Herausforderungen von Parkinson-Erkrankten, wie Essen, Schreiben, Kochen usw., erleichtert werden

[Gyr18]. Jede dieser genannten Herausforderungen ist *situativ-relativ* zu betrachten, da die Stärke der Tremores der Patienten*innen im Zusammenspiel mit der feinmotorischen Schwierigkeit der Aufgabe und ebenfalls mit der Leistungsstärke des GGs steht. Die hinderliche passive Bewegung des Tremors unterbindet das Ausführen von alltäglichen Aktivitäten aufseiten des Subjekts. Der GG hingegen offenbart bei Benutzung seine eigene Bedeutsamkeit im Netzwerk durch die ausgleichende Aktivität der Gyroskope und schränkt somit den Tremor im besten Fall ein [Bar12].

4 Stigmata und *promising technology*

Die Betrachtung der Behandlungsverfahren von Morbus Parkinson abschließend, seien beide zuletzt genannten Methoden – die THS (Kap. 3.3) und der GG (Kap. 3.4) – spezifischer mit Blick auf das ihnen zugrundeliegende *Versprechen* herausgegriffen, da diese hinsichtlich ihrer technischen Komponenten in der Behandlungsrelation von besonderem Interesse in diesen Ausführungen sind.

Das Versprechen einer Symptomlinderung durch technische Unterstützung wirkt sich, neben den physischen Effekten selbst, ebenfalls auf die Selbstwahrnehmung – welche häufig von Stigmatisierung geprägt ist – aus, sodass Schamgefühle abgeschwächt werden können. So dient nicht nur der faktische Stand einer Technik als Orientierungspunkt, sondern die *promising technology* [Van93] ist bereits Bestandteil von Entwicklungsaktivitäten und ebenso zentral beim Einsatz von technischer Unterstützung in Krankheits-Phasen.

In einigen Studien wird beschrieben, welche Stigmatisierungen Parkinson-Patienten*innen erfahren [u.a. Maf17], wie Öffentlichkeit und Kontakte gemieden werden, beispielsweise auch vor dem Hintergrund von Fehlinterpretationen des Zitterns als übermäßigen Alkoholkonsum.

Die THS soll laut Hersteller dem Vermeidungsverhalten von Patienten*innen und damit sozialer Isolation vorbeugen, sodass bei frühzeitiger Implantation die Möglichkeit zu sozialen Kontakten erhalten bleibt [Med14]. Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, die

Stigmata mit einer *neo-materialistischen Perspektive* zu betrachten und diese in soziale sowie materielle Kontexte zu setzen, um zu erkennen, dass die Grundlage für solche Stigmata in einem anderen Behandlungskontext erlischt [Sch17a]. Neben der Auflösung der Stigmata können sich jedoch auch neue Stigmatisierungen ergeben. Sobald beispielsweise dem Situationskontext die Technik der THS hinzugefügt wird, verschiebt sich die Stigmatisierung und anstelle des Zitterns oder der unbeholfenen Bewegungen können scheinbare Persönlichkeitsveränderungen der implantierten Technik zugeschrieben werden [Gil12] und damit neue Exklusionserfahrungen entstehen.

Durch die Verwendung des GGs soll, so der Hersteller, das Selbstbewusstsein der Patienten*innen, sich in öffentlichen Räumen zu bewegen, wiederhergestellt werden [Gyr18]. Mit dieser Zielbeschreibung zeigt sich eine Parallele zu der THS: Durch die Möglichkeit der Unterdrückung des Tremors – bzw. durch das Hinzufügen eines technischen Artefakts zu der materiell-organischen Konstitution des Körpers – beugt der*die Patient*in zumindest teilweise einer Stigmatisierung vor. Die Furcht vor Öffentlichkeit scheint zusammenzuhängen mit der Angst vor einer nicht kontrollierbaren, mit peinlichen Schamgefühlen behafteten Situation. Jedoch sind als peinlich empfundene Situationen immer an die Bedingungen der Situation geknüpft, welche durch eigene Maßnahmen – wie das Auswählen eines Zeitpunkts oder das Einschalten einer Technik – beeinflusst werden können.

Die THS zu ihrem Beginn sowie der GG in seinem jetzigen Anfangsstadium offenbaren eine *propagierte Verheißung* [Van98], denn es wird eine Erwartung – eine Symptomlinderung bzw. eine potenzielle Situationskontrolle – skizziert [Van98], die eine Aussicht mit neuen Möglichkeiten präsentiert. Zwar impliziert eine solche Geschichte zu Beginn einen ungedeckten Scheck, aber dennoch ist diese im Stande, Erwartungen auszulösen, um weitere Forschungsgelder einzuwerben, Studien zu initiieren etc. Bei beiden Technologien hat sich bereits eine Transformation der getätigten

Versprechen in Anforderungen und damit ein *take-off* der ursprünglichen Geschichte vollzogen [Ben07]. Insgesamt sind in jeder Phase von Entwicklungsprozessen, und so auch bei diesen Behandlungsmethoden, Versprechen von Bedeutung, da „promises change search strategies of the actors involved“ [Van93].

Welche Strategien in Kombination der Behandlungsmethoden verfolgt werden und welche Aspekte sich ergeben, beispielsweise im Hinblick auf individuelle Anpassungen im Sinne einer personalisierten Medizin (Kap. 3), soll im Folgenden im Fokus der Betrachtungen stehen.

5 Kombination von Methoden

Zwar kann die Pharmakotherapie nach der Stimulation mit der THS – ausschließlich bei einem Zielort – reduziert, aber selten völlig abgesetzt werden, sodass es sich im weiteren Behandlungsverlauf um eine Kombination von medikamentöser Therapie und THS handelt [Oer12]. Als eine Nebenwirkung gilt eine potenzielle Verschlechterung der Sprechfähigkeit, wobei dies durch eine Anpassung der Stimulationsparameter wieder reduzierbar sei. Allerdings ergibt sich eine weitere Problematik dahingehend, dass eine Stimulationseinstellung, welche ein uneingeschränktes Sprechen erlaubt, zugleich eine weniger starke Wirkung auf den Tremor zeigen kann. Folglich wird eine Balance zwischen motorischen und sprachtechnischen Fähigkeiten gesucht, welche sich im Verlauf der Krankheit verändern kann und nicht statisch zu betrachten ist [Med14].

Die Koordination von Sprechen und Motorik unterliegt im fortlaufenden iterativen Prozess Anpassungen und Feinjustierungen – auch mit Blick auf das jeweilige Individuum sowie dessen Lebensumstände – im Horizont einer personalisierten Medizin (Kap. 3). Die verschiedenen Iterationen des Netzwerks, welches sich zeitlich ausdehnt und nach jeder Feinjustierung neu entsteht, sind anhand ihrer Interdependenzen mit dem Gesamtgeschehen zu beurteilen. Das medizinische Fachpersonal mag eine Ziel-Form – wie Symptomlinderung – präferieren, die Patienten*innen eine andere

– wie der Wunsch nach einer vollständigen Heilung. Aber auch diese Präferenzlagen sind abhängig von den Gegebenheiten der jeweiligen Situation, die die Relation bedingen.

Die Konstellationen der Situation werden nach jeder Feinjustierung anhand der Dispositionen der einzelnen Entitäten neu ausgehandelt [Sch17a]. So kann in einem prozessualen, iterativen Annähern ein Kompromiss zwischen Motorik und Sprechfähigkeit, zwischen Symptomabschwächung und Heilungswunsch für eine gesteigerte Lebensqualität ausgehandelt werden und das Konglomerat an Materie gewinnt eine neue Kontur. Dabei bestimmt die Beschaffenheit der Dinge (technisch wie organisch) die Möglichkeiten der Anpassung, welche an ihnen geleistet werden kann [Sch17a]. Allerdings kann dieser Aushandlungsprozess auf materieller Ebene zu – körperlich wie psychisch – spürbaren Konsequenzen führen, wobei auch eine Möglichkeit besteht, außerhalb der Feinjustierungen die Gegebenheiten des Netzwerkes seitens der Patienten*innen zu beeinflussen. So ist die Option, die Stimulation an- und auszuschalten, eine Eingriffsmöglichkeit für die Patienten*innen, die sich nach Ausprobieren – im Sinne von Trial-and-Error – und entsprechend eigener Erfahrungswerte im alltäglichen Leben mit der Behandlungsmethode ergibt [Dec08].

Der GG als Behandlungsmethode soll als Brücke zwischen der L-Dopa-Medikation und der THS dienen, da L-Dopa vielfältige Nebenwirkungen – z.B. Übelkeit oder Schwindelanfälle – hervorruft und die THS als invasive Therapie sehr voraussetzungsreich ist [Cha15]. Als Behandlungsmethode für die Parkinson-Erkrankung beschränkt sich der GG hauptsächlich auf die Reduktion des Tremors, sodass über den Tremor hinausgehende Symptome der Parkinson-Erkrankung nicht behandelt werden. Jedoch kann dem GG als Behandlungsmethode zugeschrieben werden, dass dieser sehr spezifiziert – und nicht zuletzt durch Einstellungen auch *personalisiert* – auf das Problem der alltäglichen Motorik-Beeinflussung eingeht und eine Kontrolle von Motorik in Situationen zu unterstützen scheint. Weiterhin ist im Kontext der personalisierten

Medizin das Versprechen des Entwicklers des GGs zu sehen, das Prinzip der *wearable gyroscopes* auf weitere Kleidungsgegenstände und somit Tremorbereiche zu erweitern [Tel15], sodass beispielsweise auch auftretende Tremores in den Beinen niedrigschwellig behandelbar wären. Hier lässt sich erkennen, dass einige Probleme der Feinjustierung der THS oder der Medikamenteneinstellung durch die komplementäre Verwendung der Gyroskope reduziert werden könnten.

Anhand dieser Ausführungen wird sichtbar, dass eine Notwendigkeit besteht, die Behandlungsmethoden anhand von analytischen Determinanten – jenseits der exklusiven medizinischen Kategorisierung und Trial-and-Error-Verfahren – zu betrachten, um deutlicher die heterogenen Unterstützungsformen für die Krankheits-Phasen herauszuarbeiten.

6 Unterstützungsdimensionen

Im Folgenden wird ein Vorschlag für die Einteilung der fokussierten Behandlungsmethoden in zentrale analytische Determinanten von Unterstützungssituationen (nach [Kar15, Kar17]) skizziert. Es wird dabei jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit und Exklusivität erhoben. Jedoch erscheint eine Übertragung auf – tatsächliche – personalisierte medizinische Vorgehensweisen damit möglich. Es wird beispielhaft eine relationale Betrachtungsweise auf technische Unterstützungssituationen eingenommen, da sie in den jeweiligen Situationen durch eine geschärfte Wahrnehmung die Grundlage für eine möglichst optimale technische Unterstützungssituation ermöglicht. Ein optimaler Zustand ist dabei von der Position der Beurteilenden sowie von situationsbedingten Determinanten abhängig, die im Kontext des Imperativs der evidenzbasierten Medizin vernachlässigt werden können.

Eine technische Unterstützung kann die (diskursive) Position von Individuen stärken oder schwächen. Daher ist es zentral, eine gemeinsame Deutung bzw. Beschreibung der Situation zu finden, denn: „Nur technische Systeme, die auf eine Art und Weise unterstützen,

die es den verschiedenen beteiligten Beobachtern erlaubt, zu einer gemeinsamen Beschreibung zu kommen [...], werden sich als tragfähige Unterstützungssysteme erweisen“ [Kar15]. Somit sollte zwischen den Vorstellungen des medizinischen Personals und denen der Patienten*innen abgewogen werden. Die Form der Unterstützung, wie sie anhand der folgenden Determinanten beschrieben werden kann, soll also in einer gemeinsam akzeptierten Definition münden. In der Praxis bedeutet dies, dass es nötig ist, mögliche Kontrollverluste zu thematisieren.

Es gilt vorweg anzumerken, dass es sich bei der hier vorgenommenen Einteilung um die Auffassung, Beobachtung sowie Einschätzung des Autors und der Autorin handelt, mit einem exemplarischen, soziologischen Charakter. Die tatsächliche Einschätzung einer angemessenen Unterstützung für Patienten*innen und für die jeweiligen Krankheitsphasen muss situativ vorgenommen werden. Exemplarisch werden die Entscheidungsmomente für die zwei vorgestellten Techniken der THS und des GGs andiskutiert, um die Interpretation der folgenden Tabelle nachvollziehbar zu machen. Diese tabellarische Form könnte als Basis einer Diskussion zwischen Patienten*innen und Ärzten*innen dienen.

Weder die THS, noch der GG sind als *koprsent* (die Situation wahrnehmend und gestaltend) zu betrachten, da keine Sensorik für eine automatische Selbstjustierung besteht. Die Frequenz und Stärke der Techniken werden in gesonderten Momenten von Patienten*innen und Ärzten*innen eingestellt, sodass die Anpassung nicht maschinenseitig geschieht. Die Aktivität der Technik findet also nicht als direkte Konsequenz von menschlicher Aktivität statt.

Die Form der Kopplung ist zumindest bei der THS diskutabel, da sich die Frage stellt, ob die Technik die Gehirnstrukturen so weit beeinflusst, dass diese *konstitutiv* für mögliche Aktivitäten der Patienten*innen wird. Es kann jedoch von einer prinzipiellen Beeinflussung der Hirnstrukturen ausgegangen werden, sodass die Grundlage für mögliche Aktivitäten in jedem Falle beeinflusst ist. Wie tief diese

Beeinflussung – entsprechend ihres Namens – greift, bleibt ein individuell sowie subjektiv zu klärendes Residuum. Bei der Betrachtung des GGs zeigt sich eine klarer vorzunehmende Einteilung, da dieser ausschließlich eine qualitative Steigerung von Aktivitäten anvisiert. Es ist den Patienten*innen potenziell möglich, beispielsweise zu malen, jedoch nicht gemäß ihrer eigenen Erwartungen. Der GG ist in den meisten Fällen also als *getrennt gekoppelt* zu betrachten, da dieser nicht konstituierend für die prinzipielle Durchführung der Aktivität ist. Eine mögliche Deutung ist demnach, dass eine höhere Auswirkung von der Technik der THS auf die menschliche Aktivität ausgeht; was von Patienten*innen bewusst akzeptiert werden kann. Auf die Problematik der nicht völlig geklärten Einwirkung der THS auf die Hirnstrukturen (Kap. 3.3) lässt sich bei der Frage nach der *Kontrollhoheit* rekurrieren.

Die Kontrollhoheit, als Definitionsdominanz der Situationskonstellation, bleibt auch bei einer an- und ausschaltbaren Stimulation prävalent. Demgegenüber liegt bei der Verwendung des GGs eine klare Hoheit der Kontrolle beim Menschen – der*die Patient*in kann die Verwendung des Handschuhs ohne Nachwirkung ausschalten. Wie bereits erwähnt, ist die THS als Behandlungsmethode für ein fortgeschrittenes Stadium der Erkrankung vorgesehen, während der GG primär in frühen bis mittleren Stadien Verwendung finden sollte, jedoch gezielt zu allen Behandlungszeitpunkten eine Unterstützung bei einem starken Handtremor sein kann. Besonders die Deutung der Kontrollsituation ist eine Thematik, welche im medizinisch-technischen Kontext offen diskutiert werden sollte.

Die folgende Tabelle gibt die vorgeschlagene Einteilung für die dargelegten Behandlungsmethoden wieder und setzt diese in den Kontext der Krankheitsphasen (Kap 2). Mit dieser Erweiterung ließe sich, gemeinsam mit medizinischer Expertise, eine Diskussion zwischen Patient*in und Arzt*Ärztin strukturieren.

Tabelle 2: Unterstützungsdimensionen am Beispiel Morbus Parkinson

Techn. Unterstützung	Raum-/Zeit-Beziehung	Form der Kopp-lung	Kontroll-hoheit	Krank-heits-Phasen
„Schwäche“ Medika-mente	verteilt	integriert	Mensch	Stadium 1-3
L-Dopa	verteilt	integriert	Technik	Stadium 3-5
GG & Wearables	verteilt	getrennt	Mensch	Stadium 1-5
THS	verteilt	integriert	Technik	Stadium 4-5

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Symptome der Parkinson-Erkrankung bedingen ein spezifisches *Erleben* des eigenen Körpers, verbunden mit (Bewegungs-) Hemmungen und Stigmatisierungsprozessen. Mit Blick auf das medizinische Klassifizierungssystem [Til06] der Krankheits-Phasen lässt sich kritisch anmerken, dass hier die mit der Krankheit einhergehenden psychischen Belastungen keine hinreichende Berücksichtigung finden und auch der gesellschaftliche Diskurs vergleichbar die *körperlichen* Auswirkungen der – umgangssprachlich – *Schüttellähmung* fokussiert und weniger die Leibesempfindungen (Kap. 2). Mit einem Verständnis von einer Zweifelt von Körper und Leib kann diese dualistische Betrachtung aufgebrochen werden. Gerade (Behandlungs-)Techniken kommt in diesem Kontext eine besondere Bedeutung zu, mit spezifischen Implikationen in Unterstützungskonstellationen.

Zentral ist im medizinischen Therapiefeld das *Versprechen* – zum einen vor dem Hintergrund der *personalisierten* Medizin [Tut12,

Ros13] und zum anderen verbunden mit (technischen) Unterstützungsangeboten [Van93]. Diese Versprechen gelten als sinnstiftend, da an technische Unterstützung eine Symptomlinderung geknüpft wird. Dabei kann vermutet werden, dass die Wahl der technischen Unterstützung in einer offenen Diskussion zwischen Behandelnden und Patienten*innen getroffen werden sollte, mit einer gemeinsamen Situations- und Erwartungsdefinition, um u.a. eine Gegenüberstellung von Versprechen und faktischer Umsetzung zu gewährleisten. Letzteres aufgreifend, wurden exemplarisch verschiedene Unterstützungsdimensionen herausgearbeitet und in Bezug zu den Stadien des Krankheitsverlaufs gesetzt. Ziel dieser Darstellung ist es, die Spezifika einer technischen Unterstützung so analytisch zu filtern, dass eine Form von Unterstützung gewählt werden kann, deren Einschätzung alle Beteiligten teilen, während gleichzeitig die Option einer Kombinierbarkeit besteht.

Aufgrund der starken Involviertheit von Technik im Behandlungskontext kann die vorgelegte Analyse exemplarisch genutzt werden, um möglichen Verlusten von Kontrolle über die individuelle Behandlung vorzubeugen.

Die hier vorgenommene Einteilung entspricht keiner Verallgemeinerung für die medizinische Praxis, da die eingenommene Perspektive eine Soziologische ist. Anknüpfend an den unterbreiteten Vorschlag wäre es gewinnbringend, eine solche Betrachtung in die medizinische Praxis einfließen zu lassen und so zu einer Gesamtperspektive zu gelangen, in der bislang zentrale, fachübergreifende Facetten keine hinreichende Berücksichtigung finden.

Literatur

- [Ale05] F. Alesch und K. Mullet: Geschichte der tiefen Hirnstimulation. In: J. K. Kraus und J. Volkmann (Hrsg.): Tiefe Hirnstimulation, Darmstadt: Steinkopff, S. 1-14, 2005.
- [Ami11] A. Amir-Manavi: Kognitive und emotionale Effekte der Tiefenhirnstimulation des Nucleus subthalamicus im Langzeitverlauf bei Patienten mit Morbus Parkinson: eine prospektive Studie. Aachen: Technische Hochschule, Diss., 2011.
- [Bar12] K. Barad: Agentieller Realismus. Über die Bedeutung materiell-diskursiver Praktiken. Berlin: Suhrkamp, 2012.

- [Ben07] G. Bender: Wechselwirkung zwischen Technik und institutionellen Strukturen versus Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozess; In: U. Dolata und R. Werle (Hrsg.): Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung, Frankfurt am Main: Campus-Verlag, S. 45-62, 2007.
- [Cha15] G. Chang: GyroGlove inventor: the inspiration behind our tremor-reducing glove; Im Internet unter: <http://parkinsonslife.eu/gyroglove-inventor-the-inspiration-behind-our-tremor-reducing-glove/>, 2015, (Zugegriffen 28.02.2018).
- [Dec08] M. Decker und T. Fleischer: Contacting the brain – aspects of a technology assessment of neural implants. In: Biotechnol. J., 3, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, S. 1502-1510, 2008.
- [Dub06] H. Dubiel: Tief im Hirn. München: Antje Kunstmann Verlag, 2006.
- [Fre17] M. Freitas, C. Hess und S. Fox: Motor Complications of Dopaminergic Medications in Parkinson's Disease. In: Semin Neurol 2017, 37(02), New York: Thieme, S.147-157, 2017.
- [Gil12] F. Gilbert: The burden of normality: from 'chronically ill' to 'symptom free'. New ethical challenges for deep brain stimulation postoperative treatment. In: Journal of Medical Ethics 38, S. 408-412, 2012.
- [Gug06] R. Gugutzer: Der body turn in der Soziologie. Eine programmatische Einführung. In: R. Gugutzer (Hrsg.): Body turn. Perspektiven der Soziologie des Körpers und des Sports, Bielefeld: Transcript-Verlag, S. 9-53, 2006.
- [Gyr18] GyroGear: Let us assist you. <http://gyrogear.co/let-us-assist-you>, 2018 (Zugegriffen 28.02.2018).
- [Hen00] A. Hendrich und G. Hölig: Sport und Morbus Parkinson – Grenzen und Möglichkeiten. In: H. Przuntek und T. Müller (Hrsg.): Adjuvante nichtmedikamentöse Therapieansätze bei Morbus Parkinson, Darmstadt: Steinkopff-Verlag, S. 57-64, 2000.
- [Kak18] A. K. Kakkar, S. Harmanjit und M. Bikash: Old Wines in New Bottles: Repurposing Opportunities for Parkinson's Disease. In: European Journal of Pharmacology, 830, S. 115-127, 2018.
- [Kar15] A. Karafillidis und R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, S. 66-89, 2015.
- [Kar17] A. Karafillidis: Synchronisierung, Kopplung und Kontrolle in Netzwerken. Zur sozialen Form von Unterstützung und Assistenz. In: P. Biniok und E. Lettkemann (Hrsg.): Assistive Gesellschaft – Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“, Berlin: Springer VS, S. 27-57, 2017.
- [Kle18] S. Klebe: Therapie des Morbus Parkinson. In: Der Allgemeinarzt 8/2018, S. 40-42, 2018.
- [Lud07] E. Ludwig, R. Anneck, E. Löbring und I. Kretschmer: Der große TRIAS-Ratgeber Parkinson-Krankheit 2. Auflage. Stuttgart: TRIAS-Verlag, 2007.
- [Maa17] S. Maasen: Neuroprothesen, Neurofeedback, Neurogadgets. Zur Subjektivierung mit Neuro-Objekten. In: BEHEMOTH A Journal on Civilisation Volume 10 Issue No. 1, S. 154-170, 2017.
- [Maf17] M. Maffoni, A. Giardini, A. Pierobon, D. Ferrazzoli und G. Frazzitta: Stigma Experienced by Parkinson's Disease Patients: A Descriptive Review of Qualitative Studies. In: Parkinsons Disease, Volume 2017, S. 1-7, 2017.
- [Mas13] K. Masuhr, F. Masuhr und M. Neumann: Neurologie. Stuttgart: Thieme, 2013.

- [Med14] Medtronic: Tiefe Hirnstimulation bei Morbus Parkinson. Informationen für Patienten und Angehörige. <http://www.medtronic.com/content/dam/medtronic-com/de-de/patients/documents/dbs/NEU%20801106%20THS%20Parkinson%20Patientenbrosch%C3%BCre-14.04.14.pdf>, 2014, (Zugegriffen 26.02.2018).
- [Möl17] B. Möller und J. Reif: 3 Auswirkungen des Morbus Parkinson auf die Lebensqualität von Patienten und Angehörigen. In: A. Nebel, G. Deuschl, N. Lauer und D. Schre-Dern: Forum Logopädie: Dysarthrie und Dysphagie bei Morbus Parkinson, Stuttgart: Thieme Verlag, S. 39-54, 2017.
- [Mül09] S. Müller: Tiefe Hirnstimulation. In: S. Müller, A. Zaracko, D. Groß und D. Schmitz (Hrsg.): Chancen und Risiken der Neurowissenschaften, Berlin: Lehmanns Media, S. 63-73, 2009.
- [Oer12] W. Oertel, G. Deuschl und W. Poewe: Parkinson-Syndrome und andere Bewegungsstörungen. Stuttgart: Thieme-Verlag, 2012.
- [Ped13] D. J. Pedrosa und L. Timmermann: Review: management of Parkinson's disease. In: Neuropsychiatric Disease & Treatment Dove Medical Press Ltd., S. 321-340, 2013.
- [Rae05] J. Raethjen und J. Volkmann: Tremor. In: J. K. Kraus und J. Volkmann (Hrsg.): Tiefe Hirnstimulation, Steinkopff: Darmstadt, S. 171-205, 2005.
- [Ros13] N. Rose: Personalized Medicine: Promises, Problems and Perils of a New Paradigm for Healthcare. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences 77, S. 341-352, 2013.
- [Sch17a] T. Scheffer: Neue Materialismen, praxeologisch. In: BEHEMOTH A Journal on Civilisation Volume 10 Issue No. 1, S. 92-106, 2017.
- [Sch17b] R. Schützeichel: Emotion. In: R. Gugutzer, G. Klein und M. Meuser (Hrsg.): Handbuch Körpersoziologie, Band 1: Grundbegriffe und theoretische Perspektiven, Wiesbaden: Springer-Verlag, S. 21-26, 2017.
- [Sta16] S. Stadelbacher: Die körperliche Konstruktion des Sozialen. Zum Verhältnis von Körper, Wissen und Interaktion. Bielefeld: transcript Verlag, 2016.
- [Tel15] Telefónica Digital Trends: How the 'GyroGlove' could help millions | The Trailblazers. <https://www.youtube.com/watch?v=f10-g8qzMug&feature=youtu.be&t=1m50s>, 2015, (Zugegriffen 05.01.2018).
- [Til06] C. Tilly: Why? What happens when people give reasons... and why. Princeton/Oxford: Princeton University Press, 2006.
- [Thü02] R. Thümler: Morbus Parkinson. Ein Leitfaden für Klinik und Praxis. Berlin/Heidelberg/New York/Barcelona/Hongkong/London/Mailand/Paris/Tokio: Springer-Verlag, 2002.
- [Tut12] R. Tutton: Personalizing medicine: Futures present and past. In: Social Science & Medicine 75, S. 1721-1728, 2012.
- [Van93] H. van Lente: Promising Technology: The Dynamics of Expectations in Technological Developments. Delft: Eburon, 1993.
- [Van98] H. van Lente und Arie Rip: Expectations in Technological Developments: An Example of Prospective Structures to be in Filled in by Agency. In: C. Disco und B. van der Meulen (Hrsg.): Getting New Technologies Together: Studies in Making Sociotechnical Order, Berlin: de Gruyter, S. 203-229, 1998.
- [Weh16] M. Wehling, H. Burkhardt, S. Schwarz, L. Frölich und U. Wedding: M. Parkinson. In: M. Wehling und H. Burkhardt (Hrsg.): Arzneitherapie für Ältere, 4. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, S. 158-168, 2016.

Towards a Companion System Incorporating Human Planning Behavior

A Qualitative Analysis of Human Strategies

B. Leichtmann¹, P. Bercher², D. Höller², G. Behnke²,
S. Biundo², V. Nitsch¹ und M. Baumann³

¹ Institute of Industrial Engineering and Ergonomics, RWTH Aachen University
b.leichtmann@iaw.rwth-aachen.de, v.nitsch@iaw.rwth-aachen.de

² Institute of Artificial Intelligence, Ulm University
pascal.bercher@uni-ulm.de, daniel.hoeller@uni-ulm.de, gregor.behnke@uni-ulm.de,
susanne.biundo@uni-ulm.de

³ Human Factors Department, Ulm University
martin.baumann@uni-ulm.de

Abstract

User-friendly *Companion Systems* require Artificial Intelligence planning to take into account human planning behavior. We conducted a qualitative exploratory study of human planning in a knowledge rich, real-world scenario. Participants were tasked with setting up a home theater. The effect of strategy knowledge on problem solving was investigated by comparing the performance of two groups: one group (n = 23) with strategy instructions for problemsolving and a control group without such instructions (n = 16). We inductively identify behavioral patterns for human strategy use through Markov matrices. Based on the results, we derive implications for the design of planning-based assistance systems.

Kurzzusammenfassung

Zur Berücksichtigung menschlichen Planungsverhaltens in Companion Systemen – eine qualitative Analyse menschlicher Planungsstrategien

In nutzerfreundlichen *Companion Systemen* muss die Künstliche Intelligenz in ihrer Planung auch menschliches Verhalten berücksichtigen. Daher untersuchten wir in einer qualitativen Studie explorativ menschliches Planungsverhalten in einer wissensreichen, realistischen Anwendungsdomäne. In einem Experiment sollten die Teilnehmenden eine Heimkinoanlage aufbauen. Dabei wurde der Effekt des Strategiewissens auf Problemlöseverhalten über zwei Gruppen untersucht: Eine Gruppe mit Instruktionen einer Problemlösestrategie (n = 23) und eine Gruppe ohne (n = 16). Durch Induktion wurden aus Markovnetzen Muster im menschlichen Planungsverhalten identifiziert und entsprechend Implikationen für die Gestaltung von planbasierten Assistenzsystemen abgeleitet.

Keywords

ill-defined problem solving, human-computer interaction, plan linearization, planning

1 Assisting Humans in Action Planning

Digital personal assistants become more and more present in today's society. There is a wide range of such systems, e.g. personal as-

sistants running on smartphones or control engines for smart homes. But most everyday technical devices give us support that still needs to be adopted or transferred to the current situation at hand. *Companion Technology*

aims at utilizing cognitive technical systems that assist its users in an individualized and user- and situation-adaptive way [Biu16b]. At the heart of many *Companion Systems* is Artificial Intelligence (AI) planning [Biu16a]. It allows to reason about complex courses of action, i.e. what actions need to be applied in which order to achieve a certain goal.

When assisting humans in action planning based on AI planning technology, several challenges arise: Which planning decisions should be made by the user and which ones by the AI planning component, and in what order should alternative options be presented? The knowledge about human planning behavior might thus help the system in circumventing misunderstandings with human users by establishing a common understanding of the problem and its solution. After a plan has been generated, i.e., a set of actions that achieves the user's goals, there are usually several orderings (also called *linearizations*) of the actions that can be applied. These are generated explicitly when using Partial-Order Causal-Link (POCL) planners; when using state-based planners, they can be easily obtained via post-processing. Some of the linearizations may be more intuitive for humans than others; and a most suitable order in which they are presented has to be found. While there has been done ample research on human planning behavior (see e.g. Morris and Ward [Mor05], the integration of psychological findings with AI planning for automatic decision support has not received much attention. In order to address the research gap, we have conducted an exploratory study of human planning behavior in a knowledge-rich, ill-defined real-world scenario as a first attempt. The aim of our research was to show a difference in strategy use across available instructions as a manipulation of information availability or existing knowledge. We investigated behavioral patterns of planning strategies which might serve as cues indicating the reasoner's mental representation of the plan through inductive qualitative analysis of transition diagrams. With our findings we aim to provide support

for the decision-making processes of *Companion Systems* with psychological insights and, thereby, to improve their overall functionality and usefulness.

In the following section, we provide an overview of related psychological perspectives as well as AI concepts, before describing the experimental study and its results. We close with a discussion of our findings with respect to psychological planning research and implications for AI planning technology.

2 Planning in Psychology and AI

2.1 Human Planning Behavior

According to Mumford et al. [Mum01] planning is a mental simulation of single actions in a dynamic environment, which is a goal-driven and resource-intensive activity. In order to reduce costs, humans use heuristics to overcome limitations in working memory capacity or the lack of knowledge in long-term memory. This is especially the case when the problem is ill-defined with an unknown problem space and a dynamic and uncertain environment as found in real-world settings.

In studies with well-defined or well-structured puzzle problems [Dav05], where the initial state, the goal state, and operators (= rules how moves can be made) are given, models have been proposed suggesting that problem-solving takes place in a rational, systematic, top-down manner. For well-defined problem spaces, heuristics such as hill-climbing or means-end analysis are used including a systematic solution search. With such strategies, the difference between the current state and a goal state is assessed and operators are used that minimize that difference.

In ill-defined real-world tasks, parameters such as the final goal state or some operators may not be known and planning behavior is thus different from the systematic approach to well-defined problems. In many real-world, knowledge-rich tasks, human planning was found to be mostly of opportunistic nature [Hay79] or in other words bottom-up. That means that plans are continuously changed and evolve as environmental cues trigger op-

portunities for plan refinement. Human planning occurs in partial order and non-hierarchically online during task implementation (= concurrent planning). Planning steps are continuously formulated as the solution evolves [Dav05]. In ill-defined problems, only little is known about the problem space, which makes the above mentioned process of difference evaluation such as means-end analysis difficult [Orm05]. Ormerod [Orm05] gives an overview of several human strategies. The usage depends highly on the task type, the task complexity, and the level of expertise of the problem solver.

Most strategies share an approach similar to means-end analysis, where a goal is decomposed into smaller subgoals until a known operator is applicable, but not in a purely systematic manner. Humans formulate partial plans, but environmental cues might trigger a reevaluation of the plan resulting in changing the plan opportunistically. The planning behavior is thus rather non-hierarchical, especially when confronted with ill-defined problems.

Therefore, planning can include structured or unstructured (= opportunistic) aspects. For "creative" problem tasks with no single best outcome, Ormerod [Orm05] proposes a mixed strategy. An example of such a "creative" problem may be the design of a novel educational task [Orm05] or planning a dinner [Beh17]: Several courses have to be matched and constraints such as allergies have to be considered, but there is no single best outcome.

2.2 Mixed-Initiative AI Planning

AI planning is concerned with finding so-called *plans* to solve a given *planning problem*, i.e., to find a (maybe partially ordered) sequence of actions that transforms an initial world state into a state that satisfies all goals, which are specified in the problem description. These goals do not need to describe a complete world state. Consider a problem where a user wants to set up a home theater consisting of various HiFi devices by means of several cables and adapters. Here, the goals do not need to mention which cables are

plugged into which devices; instead, the planning goals only specify the signals required by the respective devices. In fact, there are various possibilities which cables will be used and where - and the planner will find one solution on its own. Usually, planning systems do this without a user taking part in this selection process. In contrast, in mixed-initiative planning (MIP), the planning process is done collaboratively with the user and certain decisions are taken by her or him [All96, Bur96].

There are various challenges yet unsolved in MIP [Smi12, Beh17]. One of them is deciding in which situations the planner should take initiative (i.e., solve the problem, or parts of it, fully autonomously), and in which ones the user should do so by her- or himself.

After a planning problem has been solved, i.e., the steps that need to be carried out to reach the user's goals are known, the respective solution is usually communicated to the user step by step to be carried out by her or him [Ber17].

In previous work [Höl14], we proposed techniques to find user-friendly plan linearizations, i.e., we try to find the most appropriate order in which the plan's actions are communicated to the user. Our strategies are based on a POCL plan - a partially ordered plan incorporating causal links, i.e., annotations that explicitly state which action fulfills the preconditions (the conditions necessary to execute the action) of another action; the former is called the *producer*, the later the *consumer*. This plan linearization has nothing to do with *solving* the task, as *any* linearization of the solution's actions adhering the present constraints solves the problem. When using POCL planners, the result of the planning process is already in that representation. When using state-based planners, it can easily be obtained via post-processing in polynomial time. Some of the linearizations might be more intuitive than others to human users. We have developed various domain-independent strategies to prioritize the different possibilities in a way that deemed plausible [Höl14, Ber17], but that had not yet been evaluated in a study: Two of our strategies are based on information

present in any POCL plan: The first one is based on the structure of causal links. It finds a linearization ensuring that the producer and the consumer of a causal link are close together. Consider our home theater domain: When the action of *open the case* of a DVD fulfills a precondition of *taking* the DVD, they should be close to each other in the plan (though from a technical view, one could re-assemble the whole home theater in the meantime). The second strategy exploits the fact that most planning models are given in a lifted fashion (though planning is often done grounded). As a consequence, a plan has parametrized actions, e.g., $\langle \text{openCase}(\text{dvd1}), \text{take}(\text{dvd1}), \text{putInto}(\text{dvd1}, \text{player1}) \rangle$. We use this representation to group actions that include the same constants. $\backslash \text{label}\{\text{linConstants}\}$ Our third strategy is applicable when planning in a hierarchical way, i.e., decomposing an abstract overall task into subtasks until an executable plan is found. Here, actions that are introduced by the same decomposition step are grouped together since they contribute to the achievement of the same task at a more abstract layer.

Closely related is also the task of generating so-called plan explanations [See12, Ber17]. Instead of only presenting a plan's actions to the user, additional explanations about the respective steps can also convey the purpose of that step. That is, it is not just shown *what* needs to be done by the user, but *why* this should be done. So far, these explanations are only provided upon user request. Providing such explanations pro-actively might be one way to establish a common ground.

3 Qualitative Pilot Study

In our exploratory study we took the home theater setup task proposed by Bercher et al. [Ber14, Ber15] as a real-world scenario and analyzed human planning strategies. We used a between-subject design with two groups varying in strategical background knowledge. One group received further instructions about a useful strategy and one group got no such instructions. Differences in planning behavior

were analyzed as dependent variable qualitatively through observations of the order of actions. We expected to find more strategy use in the instruction group compared to the no-instruction group in all scenarios. Therefore we expected to find cues of opportunistic behavior rather than any use of the proposed strategies as systematic behavior in the non-instruction group.

3.1 Methods

3.1.1 Research Design

In our experiment, experience was manipulated as independent variable with two groups (between-factor), with one group receiving instructions on a successful problem solving strategy (experimental group; description below) and the other group receiving no such instructions (control group). To increase reliability the task was presented to each participant in three different scenarios. Problem solving success was assessed as dependent variable. Furthermore, domain knowledge, working memory capacity, need for cognition, and technology commitment were assessed as control variables.

3.1.2 Task: Setting Up a Home Theater

We have chosen the task of setting up a home theater as proposed by Bercher et al. [Ber14, Ber15] because of the knowledge-rich and realistic nature and because an AI planning-based assistant was available for that task. For this task, different technical devices have to be connected so that every HiFi component receives the required audio/video signals. For example, the television has to receive the video signals of a blu-ray player and a satellite receiver, and the audio/video receiver has to receive the respective audio signals. For the connections, several cables and adapters are available with different characteristics. For instance, not all of the cables transfer the same signal types or can be used for every device. The advantage of choosing this task compared to others is the possibility of systematically varying the difficulty by varying the availability of different cables.

The task was carried out in a virtual desktop environment where devices and cables could be moved, connected, and disconnected via mouse input. An example of the task is pictured in Fig. 1.

3.1.3 Measurements

Because the described setup task is a knowledge-rich task, domain knowledge of participants was assessed. For this purpose, a performance test had been developed and pre-tested in a pilot run with 29 participants.

One such question was *What signal(s) is/are transmitted by a HDMI cable?* with possible answers *a. video only, b. audio only, c. both audio and video, and d. there are different HDMI types with different signal transmissions.*

In addition, two other methods measuring domain experience other than domain-specific knowledge were used, namely a self-report with 4 items

(e.g., *How would you estimate your practical skills in setting up a home theater?*);

and a retrospective questionnaire, also with 4 items (e.g., *How often have you set up a sound system in a room?*).

Furthermore, other cognitive and personality constructs were assessed (working memory capacity, need for cognition and technology commitment), but analyses and results are not reported here. All items were phrased in German and can be obtained from the authors upon request.

3.1.4 Participants

In total $N = 39$ German-speaking psychology, biology, and medical students of Ulm University participated in the experiment. 26 identified themselves as female, 13 as male, and no person as any other gender. The age ranged from 18 to 49 years with an average of $M = 25.1$ ($SD = 5.3$). The participants were split into groups with 23 being in the experimental group with strategy instructions and 16 being in the control group with no instructions.

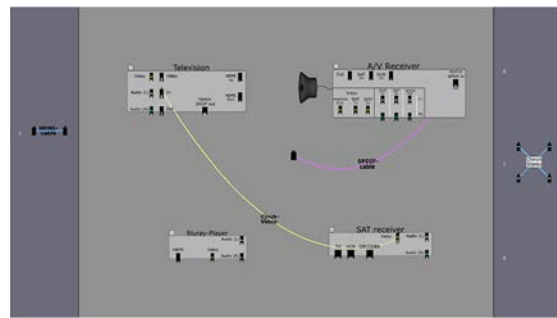


Figure 1: Task “Setting Up A Home Theater” in a virtual desktop environment showing scenario C of the experiment.

The participant already made connections

3.1.5 Procedure

In the experiment, both groups started with a session of filling out the questionnaires and performing the cognitive tests mentioned above. Afterwards, both groups received written instructions about the task and overview sheets about the cables and devices. Participants had access to these instructions and overviews throughout the experiment. Also, after reading the material, participants were able to ask questions in case of misunderstandings, followed by test scenario as a training. Subsequently, the experimental group received further information on a useful strategy. They were instructed to follow the signal flow beginning from the source devices (blu-ray player, satellite receiver) to the output devices (television, audio/video receiver). For example following this instruction a participant can transfer the video signal by plugging in a video cinch cable at the respective port of the satellite receiver first and then at the television afterwards. The control group received no further strategy instructions and continued directly with the main task. It was carried out by both groups and consisted of three different scenarios (*A, B, C*) varying in cable availability. Fig. 1 shows scenario C. In the other scenarios signals had to be transferred with other sets of cables or adapters and thus other solutions, but the devices and signal types stayed the same.

3.2 Results

For the statistical data analysis, the statistic software R [Dev12] was used. For the exploratory analysis of planning behavior, sequence analyses were performed using the “markovchain” package [Spe17].

3.2.1 Descriptive Results

In Table 1 the percentage of users solving the scenarios can be found for every scenario of the task, separately for each group or in sum. It shows that participants in the instruction group seem to perform better in every task, although because of the small sample size and thus low statistical power, statistical inference does not seem legit and this observation needs to be interpreted with caution. It can also be seen that scenarios seem to vary in difficulty. The newly developed knowledge test with 6 items in total had a mean difficulty of $M = .45$ ($SD = .29$). 4 of these items were close to the chance level ($\leq .29$) and 2 items showed a low difficulty above $\geq .79$. Participants were found to recognize an HDMI cable and knew its functions, but had no or very low knowledge about other cables (S/PDIF) or devices (blu-ray player). Also 64% of the participants rated their ability to set up a home theater as “very low“, “low“, and “rather low“.

In the retrospective questionnaire 59% of the participants reported that they had never set up a home theater.

In sum data suggests that participants are rather novices than experts in the domain of setting up a home theater.

Table 1: Percentage of correctly solved tasks for each group and scenario

Group	Scenario		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Instruction Group	.61	.48	.78
Control Group	.31	.25	.50
Sum	.49	.38	.67

3.2.2 Strategy Usage

The actual planning behavior and the usage of potential strategies were investigated through qualitative log file analysis. All actions (connections and disconnections of cables) were automatically saved by the computer while the participants were solving the problem in the virtual environment. For qualitative sequence analysis, Markov models were calculated indicating the probability with which one action followed another during the tasks. Markov chains are examples of stochastic processes referring to a sequence of random variables $X_0, X_1, X_2, \dots$ evolving over time (X_n with a discrete state at time n) and the assumption that the future state is solely conditional on the current state and independent of the history of past events. The transition probability from state i to state j is q_{ij} with $(P(X_{n+1} = j \mid X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1} = i_{n-2}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = j \mid X_n = i) = q_{ij}$. To analyze which actions were taken after another, transition probabilities were calculated for each experimental group separately and for each scenario *A*, *B*, and *C*. The transition probabilities were calculated for every action (what cable was connected with which device?), for the devices (which device was used after another?), and cables (which cable was used after another?).

The main results are reported in the following.

For the devices, it was found that participants in the experimental group started with devices defined as source devices (blu-ray player or satellite receiver) with a higher probability ($q = .74$) than output devices (television and audio/video receiver; $q = .26$) in scenario *A*. This was also true for scenario *B* ($q = .87$ for starting with a source device compared to $q = .13$ for starting with an output device). In scenario *C* the percentage was still higher for using source devices first, but was closer to the chance level ($q = .50$) and the distribution looks more balanced than in the other scenarios ($q = .61$ for using a source device first compared to $q = .39$ for using an output device first). Participants in the control group, however, did not start the problem solving with a particular source device - the probabilities are

more balanced (cf. Table 2).

The transition probabilities for cable use show higher values for reusing the same cable again than using another one for most cables. E.g., the state diagram of the experimental group of scenario *C* is shown in Fig. 2. The probabilities for cable reuse are about $q \approx .5$ - even for the cinch stereo cable because “Cinch Stereo Red” and “Cinch Stereo White” only describe the differently colored cable parts of the same cable and thus the transitions between these parts $q = .45$ and $q = .67$ describe the reuse of the same cable as well.

Table 2: Transition probabilities for participants using a certain device as a first action. Probabilities q_{ij} for $X_n = i \equiv$ start state and $X_{n+1} = j \equiv$ device usage; in cells transition probabilities for the experimental group/control group are shown in comparison

Device	Scenario		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Blue-ray player	.44/.38	.35/.31	.22/.19
Satellite rec.	.30/.06	.52/.19	.39/.12
Television	.04/.31	.04/.38	.17/.38
A/V receiver	.22/.25	.09/.13	.22/.31

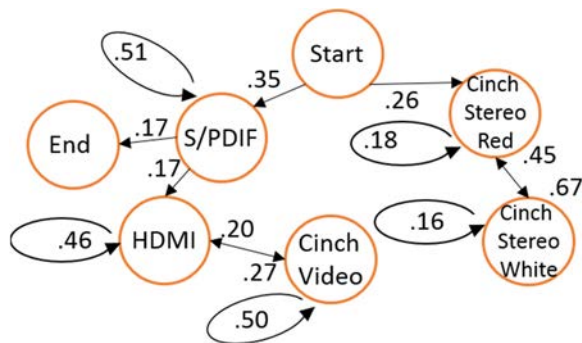


Figure 2: State diagram of cable usage in scenario *C*. The cables are depicted as states and the transitions as arrows with the probabilities attached. Only transition probabilities $q \geq .16$ are shown

Furthermore, the cable that the participants used most after the start state was the HDMI and Cinch Video Cable in scenario *A* and *B* for

both groups (except in scenario *B*, where for the experimental group the Cinch Stereo was used most with $q < .22$) with a transition probability higher than $q < .25$ besides others. These were the same cables the participants already knew from the training scenario or even from existing domain knowledge (as 85% of the participants already knew the HDMI cable according to the knowledge test). Other (unknown) cables had not been used after the start state with a probability higher than $q < .15$. This is not true for scenario *C*, where in both groups the S/PDIF cable was used by $q = .35$ in the experimental group and by $q = .44$ in the control group. But this cable was known from scenario *A*. Furthermore, this cable was very easy to handle because it fitted only in two slots in the entire task (and thus only one connection is possible) whereas other cables could be used at different slots (and therefore different connections are imaginable). According to the knowledge test, only 23% of the participants knew the S/PDIF cable before the experiment and thus it was not used directly after the start state (only $q = .19$ in the control and only $q = .13$ in the experimental group) in scenario *A*, where it was introduced the first time

4 Discussion

In our study, we analyzed human planning behavior in an exploratory manner in order to derive implications for an AI planning system and to specify further research need.

4.1 Experimental Findings and Limitations

The descriptive results suggest that the participants in our experiments were rather novices and had limited knowledge of the task domain. The knowledge test showed high difficulty. The self-report and the retrospective questionnaire indicated that conclusion, too.

In the analysis of the transition probabilities it was found that people tend to reuse a cable with a higher probability than using another cable. They seem to decompose problems thus cable-wise instead of device-wise because the reuse of the same device was not found to be

more probable than the usage of another device. Thus it was possible to identify a favored parameter of decomposition above others in this specific task. Furthermore, we found indicators of the influence of instruction on problem-solving behavior. First of all, a difference between the two groups could be observed. The group with the strategy instructions tended to start at source devices first compared to the control group with no strategy instructions, where device usage was more balanced. Another indicator of the influence of domain-specific knowledge was the observation that humans tended to use already known cables first before the usage of new cables. For example, in the first test scenario, the HDMI cable was used first in many cases, which was already known by most participants as the knowledge test showed. In the last scenario, the S/PDIF cable was used in many cases at the beginning, which most participants did not know before the experiment, but got familiar with through another scenario they solved before. This finding points to the opportunistic manner of human problem solving [Hay79] in knowledge-rich problem domains.

These results are certainly not applicable to other types of problems such as “creative” tasks [Orm05].

As in every experiment, there are limitations of this study, which should be taken into account in the interpretation of the results. First, the sample was homogeneous as all the participants were students and technological laypersons. Therefore, the knowledge test was also found to be too difficult and had low selectivity. Second, the sample size was small resulting in low robustness of results. Hence, the results have to be interpreted with caution. Third, the scenarios were presented in fixed order. So it is not clear if differences in human behavior or outputs between scenarios were due to differences in the scenario characteristics such as complexity, or due to order effects. Fourth, because of the exploratory nature of this study, the results are data-driven and consequently of inductive nature with post-hoc explanations of behavior rather than a strictly deductive test of a priori hypotheses.

Fifth, we decided to study problem-solving in ill-defined domains and choose a specific task with a specific domain, thus generalization of these results to other domains is limited. The abstract principles need to be shown across other tasks and domains and integrated in a model of planning for deeper understanding of mechanisms.

4.2 Implications for AI Planning

In our experiment, we have observed that the participants tended to use known cables before trying different solutions. This planning behavior can be exploited in several ways. When a MIP system assists the user in solving a subproblem by presenting a set of possible solutions for it and letting the user choose, our finding can be exploited by ranking the different options, by grouping them together, or even by excluding certain options. Such strategies are especially important in case there are many options to be presented to the user, because, up to now, there are no empirically justified strategies that address the issue of presenting the available options to a user. In case the planner solves a subproblem on its own, it seems reasonable to prefer those solutions that are known to the user. That is, the planner regards solutions containing subsolutions known to the user of higher quality compared to solutions without that property. This implies that a different quality metric is optimized compared to standard planning metrics such as number of actions. Finally, in situations where the planner chooses a solution to a subproblem that is *not* known to the user although a known one might seem applicable, the system could explain why the known solutions have not been selected or are not possible. Consider the case where the planner first connects two devices with a cable known to the user, say HDMI, and then, for connecting the next two devices, it does *not* choose the other HDMI cable although this had technically been possible. Then the system could offer an explanation stating why a different cable was chosen instead of another one of the same sort. A possible reason might be that there is only one HDMI cable remaining that

has to be used somewhere else due to missing alternatives there.

The causal dependencies in the given problem allow for a wide range of possible plan linearizations, i.e. even when committing to one specific set of actions to solve the problem, there are many possibilities of how to order them. Based on the planning behavior observed in our study, we can first judge whether one of our linearization strategies given in Section 2.2 can actually be used to generate linearizations that are intuitive for human users, i.e. that adhere their expectations.

Especially Strategy 2.2 (based on *constant similarity*) seems promising: It leads to linearizations where actions including similar constants are ordered close to each other (where constants are the formal representation of objects such as cables). This enables a cable-wise completion of the overall task and thus reproduces the strategy observed in the experiments, i.e. it is possible to mime the human planning behavior. This enables an expectation-conforming system behavior and thus improves the system's general user-friendliness.

5 Outlook

In our experiment, we focused on planning behavior of non-creative nature. However, planning seems to be different in other domains

with other characteristics [Orm05]. For example, planning behavior in more creative tasks such as planning a dinner [Beh17] could be investigated and compared. In our study, planning was analyzed without the interaction with an AI planning system. Therefore, AI systems need to be implemented and the implications evaluated. In addition, further research should be conducted to investigate under which circumstances and in which form explanations by an AI planner are needed or requested by a human when collaboratively solving a problem with a companion system. Furthermore, our approach was restricted and contextual aspects as well as multi-user situations had not been considered. These factors make the whole task more complex and dynamic. In a next step these factors should also be addressed in order to be even more realistic.

Acknowledgements

We acknowledge the support of the Transregional Collaborative Research Center SFB/TRR 62 “A Companion-Technology for Cognitive Technical Systems” funded by the German Research Foundation (DFG) and the support by the Bavarian Research Foundation.

Literature

- [All96] J. F. Allen, G. Ferguson and L. K. Schubert: Planning in Complex Worlds via Mixed-Initiative Interaction. In: Advanced Planning Technology: Technological Achievements of the ARPA/Rome Laboratory Planning Initiative. AAAI Press, pp. 53-60, 1996.
- [Beh17] G. Behnke, B. Leichtmann, P. Bercher, D. Höller, V. Nitsch, M. Baumann and S. Biundo: Help me make a dinner! Challenges when assisting humans in action planning. In: Proc. of the 2nd Int. Conf. on Companion Technology (ICCT). IEEE, 2017.
- [Ber14] P. Bercher, S. Biundo, T. Geier, T. Hörnle, F. Nothdurft, F. Richter and B. Schattensberg: Plan, Repair, Execute, Explain – How Planning Helps to Assemble your Home Theater”. In: Proc. of ICAPS. AAAI Press, pp. 386-394, 2014.
- [Ber17] P. Bercher, D. Höller, G. Behnke and S. Biundo: User-Centered Planning”. In: Companion Technology – A Paradigm Shift in HumanTechnology Interaction. Ed. by Susanne Biundo and Andreas Wendemuth. Cognitive Technologies. Springer, Chap. 5, pp. 79-100. DOI: 10.1007/978-3-319-43665-4_5, 2017.

- [Ber15] P. Bercher, F. Richter, T. Hörnle, T. Geier, D. Höller, G. Behnke, F. Nothdurft, F. Honold, W. Minker, M. Weber and S. Biundo: A Planning-based Assistance System for Setting Up a Home Theater. In: Proc. of the 29th AAAI Conf. on AI (AAAI). AAAI Press, pp. 4264-4265, 2015.
- [Biu16a] S. Biundo, D. Höller, B. Schattenberg and P. Bercher: “Companion-Technology: An Overview. In: Künstliche Intelligenz 30.1, pp. 11-20, DOI: 10.1007/s13218-015-0419-3, 2016.
- [Biu16b] S. Biundo and A. Wendemuth: Companion-Technology for Cognitive Technical Systems. In: Künstliche Intelligenz 30.1, pp. 71-75. DOI: 10.1007/s13218-015-0414-8, 2016.
- [Bur96] M. H. Burstein, B. Beranek, N. Inc and D. V. McDermott: Issues in the development of human-computer mixed-initiative planning. In: Cognitive Technology. Elsevier, pp. 285-303, 1996.
- [Dav05] S. P. Davies: Planning and problem solving in well-defined domains. In: The cognitive psychology of planning. Ed. by Robin Morris and Geoff Ward. Psychology Press, Chap. 2, pp. 35-51, 2005.
- [Dev12] Development Core Team of R. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2012.
- [Hay79] B. Hayes-Roth and F. Hayes-Roth: A cognitive model of planning. In: Cognitive Science 3.4, pp. 275-310, 1979.
- [Höl14] D. Höller, P. Bercher, F. Richter, M. Schiller, T. Geier and S. Biundo: Finding User-friendly Linearizations of Partially Ordered Plans. In: 28th PuK Workshop ”Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen”, 2014.
- [Mor05] R. Morris and G. Ward (eds.): The cognitive psychology of planning. Psychology Press, 2005.
- [Mum01] M. D. Mumford, R. A. Schultz and J. R. van Doorn: Performance in planning: Processes, requirements, and errors. In: Review of General Psychology 5.3, pp. 213-240, 2001.
- [Orm05] T. C. Ormerod: Planning and ill-defined problems. In: The cognitive psychology of planning. Ed. by Robin Morris and Geoff Ward. Psychology Press, Chap. 3, pp. 53-70, 2005.
- [See12] B. Seegebarth, F. Müller, B. Schattenberg and S. Biundo: Making Hybrid Plans More Clear to Human Users – A Formal Approach for Generating Sound Explanations”. In: Proc. of ICAPS. AAAI Press, pp. 225-233, 2012.
- [Smi12] D. E. Smith: Planning as an Iterative Process. In: Proc. of AAAI. AAAI Press, pp. 2180-2185, 2012.
- [Spe17] G. A. Spedicato: Discrete Time Markov Chains with R. In: The R Journal. R package version 0.6.9.7. URL: <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-036/index.html>, 2017.

Konfigurierung des Alter(n)s: Instanzen der Konstruktion von „älteren Nutzer*innen“ in der Gestaltung von Assistenzsystemen

A. Bischof¹ und J. Jarke²

¹ Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik
andreas.bischof@informatik.tu-chemnitz.de

² ifib / ZeMKI Universität Bremen
jjarke@ifib.de

Kurzzusammenfassung

Alter und Altern sind zu einem der wichtigsten Themen für die Gestaltung und Entwicklung von Assistenzsystemen geworden. Eine Vielzahl von Prototypen, Produkten und Projekten befasst sich mit älteren Nutzerinnen und Nutzern und ihren (vermeintlichen) Bedürfnissen. Allerdings leiden die meisten dieser Bemühungen unter einem Mangel an empirischer Fundierung ihrer Konzepte des Alterns. Der Beitrag konzeptioniert diese einseitige Zuschreibung von Hilfsbedürftigkeit in der Figur des „Konfigurierens“ von Alter und Altern. Davon ausgehend werden vier sensible Instanzen der Entwicklung und Gestaltung von Assistenzsystemen identifiziert und adressiert. Abschließend plädieren wir für eine partizipative Einbindung älterer Nutzerinnen und Nutzer schon in die Definition des Problems und der Erhebung von Assistenz-Anforderungen für Assistenzsysteme.

Abstract

Configuring Ageing: Instances of the construction of "older users" in the design of assistance systems

Age and aging have become one of the most important topics for the design and development of assistance systems. A large number of prototypes, products and projects deal with older users and their (supposed) needs. However, most of these efforts suffer from a lack of empirical foundation of their concepts of ageing. The contribution conceptualizes this one-sided attribution of neediness in the figure of "configuring" age and aging. On this basis, four sensitive instances of the development and design of assistance systems are identified and addressed. Finally, we plead for a participatory integration of older users already in the definition of the problem and the collection of assistance requirements for assistance systems.

Keywords

Alter, Altern, Konfigurieren, Partizipation, Soziogerontologie

1 Einleitung

Ein Großteil der Forschung und Entwicklung zu Assistenzsystemen konzentriert sich auf die Hilfsbedürftigkeit älterer Menschen. Dies liegt nicht unwesentlich daran, dass die EU und nationale Förderprogramme den so genannten „demographischen Wandel“ zu einer der Hauptherausforderungen für die Erforschung und Entwicklung von Assistenzsystemen definiert haben.

Trotz der gesteigerten finanziellen und medialen Aufmerksamkeit für diesen Bereich sind Assistenzsysteme für ältere Menschen immer noch Nischenprodukte, und es gibt nur sehr wenige Erfolgsgeschichten tatsächlich realisierter Systeme. Die Ursache dafür ist, dass nach wie vor viele Arbeiten technologiegetrieben sind und ihren Ausgangspunkt nicht in der Lebenswirklichkeit älterer Nutzerinnen und

Nutzer nehmen. Das Problem technologiegetriebener Forschung, die in Labors stattfindet, besteht darin, dass ihre Legitimation und Evaluation durch einen Neuigkeits-Effekt bestimmt sind [Gre13]: Die Erfindung technologischer Innovationen wird höher bewertet als der tatsächliche Nachweis des sinnvollen Einsatzes. Wie eigene [Bis17] und andere Forschungen [Fit15] zeigen, haben die meisten Assistenz-Szenarien aus „Ambient Assisted Living“ (AAL) und verwandten Bereichen der Technikentwicklung nur eine geringe Relevanz in tatsächlichen Lebenswelten Älterer. Empirische Studien zur tatsächlichen Verwendung von Unterstützungssystemen im Kontext des Alter(n)s verweisen auf eine sehr viel komplexere Ausgangslage anstatt auf die Annahme, Bedürfnisse vorzufinden, die technisch gestillt werden können (siehe z.B. [Bro11, End16, Fit15, Fit11, Har11]). Besonders kritisiert wird die „post-hoc-Epistemologie“, eine technische Assistenzlösung zu setzen, bevor die tatsächlichen Bedürfnisse und Anforderungen empirisch untersucht werden [Kno81:57, Mei11:120]. Ein anschauliches Beispiel dafür ist die Anzahl der vorgeschlagenen Haushaltshilfenroboter, die ältere Menschen z.B. ein Glas Wasser bringen sollen [Bah03, Gra09, Sak02]. Weder wurden solche Butler-artigen Roboter außerhalb von Laboren bislang erfolgreich eingesetzt, noch belegt die Forschung die Bedeutung dieses Szenarios für ältere Menschen oder Pflegekräfte (siehe z.B. [Bed14, Bro09, For04]).

Wir wollen in diesem Beitrag zunächst zeigen, wie dieses „Überbehelfen“ von Assistenzbedürftigkeit gegenüber Älteren mit dem Begriff „Konfigurieren“ konzeptionell gerahmt werden kann (2.). Im nächsten Schritt zeigen wir sensible Momente in der Entwicklung von Assistenzsystemen auf, an denen solche Konfigurationen wirksam werden (3.). Abschließend plädieren wir anhand der vorgestellten Rahmung dafür, für solche sozio-materiellen Konfigurationen in der Entwicklung von Assistenzsystemen sensibel zu sein und sie durch die partizipative Einbindung von Nutzerinnen und Nutzern abzumildern (4.)

2 Konfigurierungen von Alter(n) in Technikentwicklung

Alter und Altern werden in Entwicklungsprojekten von Assistenzsystemen in der Regel als Problem verstanden, das mithilfe von Technologie gemanagt werden kann [Coz17:608]. Mit dieser wiederkehrenden Begründungsfigur geht ein ganzer Strauß an Annahmen über Alter und Altern einher, die die Konstrukteure und Konstrukteurinnen in die Gestaltung und Implementierung der Technik einbringen [Nev10:344]. Metastudien zu den konkreten Vorstellungen von Alter(n) in technischen Forschungscommunities bestätigen dieses Bild: Alter(n) wird als Defizit, als Abnahme von Fähigkeiten, verstanden [Vin15].

Wir wissen also, dass im Feld der Forschung zu und Entwicklung von Assistenzsystemen ein bestimmtes Bild von älteren Nutzerinnen und Nutzern vorherrscht. Wie aber lässt sich der Einfluss dieser Vorstellungen auf die resultierende Technik und die avisierten Nutzer verstehen? Ein konzeptioneller Vorschlag aus der Wissenschafts- und Technikforschung dafür ist das Konzept „Konfigurieren“.

Woolgar hat nach teilnehmenden Beobachtungen in Software-Entwicklungsprozessen den Begriff „user configuration“ geprägt [Woo90, Gri97], woran sich eine Reihe von Studien anschloss [Mac00, Oud04]. Als Konfiguration des Nutzers wurden Aktivitäten der Entwickler beschrieben, die die Nutzer*innen und Nutzungssituation repräsentieren und strukturieren: Durch den Entwicklungsauftrag oder spezifische Designmethoden (zum Beispiel das Erstellen von fiktiven Nutzern als Personas) werden sie als Zielgruppe mit Bedürfnissen definiert. Die für das Konfigurieren spezifische Vorformung der Nutzung entsteht zum Beispiel in der Formulierung von Bedienungsanleitungen oder der Gestaltung bestimmter Optionen, die konkrete Nutzungsformen und -gruppen adressieren und andere nicht. Als Folge dieser Entwürfe und ihrer Umsetzung wird das (Vor-)Verständnis von den Nutzern durch die Produzenten in der resultierenden Technik verkörpert. Diese Verkörperung schreibt die Nutzung zu einem Ge-

wissen grad vor ([Lat92, Akr92]) und konfrontiert die Nutzer mit einem (Vor-)Verständnis der Produzenten im Nutzungsvollzug: „By setting parameters for the users' actions, the evolving machine attempts to configure the user.“ [Gri97:71].

[Mac00] knüpfen für ethnografische Studien im Rahmen eines „Rapid Application Development“-Softwareprojekts an Woolgars Konzept an. Sie arbeiten dabei heraus, dass die Repräsentationen der Nutzer durch die Designer nicht einseitig wirksam sind. Vielmehr findet an der Schnittstelle im Nutzungsprozess eine Re-Konfigurierung statt, da die Nutzer*innen sich Software aktiv aneignen und ggf. im eigenen Sinne verwenden (vgl. [Sal12]). Außerdem werden auch Designer, zum Beispiel durch innerbetriebliche Vorgaben, konfiguriert. Zusammengefasst schlussfolgern sie, dass die Grenze zwischen Designer und Nutzer – und damit das machtförmige Verhältnis des Konfigurierens – nicht so eindeutig ist wie in der ursprünglichen Konzeption angelegt.

Andere empirische Studien wiederum finden Belege für sehr stark wirkmächtige, einseitige Nutzer-Repräsentationen in der Softwareentwicklung. [Oud04] untersuchten die Praktiken der Nutzerrepräsentation und -einbindung in europäischen Projekten zu „Virtual Cities“. Dabei identifizierten sie nicht nur makrostrukturelle Pfadabhängigkeiten der Entwicklungsprozesse durch die Forschungsförderung beziehungsweise die übergeordneten betriebswirtschaftlichen Entwicklungsziele. Sie konnten auch zeigen, dass diese Pfadabhängigkeiten auch den Prozess der Konfigurierung der Nutzer formten. Obwohl die Designer explizit das Ziel verfolgten, eine virtuelle Stadt ‚für alle‘ zu gestalten, wurden insbesondere durch die hohe Abhängigkeit von den rechentechnischen Verfahren nur wenige Versuche unternommen, die Bedürfnisse, Wünsche, Präferenzen und Kompetenzen der Nutzer zu erheben. Statt auf Designmethoden oder formalen Prozeduren griffen die Designer vielmehr auf ihre eigenen Präferenzen und Fähigkeiten als wesentliche Richtlinien der Entwicklung zurück.

Das Konzept „Konfigurieren“ und die daran anschließende Studie zur Entwicklung technischer Systeme zeigen, dass nutzerzentrierte Entwicklung nicht per se eine ‚Befreiung‘ der Gestalter von einer Auseinandersetzung mit ihren eigenen Vorstellungen und Annahmen zu avisierten Nutzungsgruppen bedeutet [Bis19]. Die Ergebnisse von Woolgar und anderen sensibilisieren dafür, dass deterministische Aspekte in den Produktentwicklungs-Entscheidungen wirksam sind. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Nutzerrepräsentationen gar nicht oder methodisch nur unzureichend erhoben werden, oder wenn aufgrund von Zeitdruck die Einbindung der Repräsentationen in den Entwicklungsprozess zurückgestellt wird. Kommt es stattdessen zur von [Oud04] beschriebenen Wahl der eigenen Präferenzen durch die Designer, lässt sich sogar von einer so genannten „I-Methodology“ sprechen [Akr92]: eine Praxis, in der sich die Designer selbst als Repräsentanten der Nutzer verstehen und vor allem auf persönliche Erfahrungen zurückgreifen.

3 Sensible Instanzen der Konfigurierung von Alter(n) in der Entwicklung von Assistenzsystemen

Anhand der bisherigen Auseinandersetzung mit den Konzepten aus der Wissenschafts- und Technikforschung sind bereits verschiedene Momente und Praktiken in Entwicklungsprojekten benannt worden, in denen pfadabhängige Konfigurierungen vorgenommen werden. Im Folgenden wollen wir auf vier dieser sensiblen Instanzen genauer eingehen.

1. Ziele der Projektförderung
2. Zeitregime von Projekten
3. Nutzerbilder/Selbstbilder der Nutzer*innen
4. Paradigma der Einbindung

Diese vier Instanzen determinieren nicht vollständig die spätere Nutzung, konfigurieren aber wesentliche Elemente dieser [Suc07]. Um eine Bewertung der Adäquanz eines As-

sistenzsystems vorzunehmen, würden sie allerdings nicht ausreichen: Die Deutungstransformationen und Aneignungspraktiken der Nutzerinnen und Nutzer können nicht aus diesen abgeleitet werden. Kurz gesagt, könnte auch eine nicht-adäquat gestaltete Technik gut angenommen werden und umgekehrt. Wesentlich für die Auswahl hier ist aber, dass die fünf Instanzen Dimensionen der Entwicklung von Assistenzsystemen betreffen, die Konstrukteure und Konstrukteurinnen aktiv gestalten können, wenn sie sich derer gewahr sind.

3.1 Ziele der Projektförderung

Förderprogramme zur Finanzierung von Erforschung und Entwicklung von Assistenzsystemen für ältere Menschen wie „Quality of Life“ in den U.S.A. oder „Ambient Assisted Living“ in Europa haben dieselbe diskursive Begründung: Der demografische Wandel als gesellschaftliche „Grand Challenge“, für die Technologie als Lösung erarbeitet werden soll [Big01]. Solche übergeordneten Ziele funktionieren als Regenschirmbegriff, unter dem sich durchaus unterschiedliche Forschungs- und Entwicklungsziele vereinen können [Rip90, Rip13]. Sie dienen also zunächst der Mobilisierung von Ressourcen und Initiierung von Forschung, anstatt ihren Ausgangspunkt in lebensweltlichen Problemen älterer Nutzerinnen und Nutzer zu nehmen.

Mit dieser eher losen Kopplung von übergeordneten Zielen und tatsächlichem Gegenstandsbereich geht eine Chance und eine Gefahr einher. Die Gefahr besteht darin, dass die häufig Defizit-orientierten Legitimationsdiskurse – Assistenz für Menschen entwickeln, die sich nicht ‚wehren‘ können – von den geförderten Projekten als Grundlage der Selbstverortung übernommen werden. Dann wird unter der Behauptung, lebensweltliche Probleme zu lösen, tatsächlich Grundlagenforschung betrieben, die sicherlich auch einen technischen Fortschritt bedeutet, für die Realität älterer Nutzerinnen und Nutzer aber keine Bedeutung hat. Die Chance besteht darin, dass die lose Kopplung diverse, und vor allem vom

Einzelfall ausgehende Projektziele ermöglicht. Statt universalisierenden Lösungen für ‚das‘ Pflegesystem sind auch Nischenlösungen für konkrete lebensweltliche Kontexte unter diesen Regenschirm-Begriffen förderbar.

3.2 Zeitregime von Projekten

Die Finanzierung von Forschung und Entwicklung erfordert eine angemessene zeitliche Planung des Unternehmens. Die Arbeit der Forscher und Entwickler ist zudem aufgrund des Endes der Förderperiode oder der Zeit für den Abschluss einer Qualifikation zeitlich streng begrenzt. Dies führt zu einem Paradoxon in der Planung: Projektleiter müssen oft einen Zeitrahmen vorgeben, bevor sie sich tatsächlich mit den Nutzungssituationen und Lebenswelten der angesprochenen Nutzer befassen. Obwohl viele Forscher und Designer dies durch Erfahrung, Überstunden oder die Flexibilisierung von Arbeitspaketen kompensieren, bleiben Struktur und Logik dieses expliziten Zeitrahmens funktionsfähig und prägen Entscheidungen. Dies betrifft insbesondere die Gewinnung einzelner Teilnehmer, Communities oder institutioneller Partner als Stakeholder. Darüber hinaus entspricht die Zeitskala der meisten Projektfinanzierungen nicht der „Eigenzeit“ [Glä04] der Schaffung von Vertrauen und sozialer Bindung in einer partizipativen Beziehung zu Menschen (z.B. [Led15]).

Wenn mit älteren Nutzerinnen und Nutzern sinnvoll zusammengearbeitet werden soll, muss diese Zeit also für das Zeitregime von projektförmiger Forschung und Entwicklung ausdrücklich berechnet und einkalkuliert sein.

3.3 Nutzerbilder/Selbstbilder der Nutzer

Die Definition der zukünftigen Nutzer*innen und ihrer Bedürfnisse ist eine besonders sensible Instanz. Wie bereits kurz angeführt wurde (vgl. 2.) zeigt sich für ältere Zielgruppen, dass die gängigen Nutzerbilder in Entwicklungsprojekten häufig negativ verzerrt sind. Vor allem werden ältere Menschen oftmals als eine homogene Gruppe konzipiert [Vin15], was besonders deutlich zeigt, dass in

den gängigen Nutzerbildern wenig Verständnis dafür vorherrscht, was es heißt, älter zu werden. (Wer würde schon auf die Idee kommen, allen 30- bis 45-Jährigen ähnliche Bedürfnisse nur aufgrund ihres chronologischen Alters zu unterstellen?) Diese Homogenisierung Älterer betrifft häufig Fähigkeiten, Fertigkeiten und Attribute in Bezug auf die Nutzung von Technologie. In der Sozialgerontologie wird jedoch davor gewarnt, solche Eigenschaften aus dem chronologischen Alter abzuleiten [Byt90, Byt95]. Eine Alternative zu dieser Konzeption sind sogenannte „lifespan“-Perspektiven, die das Alter(n) als lebenslangen Entwicklungsprozess – mit Fort- und Rückschritten – verstehen [Eri50, Bon93].

Ein wiederkehrendes Problem in der Arbeit mit älteren Nutzerinnen und Nutzern ist nämlich, dass diese solche negativen Konzeptionen des Alter(n)s auch in ihre Selbstbilder übernehmen und so zum Beispiel bei der Akquise zur Beteiligung an einem Forschungsprojekt ausschließen, dass sie geeignet seien, weil sie sich mit Technik nicht auskennen würden. Solche defizitären Selbstbilder sind nicht selten und sollten – wie dargestellt – aber nicht fälschlicherweise als Bestätigung homogenisierter Gruppenzuschreibungen gelesen werden, sondern vielmehr als diskursive Folge deren Prävalenz.

3.4 Paradigma der Einbindung

Die allermeisten Forschungs- und Entwicklungsprojekte finden mittlerweile in einer Rhetorik der Nutzereinbindung statt, was sehr begrüßenswert ist. Allerdings muss methodologisch genau unterschieden werden, welche Art und Qualität von Beteiligung tatsächlich stattfindet.

Grundlegend lässt sich zwischen nutzerzentrierter und partizipativer Gestaltung unterscheiden. Nutzerzentrierte Gestaltung behandelt die avisierten Zielgruppen als (Forschungs-)subjekte, die über Wissen und Praktiken verfügen, die für den Konstruktionsprozess wichtig sind. Die Nutzerinnen und Nutzer werden als Experten für ihre Lebenswirklichkeit befragt. Das ist methodisch wesentlich

sinnvoller, als eine „I-Methodology“, bei der Nutzerbedürfnisse aus Annahmen abgeleitet werden. Gleichzeitig ist in der Konfigurierung durch nutzerzentrierte Gestaltung auch ganz klar umrissen, dass die Teilnehmenden eher ‚Thema‘ der Forschung als Mitgestaltende sind. Es bleibt unklar, was mit den Ergebnissen der Befragungen genau geschieht und im Zweifelsfall können Designentscheidungen auch gegen die Meinung der Befragten getroffen werden.

Das Ziel der partizipativen Gestaltung geht darüber hinaus. Hier wird Kontrolle über Designentscheidungen und Wissen geteilt [Vin13, Bra16, Jar17b]. Dieses Co-Design bedeutet eine Reihe von grundlegenden Veränderungen des Gestaltungsprozesses: Es handelt sich nicht um eine zu einem beliebigen Zeitpunkt einsetzbare Methode, sondern um ein Paradigma, das den gesamten Prozess betrifft. So ist es in einem partizipativen Projekt nicht denkbar, dass der avisierte Nutzen des Assistenzsystems vorab, ohne Konsultation älterer Nutzerinnen und Nutzer, definiert wurde. Vielmehr müsste diesen die Gelegenheit gegeben werden, eigene Probleme (und Lösungen!) aus ihrer Erfahrung zu formulieren.

Dies geschieht in partizipativen Projekten häufig in vier Schritten: (1) *Problem verstehen*: Ausgehend von einem Problemfokus und einer Zielgruppe geht es zunächst darum, das Problem gemeinsam zu verstehen. Hierbei werden Möglichkeitsräume geöffnet und ein möglichst breites Verständnis des Problems geschaffen. (2) *Problem definieren*: In einem nächsten Schritt geht es darum, das Problem klar zu formulieren und zu definieren. Am Ende dieses ersten Zyklus steht eine gemeinsame Problemdefinition aller Beteiligten. (3) *Ideen entwickeln*: Ausgehend vom gemeinsamen Verständnis für ein Problem/einen Problembereich werden weitere Akteure in den Prozess einbezogen und gemeinsam Ideen für ein grobes Konzept entwickelt. Dies beinhaltet erstes Prototyping. Auch in dieser Phase geht es zunächst um die Öffnung der möglichen Umsetzungsoptionen. (4) *Prototyp um-*

setzen: In einem letzten Schritt wird ein detailliertes Konzept erarbeitet und der Prototyp durch Nutzertests final umgesetzt.

Wichtig ist in diesem Ansatz die Wahl geeigneter Methoden, da sich auch hier wieder bestimmte Machtverhältnisse reproduzieren. Wie auch in den anderen Instanzen ist es wichtig, über den Einsatz und die Performativität von Methoden zu reflektieren. Etwa, welche Art von partizipativen Methoden ältere Teilnehmer*innen in einem Paradigma des „aktiven Alterns“ rahmen und in gewisser Weise so auch die zukünftige Nutzung konfigurieren (z.B. [Jar17a]).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag konzeptionierte die einseitige Zuschreibung von Hilfsbedürftigkeit in der Entwicklung von Assistenzsystemen als „Konfigurieren“ von Alter und Altern. Davon ausge-

hend wurden vier sensible Instanzen der Entwicklung und Gestaltung identifiziert: die Ziele der Projektförderung, das Zeitregime von Projekten, die (Selbst-)Bilder der Nutzer*innen und das Paradigma deren Einbindung. Es konnte gezeigt werden, dass defizitäre sozio-materielle Konfigurationen von Alter(n) auch trotz guter Intentionen geschehen können. Wir plädieren daher abschließend nicht nur für eine erhöhte Reflexivität der Entwickler*innen und Gestalter*innen, sondern für die partizipative Einbindung älterer Nutzerinnen und Nutzer in der Definition des durch ein Assistenzsystem zu lösenden Problems. Diese Einbindung schon bei der Definition von Projektzielen ist ein wirkungsvolles Mittel, die möglichen Konfigurationen in folgenden Instanzen abzuschwächen bzw. in einer konkreten empirischen Basis der Interaktion mit potentiell Betroffenen zu verankern.

Literatur

- [Akr92] M. Akrich: The De-Description of Technical Objects. In: W. E. Bijker und J. Law (Eds.): *Shaping Technology / Building Society. Studies in Sociotechnical Change*, Cambridge: MIT Press, S. 205-224, 1992.
- [Bro11] S. Brownsell, D. Bradley, S. Blackburn, F. Cardinaux und M. Hawley: A systematic review of lifestyle monitoring technologies. In: *Journal of Telemedicine and Telecare*, 17(4), S. 185-189, 2011.
- [Bah03] S. Bahadori, A. Cesta, G. Grisetti, L. Iocchi, R. Leone, D. Nardi, A. Oddi, F. Pecora, und R. Rasconi: RoboCare: an Integrated Robotic System for the Domestic Care of the Elderly. In: *Proceedings of workshop on Ambient Intelligence AI* IA-03*, Pisa, Italy, 2003.
- [Bon93] J. Bond, P. Coleman und S. Peace: *Ageing in Society: An Introduction to Social Gerontology*. London: Sage, 1993.
- [Bed14] S. Bedaf, G. J. Gelderblom, D. S. Syrdal, H. Lehmann, H. Michel, D. Hewson und L. de Witte: Which activities threaten independent living of elderly when becoming problematic: inspiration for meaningful service robot functionality. In: *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9(6), S. 445-452, 2014.
- [Bro09] J. Broekens, M. Heerink und H. Rosendal: Assistive social robots in elderly care: a review. In: *Gerontechnology*, 8(2), S. 94-103, 2009.
- [Big01] S. Biggs: Toward critical narrativity: Stories of aging in contemporary social policy. In: *Journal of aging studies* 15.4, S. 303-316, 2001.
- [Bis17] A. Bischof: *Soziale Maschinen bauen*. Bielefeld: transcript, 2017.
- [Bis19] A. Bischof: The Challenge of Being Self-Aware when Building Robots for Everyday Worlds. In: A. Karafillidis und R. Weidner (Eds.): *Developing Support Technologies, Biosystems & Biorobotics 23*. Springer Nature Switzerland, 2019.
- [Byt90] B. Bytheway und J. Johnson: On defining ageism. In: *Critical Journal of Social Policy*, 10(2), S. 27-39, 1990.

- [Bra16] T. Bratteteig und I. Wagner: Unpacking the notion of participation in participatory design. In: Computer Supported Cooperative Work (CSCW), 25(6), S. 425-475, 2016.
- [Byt95] B. Bytheway: Ageism. Milton Keynes, Open University Press, 1995.
- [Coz17] M. Cozza, MA. De Angeli und L. Tonolli: Ubiquitous technologies for older people. In: Personal and Ubiquitous Computing 21.3, S. 607-619, 2017.
- [End16] C. Endter: Design for Elderly—A Meeting Point for Ethnography and Usability. In: i-com, 15(1), S. 17-26, 2016.
- [Eri50] E. Erikson: Childhood and Society. New York: Norton, 1950.
- [Fit15] G. Fitzpatrick, A. Hultgren, L. Malmberg, D. Harley und W. Ijsselstein: Design for agency, adaptivity and reciprocity: reimagining AAL and telecare agendas. In: Designing Socially Embedded Technologies in the Real-World. London: Springer, S. 305-338, 2015.
- [For04] J. Forlizzi, C. DiSalvo und F. Gemperle: Assistive robotics and an ecology of elders living independently in their homes. In: Journal of Human-Computer Interaction, 19(1), S. 25-59, 2004.
- [Fit11] D. Fitzsimmons, J. Thompson, M. Hawley und G.A. Mountain: Preventative telehealth supported services for early stage chronic obstructive pulmonary disease: A protocol for a pragmatic randomized controlled trial pilot. In: Trials, 12, 6, 2011.
- [Glä04] J. Gläser und G. Laudel: The Sociological description of non- social conditions of research. In: REPP Discussion Paper 04/2. Canberra: The Australian National University, 2004.
- [Gre13] T. Greenhalgh: Five biases of new technologies. In: British Journal of General Practice 63.613, S. 425-425, 2013.
- [Gra09] B. Graf, U. Reiser, M. Hägele, K. Mauz und P. Klein: Robotic home assistant Care-O-bot® 3-product vision and innovation platform. In: IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, S. 139-144, 2009.
- [Gri97] K. Grint und S. Woolgar: The machine at work: Technology, work and society. Cambridge: Polity, 1997.
- [Har11] A. Hardisty, S. Peirce, A. Preece, C. Bolton, E. Conley, W. Gray, O. Rana, Z. Yousef und G. Elwyn: Bridging two translation gaps: A new informatics research agenda for telemonitoring of chronic disease. In: International Journal of Medical Informatics, 80(10), S. 734-744, 2011.
- [Jar17a] J. Jarke und U. Gerhard: Using cultural probes for co-creating a digital neighbourhood guide with and for older adults. In: Mensch und Computer-Workshopband 93, S. 79-85, 2017.
- [Jar17b] J. Jarke und U. Gerhard: Using Probes for Sharing (Tacit) Knowing in Participatory Design: Facilitating Perspective Making and Perspective Taking. In: i-com 17 (2), S. 137-152, 2017.
- [Kno81] K. D. Knorr-Cetina: The manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science. Oxford: Pergamon, 1981.
- [Lat92] B. Latour: Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts. In: W. E. Bijker und J. Law (Eds.): Shaping Technology / Building Society. Studies in Sociotechnical Change. Cambridge: MIT Press, S. 225-258, 1992.
- [Led15] C. A. Le Dantec und Sarah Fox: Strangers at the gate: Gaining access, building rapport, and co-constructing community-based research. In: Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing, New York: ACM, 2015.

- [Mac00] H. Mackay, C. Carne, P. Beynon-Davies und D. Tudhope: Reconfiguring the user: using rapid application development. In: *Social studies of science*, 30(5), S. 737-757, 2000.
- [Mei11] M. Meister: Soziale Koordination durch Boundary Objects am Beispiel des heterogenen Feldes der Servicerobotik. Dissertation, TU Berlin, 2011.
- [Nev10] L. Neven: ‘But obviously not for me’: Robots, laboratories and the defiant identity of elder test users. In: *Sociology of Health & Illness* 32 (2), S. 335-347, 2010.
- [Oud04] N. Oudshoorn, E. Rommes und M. Stienstra: Configuring the User as Everybody: Gender and Design Cultures in Information and Communication Technologies. In: *Science, Technology & Human Values*, 29(1), S. 30-63, 2004.
- [Rip90] A. Rip: Implementation and evaluation of science & technology priorities and programs. *The research system in transition*. Dordrecht: Springer, S. 263-280, 1990.
- [Rip13] A. Rip und J.-P. Voß: Umbrella terms as a conduit in the governance of emerging science and technology. In: *Science, Technology & Innovation Studies*, 9.2, S. 39-59, 2013.
- [Sal12] A. Salovaara: Repurposive Appropriation and Creative Technology Use in Human-Computer Interaction, Helsinki, Finland: Unigrafia, 2012.
- [Suc07] L. Suchman: Human-machine reconfigurations: Plans and situated actions. Cambridge: University Press, 2007.
- [Sak02] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki und K. Fujimura. The intelligent ASIMO: System overview and integration. In: *Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference*, S. 2478-2483, 2002.
- [Vin13] J. Vines, R. Clarke, P. Wright, J. McCarthy und P. Olivier: Configuring participation: on how we involve people in design. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 429-438, 2013.
- [Vin15] J. Vines, G. Pritchard, P. Wright, P. Olivier und K. Brittain: An age-old problem: Examining the discourses of ageing in HCI and strategies for future research. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 22(1), 2, 2015.
- [Woo90] S. Woolgar: Configuring the user: the case of usability trials. In: *The Sociological Review* 38.S1, S. 58-99, 1990.

Bewertung von Exoskeletten für industrielle Arbeitsplätze Mehrwert durch eine kombinierte Evaluation mittels Laboruntersuchung und Felderprobung

R. Hensel¹ und B. Steinhilber²

¹ AUDI AG, Industrial Engineering Methoden
ralph.hensel-unger@audi.de

² Universitätsklinikum Tübingen, Institut für Arbeitsmedizin,
Sozialmedizin und Versorgungsforschung
benjamin.steinhilber@med.uni-tuebingen.de

Kurzzusammenfassung

Exoskelette sind eine vielversprechende Zukunftstechnologie, um als ergonomische Assistenzsysteme gewerbliche Mitarbeiter in Belastungssituationen zu unterstützen und besonders beanspruchte Körperregionen gezielt zu entlasten. Für deren nachhaltige Implementierung gilt es, in Laborstudien anhand arbeitsphysiologischer Parameter einen objektiven Wirksamkeitsnachweis zu erbringen. Überdies müssen praxisrelevante Aspekte, wie Komfort, Usability, Sicherheit und Nutzerakzeptanz berücksichtigt werden. Einem partizipativen Ansatz folgend rücken die Mitarbeiter als Systemnutzer in den Fokus subjektiver Evaluation in Feldstudien. Für die Implementierung ist die Kombination beider Untersuchungsansätze unabdingbar, um fundierte und valide Entscheidungen zum Exoskeletteinsatz fällen zu können. Dieses Konzept wird im vorliegenden Beitrag anhand der Evaluation des Exoskeletts Chairless Chair vorgestellt.

Abstract

Evaluation of occupational exoskeletons: Benefit through combined evaluation by means of both laboratory and field studies

Exoskeletons can be considered as innovative ergonomic assistance systems supporting workers in both manufacturing and logistic processes by reducing physical workload. For their successful implementation in industrial applications, the exoskeletons' efficacy with regards to workload relief needs to be evaluated objectively by standardized laboratory studies. In addition, the subjective evaluation is of crucial importance and should be determined in field studies to assess practice-oriented aspects, such as comfort, usability, occupational safety and user acceptance. Based on the evaluation of the Chairless Chair, the paper introduces an evaluation approach, which combines both objective and subjective assessment methods.

Keywords

Exoskelett, Assistenzsystem, Evaluation, Laborstudie, Feldstudie

1 Einleitung

Exoskelette wurden ursprünglich für die medizinische Rehabilitation beziehungsweise das Militär entwickelt [Loo14]. In jüngerer Vergangenheit wurden sie jedoch auch für Anwendungsfälle in der Arbeitswelt entdeckt und gewinnen zunehmend an Relevanz. So-

wohl aktive als auch passive Exoskelette werden bereits in der industriellen Praxis eingesetzt und könnten eine bedeutende Veränderung auf dem Gebiet ergonomischer Assistenzsysteme einleiten. Insbesondere wenn technische und organisatorische Gestaltungsmaßnahmen ausgeschöpft sind, könnte ein zielgerichteter Einsatz von Exoskeletten in

Produktion und Logistik physische Belastungen der Mitarbeitenden reduzieren und helfen, die Arbeitsbedingungen zu verbessern [Hen18]. Ferner bieten Exoskelette vor dem Hintergrund des demographischen Wandels das Potenzial, im Rahmen von Inklusion oder betrieblicher Wiedereingliederung Mitarbeitende mit körperlichen Einschränkungen spezifisch zu unterstützen.

Dem Einsatz von Exoskeletten an Industriearbeitsplätzen steht jedoch eine Vielzahl offener Fragestellungen entgegen. Zum einen fehlen wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse zur biomechanischen Wirksamkeit der Systeme, zum anderen Forschungsergebnisse zu etwaigen negativen Langfristfolgen infolge möglicher Lastumverteilung oder unerwarteter Zusatzbelastungen [Dau17]. Auch spezifische Rahmenbedingungen, Gegebenheiten und Anforderungen der betrieblichen Praxis sind bislang unzureichend geklärt.

Die Neuheit und der damit verbundene geringe wissenschaftliche Kenntnisstand zur Thematik „Exoskelette für berufliche Tätigkeiten“ erfordert, dass Studien auf mehreren Ebenen durchgeführt werden. Einerseits sollten grundlegende Wirkmechanismen unter hochstandardisierten Bedingungen mit hoher interner Validität im Rahmen von Laborstudien durchgeführt werden. Dabei können insbesondere der Praxis unzugängliche Forschungsmethoden eingesetzt und Störfaktoren gezielt ausgeschaltet werden. Andererseits sind Felderprobungen an konkreten Arbeitsplätzen wichtig, da nur dort eine hohe externe Validität gewährleistet werden kann. Die Wirkung eines Exoskeletts kann in der Praxis (an dessen Bestimmungsort und mit den tatsächlichen Nutzern) unter dem Einfluss vielfältiger Störfaktoren und Bedingungen wie z.B. die Interaktion mit Kollegen, Werkzeugen oder betrieblichen Abläufen eine komplett andere sein als in einer Laborsituation. Beispielhaft sei hier auf die Evaluation eines ergonomischen chirurgischen Instruments verwiesen. Unter Laborbedingungen zeigte sich im Bereich der Arme ein mit Muskelaktivitätsmessungen ermittelter Belastungsrückgang durch

die Nutzung des neuartigen Instruments. In einer zugehörigen Felduntersuchung bei realen Operationen konnten diese Änderungen der Muskelaktivität nicht bestätigt werden [Ste17, Kra18].

Am Beispiel eines passiven Exoskeletts für die unteren Extremitäten wird im vorliegenden Beitrag der Mehrwert dargelegt, der aus der Kombination von standardisierter Laborstudie mittels Tätigkeitssimulation und Felduntersuchungen an konkreten Industriearbeitsplätzen bei der Evaluation von Exoskeletten erwächst.

2 Ausgangssituation

Aus Stehtätigkeiten resultiert ein erhöhtes Risiko chronischer venöser und muskuloskelettaler Erkrankungen [Wal16]. Dies gewinnt im Kontext des demografischen Wandels zukünftig weiter an Bedeutung [Kei10]. Daher gilt es, geeignete Ergonomiewerkzeuge zu entwickeln, zu pilotieren und in den industriellen Einsatz zu überführen. Der Chairless Chair ist ein passives Exoskelett, das in diesem Kontext helfen kann, die Belastung der Beine bei Stehtätigkeiten zu reduzieren, wodurch sich beispielsweise perspektivisch Mitarbeiter mit Leistungseinschränkungen unterstützen ließen. Darüber hinaus könnte das System jedoch auch helfen, Zwangshaltungen, insbesondere aufgrund einer niedrigen Arbeitshöhe, vorzubeugen.

Der Chairless Chair wird vom Nutzer mit einem Gürtel und einer optionalen Weste am Körper getragen, sodass er während der Tätigkeit absitzen kann. Die Sitzbeinhöcker ruhen auf Sitzpads, wobei das Gewicht des Nutzers über zwei Beinstrukturen in den Boden eingeleitet wird. Das System lässt sich an die Größe der Mitarbeiter sowie die Arbeitssituation adaptieren, da sich die Sitzhöhe über einen Gasdruckdämpfer arretieren lässt.



Abbildung 1: Der Chairless Chair (Quelle: noonee)

Mit dem Ziel, den Chairless Chair im Sinne evidenzbasierter Ergonomie an gewerblichen Arbeitsplätzen als ergonomisches Assistenzsystem zu implementieren, ist es notwendig, die Wirksamkeit des Exoskeletts zu evaluieren. In diesem Zusammenhang gilt es, einerseits die Entlastung, das heißt den ergonomischen Benefit für den Nutzer, objektiv zu bewerten, andererseits jedoch auch eine etwaige Lastumverteilung zu ermitteln, um negative Langfristfolgen abschätzen zu können. Hierfür erfolgte eine biomechanische Evaluation des Exoskeletts am Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung am Universitätsklinikum Tübingen. Für die nachhaltige Implementierung des Chairless Chairs ist es überdies notwendig, die Nutzerakzeptanz sicherzustellen. Dem Technologieakzeptanzmodell [Dav98] folgend wird diese maßgeblich vom wahrgenommenen Nutzen (perceived usefulness), der subjektiv wahrgenommenen Entlastung durch das Exoskelett, sowie der Einfachheit der Nutzung (perceived ease of use) und von der Gebrauchstauglichkeit bestimmt. Im Rahmen einer Interventionsstudie wurden an ausgewählten Produktionsarbeitsplätzen bei Audi praxisorientierte Erkenntnisse gesammelt, die diese Aspekte berücksichtigen.

3 Methoden und Ergebnisse

Einer ganzheitlichen Vorgehensweise aus Labor- und Feldstudie folgend wurde der Chairless Chair auf Basis objektiver, arbeitsphysio-

logischer Messkriterien und subjektiver, sozialwissenschaftlicher Erhebungskonstrukte evaluiert. Die Methoden und Ergebnisse beider Untersuchungskonzepte werden im Folgenden vorgestellt.

3.1 Einfluss des Chairless Chairs auf Aspekte der Standsicherheit und physischen Belastung bei simulierten Montagetätigkeiten – Ergebnisse einer Laborstudie

Die biomechanische Evaluation des Systems erfolgte im Rahmen einer Laborstudie von Luger et al. [Lug18]. An dieser nahmen 42 männliche Probanden teil, die alle körperlich gesund waren (keine vorherigen Muskelskelett-Erkrankungen). Sie hatten ein mittleres Alter von 24,8 Jahren mit einer Standardabweichung (SD) von 2,9 Jahren. Das mittlere Körpergewicht lag bei 78,1 kg (SD=8,7 kg) und die mittlere Körpergröße bei 182,6 cm (SD=5,5 cm). Im Rahmen der Studie wurden drei Experimente durchgeführt.

Experiment I

Bei einem Experiment führten die Probanden in einer Simulationsumgebung eine Montagetätigkeit durch. Die Aufgabe wurde im Stehen ohne Chairless Chair sowie sitzend bei einer hohen (CC_{hoherSitz}) und tiefen Sitzposition (CC_{tieferSitz}) mit dem Chairless Chair absolviert. Mittels der Oberflächenelektromyographie wurde die muskuläre Aktivität ausgewählter Muskeln des oberen und unteren Rückens, sowie der Ober- und Unterschenkel gemessen. Dafür wurde je ein Elektrodenpaar in Muskelfaserlängsrichtung auf folgende Muskeln (rechts und links) appliziert: M. trapezius pars descendens, M. erector spinae, M. vastus lateralis und M. gastrocnemius medialis. Die gemessenen Muskelaktivitäten wurden auf eine für jeden Muskel standardisiert ermittelte Referenzkontraktion normalisiert. Zusätzliche wurden bei dieser Aufgabe regelmäßig das Diskomfortempfinden mit einer 11-stufigen Likertskala abgefragt. Es zeigte sich ein Rückgang (ca. 25%) der Wadenmuskelaktivität (M. gastrocnemius) bei Verwendung des Chairless Chairs. Die größte Verringerung erfolgt in der

tiefen Sitzposition. Am Oberschenkel (M. vastus) nahm die Muskelaktivität bei Verwendung des Chairless Chairs um 95 - 135% (erhöhte Aktivierung in beiden Sitzhöhen) zu ($p < 0,05$). Die Rückenmuskulatur wurde beim Einsatz des Chairless Chairs weniger beeinflusst. Lediglich im unteren Rücken (M. erector) kam es zu einer etwa zweiprozentigen Zunahme der Muskelaktivität bei der tiefen Sitzposition im Vergleich zur hohen Sitzposition ($p < 0,05$). Die Angaben zum Diskomfortempfinden lagen mit einer Intensität < 2 insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau (0 = kein Diskomfort, 10 = maximaler Diskomfort). Tendenziell ist das Diskomfortempfinden mit dem Chairless Chair geringfügig höher als beim Stehen ohne diesen. Wenn Diskomfort angegeben wurde, war dieser vor allem im Bereich des Gesäßes (häufigste Angabe), des unteren und oberen Rückens sowie der Füße lokalisiert.

Experiment II

In einem weiteren Experiment wurde ermittelt wieviel Prozent des Körpergewichts vom Chairless Chair getragen wird, das heißt um welchen Gewichtsanteil die unteren Extremitäten (Fuß- und Kniegelenke) entlastet werden. Dazu platzierten sich die Probanden in drei verschiedenen Situationen auf einer Kraftmessplatte, um die resultierende vertikal wirkende Kraft zu ermitteln: ohne Chairless Chair (ohneCC), mit Chairless Chair in hoher Sitzposition (CC_{hoherSitz}) und mit Chairless Chair in tiefer Sitzposition (CC_{tieferSitz}). Bei allen Bedingungen, bei denen auf dem Chairless Chair gesessen wurde, wurden die Stützen des Chairless Chairs außerhalb der Kraftmessplatte platziert, so dass die verbleibende Gewichtsbelastung der unteren Extremitäten erfasst werden konnte. Ein großer Teil des Körpergewichts (~ 64%) wurde beim Sitzen auf dem Chairless Chair an diesen abgegeben, was eine Entlastung der unteren Extremitäten, insbesondere der Sprung- und Kniegelenke, verspricht (Abbildung 2).

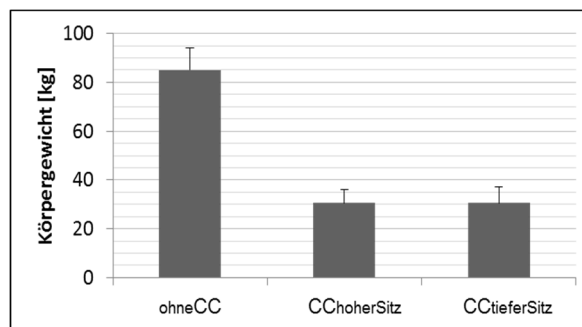


Abbildung 2: Gewichtsbelastung der unteren Extremitäten in Abhängigkeit der Exoskelettbedingungen

Experiment III

In einem dritten Experiment wurde eine kleine Gruppe von acht bislang nicht eingeschlossenen Probanden untersucht. Diese waren 6 Männer und 2 Frauen mit einem mittlerem Alter von 33,6 Jahren ($SD=7,8$ Jahre), einer mittleren Körpergröße von 1,77 cm ($SD=6$ cm) und einem mittleren Körpergewicht von 77,4 kg ($SD=14,7$ kg). Dabei sollte abgeschätzt werden, wie hoch die Drehmomente sind, bis es zum Sturz (bedingt durch Krafteinwirkung von vorne) kommt. Die Probanden sollten ihren Körper möglichst steif halten, jedoch keine Gegenbewegung gegen die einwirkende Kraft einleiten. An den Probanden wurde ein Seil an der Weste auf Höhe der Lendenwirbelsäule befestigt. Am anderen Ende wurde ein handgehaltenes Kraftmessgerät fixiert und so lange, in langsamem Tempo gezogen, bis der Proband kippte bzw. stürzte. Zwei Helfer haben den Probanden jedoch im Moment des beginnenden Sturzes aufgefangen. Die aufgebrachte Kraft zu diesem Zeitpunkt wurde am Kraftmessgerät abgelesen. Das Kipp-Moment wurde berechnet, indem die Kraft beim Kippen des Probanden mit dem Abstand des Kraftansatzpunktes zum Boden multipliziert ($F \times h$) wurde.

Wie Abbildung 3 veranschaulicht, war das Kipp-Moment, das zu einem Sturz führte, relativ gering. Die Kippmomente lagen zwischen 14,1 und 91,6 Nm. Das Median-Kippmoment für Stehen ohne Chairless Chair lag bei 54,3 Nm, bei der hohen Sitzposition bei 35,3 Nm und bei der tiefen Sitzposition bei

28,9 Nm. Hier wurde jedoch eine Situation simuliert, in der keine Gegenbewegung durch den Probanden eingeleitet wird – wie es bei der Krafteinwirkung beispielsweise durch einen kollaborierenden Roboter oder einen plötzlichen Bandstopp der Fall wäre.

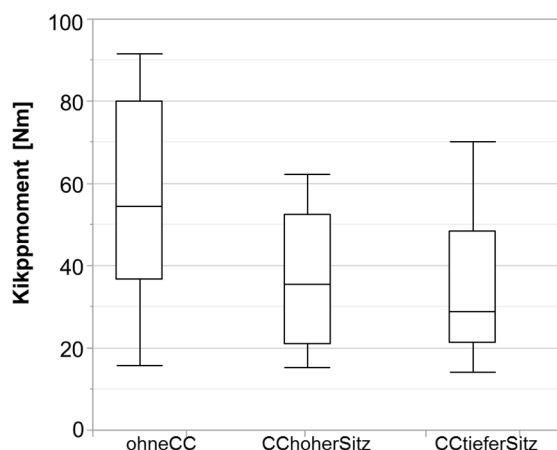


Abbildung 3: Boxplots der Kippmomente in Abhängigkeit der Exoskelettbedingungen

3.2 Diskomfort, Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz des Chairless Chairs – Ergebnisse einer Feldstudie

Seit Ende 2015 wurde der Chairless Chair bei der AUDI AG in zahlreichen Piloten auf seine Eignung für den Einsatz in der industriellen Praxis untersucht. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Arbeitsplätze Verkabelung des Motorraumes, wo der Mitarbeiter stark vornübergebeugt in einer Zwangshaltung arbeitet, sowie die Cockpitvormontage, die durch ganzschichtiges Stehen charakterisiert ist.



Abbildung 4: Pilotarbeitsplätze (links: Verkabelung Motorraum, rechts: Cockpitvormontage)

Ziel der Pilotversuche war die subjektive Evaluation des Chairless Chairs hinsichtlich Entlastungsempfinden, Diskomfort, Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz. Zu diesem Zweck wurde ein standardisierter Fragebogen entwickelt, dessen Validität durch die Nutzung existierender Skalen sichergestellt wurde. Mithilfe der Body Part Discomfort Scale [Cor76] wurden mittels einer 7-Punkte-Likert-Skala die körperlichen Beschwerden aus der Arbeitstätigkeit ermittelt. Im Nachgang der Tests diente dieselbe Skala dem Monitoring des Beschwerdebildes, um einerseits die Verbesserung bestehender Beschwerden, und andererseits das Diskomfortempfinden evaluieren zu können. Die Gebrauchstauglichkeit beim An- und Ablegen sowie während der Nutzung wurde auf Basis des UMUX-Lite (Usability Metric for User Experience) [Lew13] eruiert. Ferner wurde auf Basis einer 7-Punkte-Likert-Skala die Dimension der Nutzungsintention nach dem Technologieakzeptanzmodell (TAM 2) [Dav89] ermittelt, um auf die Nutzerakzeptanz schließen zu können.

Nachfolgende Ausführungen geben einen Einblick in die erste Befragungsstufe einer laufenden Feldstudie im Motorenwerk in Győr, an der zehn Probanden teilnahmen und fünf stationäre Arbeitsplätze mit vergleichbaren Rahmenbedingungen betrachtet werden. Die Mitarbeiter arbeiten hier normalerweise ganztätig stehend in niedriger Arbeitshöhe und vollziehen Montagetätigkeiten mit repetitiven Arbeitsinhalten bei kurzer Taktzeit.

Bedingt durch die Komplexität der Belastungssituation der repetitiven Tätigkeiten in stehender Körperhaltung, fällt die Bewertung des tätigkeitsbedingten Beschwerdebildes entsprechend vielschichtig aus. Auf einer Ordinalskala von 1 (niedrig) bis 7 (hoch) reklamierten einige Probanden Beschwerden in Schultern, Oberarmen und Händen. Die Mehrzahl jedoch meldete Beschwerden in den Füßen ($\bar{x}=2,2$; $SD=1,2$) und dem unterem Rücken ($\bar{x}=1,7$; $SD=1,0$) sowie dem Nacken ($\bar{x}=2,4$; $SD=2$; bedingt durch die Flexion der Halswirbelsäule aufgrund niedriger Arbeits-

höhe) zurück. Zumindest bei diesen für Stehtätigkeiten typischen Beschwerden, könnte der Chairless Chair zur Entlastung beitragen. Obgleich sich zum Zeitpunkt der ersten Befragungsstufe keine validen Aussagen zur Entlastung treffen lassen, haben die Probanden im Allgemeinen eine Entlastung der Beine zurückgemeldet. Besonders Arbeitsplätze in Vormontagebereichen ohne Taktbindung und Standardarbeitsplätze haben sich als prädestiniert für den Einsatz des Chairless Chairs erwiesen. An diesen können die Mitarbeiter bis zu 70% der Zykluszeit absitzen, was eine hohe Entlastung der Beine verspricht.

Die Testpersonen bewerteten die Gebrauchstauglichkeit des Chairless Chairs beim An- und Ablegen (auf einer Ordinalskala von 1 - niedrig bis 7 - hoch) mit $\bar{x}=3,8$ ($SD=1,4$), bei der Ausführung der Tätigkeit hingegen mit $\bar{x}=6$ ($SD=1,0$). Zugleich monierten die Testpersonen einhellig Diskomfort im Bereich der Schulter $\bar{x}=3,2$ ($SD=1,2$), maßgeblich ausgelöst durch Reibung der Schultergurte und starkes Schwitzen unter der Weste des Chairless Chairs. Ferner wurde Diskomfort im Bereich der Füße reklamiert $\bar{x}=1,9$ ($SD=0,8$), der durch extrem dorsalexthendierte Fußstellung in niedriger Sitzhöhe hervorgerufen wurde, da die Füße an den Beinelementen des Exoskeletts fixiert sind. Entsprechend der positiven Ergebnisse zu Entlastungsempfinden und Gebrauchstauglichkeit sowie dem vergleichsweise geringen Diskomfort ergibt sich eine hohe Nutzerakzeptanz von $\bar{x}=5,6$ ($SD=1,1$).

4 Diskussion - Mehrwert durch die kombinierte Betrachtung mittels Labor- und Feldstudie

Ungeachtet der konkreten Ergebnisse der vorliegenden Kombination aus Labor- und Felduntersuchung, zeigt sich bereits bei Betrachtung der Menge an Zielmessgrößen, die durch die kombinierte Betrachtung adressiert werden konnten, wie vielfältig die Wirkungen eines ergonomischen Assistenzsystems auf die Nutzer sein können. Eine einseitige Betrachtung würde schnell an ihre Grenzen kommen und wichtige Informationen unbeachtet lassen. Die folgende Diskussion zeigt auf, wie

sich Labor- und Felduntersuchung hinsichtlich des Erkenntnisgewinns ergänzen und an welcher Stelle ohne die gemeinsame Betrachtung nur eine lückenhafte Evaluation erfolgt wäre.

4.1 Aspekte der Arbeitssicherheit

Statistiken der gesetzlichen Unfallversicherung zeigen, dass aktuell 32,9 % aller meldepflichtigen Unfälle in der Industrie Stolper-, Rutsch- oder Sturzunfälle sind [Deu17]. Der Chairless Chair könnte ein zusätzliches Stolper- oder Sturzrisiko bedingen, wovon die Nutzer schwerwiegende Verletzungen davontragen könnten. Während dem Hersteller von Exoskeletten die Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 12100 obliegt, verlangt das Arbeitsschutzgesetz vom Betreiber die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen.

Die Bewertung des Sturzrisikos wurde im vorliegenden Ansatz in einer Laborumgebung untersucht. Aspekte der Arbeitssicherheit können prinzipiell auch in der betrieblichen Praxis untersucht werden. Beispielsweise könnte eine Unfallstatistik Aufschluss darüber geben, ob nach Einführung eines Exoskeletts etwa die gemeldeten Sturzunfälle zugenommen haben. Vielmehr ist es jedoch notwendig, solche Gefahren prospektiv zu bestimmen. Ferner sind Stürze unter normalen Arbeitsbedingungen eher selten, weswegen ein solcher Ansatz als recht zeitaufwändig einzustufen wäre und wenig aufschlussreich, um zu bewerten, ob die Verwendung eines Exoskeletts ein erhöhtes Sturzrisiko birgt. Der Ansatz, unter Laborbedingungen durch eine extern einwirkende Kraft gezielt einen Sturz herbeizuführen und zu analysieren, inwiefern das Sturzgeschehen durch den Chairless Chair bzw. dessen Einstellung (Sitzhöhe) moderiert wird, bietet die Möglichkeit frühzeitig Erkenntnisse zu gewinnen und zu entscheiden, ob dieses Exoskelett in der betrieblichen Praxis mit erhöhtem Sturzrisiko einhergeht.

Die Ergebnisse der Feldstudie haben zudem aufgezeigt, dass an Arbeitsplätzen mit längeren Distanzen, die gehend zu bewältigen sind, von der Nutzung des Chairless Chairs eher ab-

zuraten ist. Auf Basis der Ergebnisse aus Labor- und Feldstudie lassen sich fundierte Entscheidungen über den Einsatz des Systems an konkreten Arbeitsplätzen treffen. Dementsprechend muss sichergestellt werden, dass externe Krafteinwirkungen auf den Beschäftigten, die Gefahr des Stolperns beim Gehen oder Treppensteigen sowie des Stürzens durch Balanceverlust und Folgeverletzungen ausgeschlossen werden können.

4.2 Einfluss auf die physische Belastung

Die Ergebnisse der subjektiven Evaluation des Chairless Chairs an Industriearbeitsplätzen deuten auf eine Entlastung im Vergleich zur herkömmlichen stehenden Tätigkeit hin. Dies wird durch die Ergebnisse der Laborstudie bestätigt, wonach der Chairless Chair 60 bis 70% des Körpergewichtes trägt und dementsprechend zu einer entscheidenden Entlastung der Beine beziehungsweise Fuß- und Kniegelenke beiträgt. Die im Labor ermittelten Muskelaktivitäten zeigen indes, dass das Belastungsgeschehen in den unteren Extremitäten komplexer ist, als es eine bloße subjektive Bewertung im Feld hätte zeigen können. Der signifikanten Muskelentlastung im Bereich der Wadenmuskulatur steht dabei eine erhöhte Muskelaktivität im Oberschenkel gegenüber, was auf eine Lastumverteilung schließen lässt. Fraglich ist, ob dieses neuartige muskuläre Aktivierungsmuster aufgrund der Nutzung des Chairless Chairs langfristig negative Auswirkungen auf involvierte Gelenke (z.B. Knie) haben kann.

Hier zeigt sich eindeutig der Vorteil der kombinierten Evaluation nicht im Sinne einer abschließenden Bewertung sondern durch Identifizierung weiterer Aspekte, die bei der Implementierung in der betrieblichen Praxis regelmäßig überwacht werden sollten. Dies sollte durch eine dezidierte arbeitsmedizinische Begleitung in der Nutzungs- und Nachnutzungsphase sichergestellt werden, in deren Rahmen ein Monitoring eventuell auftretender Beschwerden erfolgt, um frühzeitig erste Anzeichen negativer gesundheitlicher Folgen erkennen und muskuloskelettalen Erkrankungen vorbeugen zu können.

4.3 Auswirkungen von Diskomfort und Gebrauchstauglichkeit auf die Nutzerakzeptanz

Die in der Laborstudie erhobenen Daten zeigen ein geringes Maß an Diskomfort mit der Tendenz, dass beim Tragen des Chairless Chairs im Gesäß der meiste Diskomfort empfunden wird. Dieses Ergebnis scheint durchaus plausibel, da Diskomfort häufig an den Schnittstellen zwischen Mensch und Exoskelett entsteht [He17]. Ergänzend zeigen die Felduntersuche jedoch, dass auch im Bereich der Schulter, wahrscheinlich aufgrund von Reibung der Trageweste eine Quelle für erhöhten Diskomfort ist. In der Laborstudie, in der das Exoskelett überwiegend im stationären Einsatz (mit geringer Zugbelastung der Weste) war und die Beobachtungsdauer sich auf wenige Stunden beschränkte, konnte dies nicht gezeigt werden. Aus dem Praxiseinsatz in der Interventionsstudie konnten zudem wertvolle Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit des Chairless Chairs gewonnen werden, die sich erst über eine längere Nutzungsdauer zeigen und sich zudem entsprechend der Erfahrungen im Umgang mit dem System im Zeitverlauf verändern können.

Darin offenbart sich wiederum der Mehrwert aus der Kombination von Labor- und Feldstudie. Ohne die Betrachtung realer Arbeitsplätze wären hier eventuell wichtige Aspekte zu Usability und Diskomfort, die sich bedeutend auf die Akzeptanz des Systems auswirken können, übersehen worden. Insbesondere die Ergebnisse der Feldstudie können wertvollen Input für den Hersteller zur Weiterentwicklung des Chairless Chairs liefern, um diesen an die Anforderungen der Mitarbeiter zu optimieren. Die Verbesserung des Tragekomforts durch neu gestaltete Textilsätze (Gurt, Weste, Sitzpads) sowie der Fußbefestigungselemente, um die Gebrauchstauglichkeit beim An- und Ablegen des Systems zu verbessern, ist in weiterführenden Feldstudien zu validieren.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Am Beispiel des vorgestellten Evaluationskonzeptes zur Bewertung des Chairless Chairs

zeigt sich, wie bedeutsam die ganzheitliche Betrachtung unter standardisierten Laborbedingungen und an realen Arbeitsplätzen ist. Besonders die im Feld erhobenen Daten zu Diskomfort, Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz sind häufig als wertvoller einzustufen als derartige Erhebungen unter Laborbedingungen, was nicht zuletzt darin begründet liegt, dass sich die subjektive Wahrnehmung des Exoskeletts über die Nutzungsdauer im Feldtest verändert. Darüber hinaus lassen sich aus Interventionsstudien im Feld wertvolle Aussagen zur Praxistauglichkeit treffen und aus dem Feedback der Probanden Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung generieren, um die Produkte einer partizipativen Vorgehensweise folgend weiterzuentwickeln. Anhand der Evaluationsergebnisse der standardisierten Erhebung unter Laborbedingungen konnte verdeutlicht werden, dass es neben einer Reduktion von physischen Belastungen durch Verwendung des Chairless Chairs auch zu einem verändertem muskulären Aktivierungsmuster kommt, welches weitere Beobachtungen erfordert, da sich durch die daraus resultierende Lastumverteilung negative Langfristfolgen nicht ausschließen lassen. Die

Felduntersuchung hingegen offenbarte, insbesondere mit Blick auf das Diskomfortempfinden, welche Aspekte für eine hohe Nutzerakzeptanz eines solchen Assistenzsystems bedeutsam sind. Dieser ist besonderes Augenmerk zu schenken, da diese dem relativen Vorteil zugrunde liegt, den der Systemnutzer auf Basis der Entlastung auf der einen und der zusätzlich wahrgenommenen Belastung auf der anderen Seite bewertet.

Mit Blick auf den derzeitigen Stand der Technik sollte bei der Evaluation von Exoskeletten stets der Produktreifegrad eines Systems beachtet werden. Sollte sich ein Exoskelett noch auf dem Niveau eines Funktionsmusters befinden ist von umfangreichen Felderprobungen abzusehen, da sich zahlreiche Features des Exoskeletts noch ändern können. Zugleich ist eine Machbarkeitsanalyse im Feld unerlässlich, um dessen Potenzial als ergonomisches Assistenzsystem für die konkreten betrieblichen Anwendungsfälle bewerten und über die weitere Vorgehensweise zur Pilotierung und Implementierung entscheiden zu können.

Literatur

- [Cor17] E. N. Corlett und R. P. Bishop: A technique for measuring postural discomfort. *Ergonomics*, Vol. 19 (2), 175-182, 1976.
- [Dau17] U. Daub: Evaluation aspects of potential influences on human beings by wearing exoskeletal systems. In: M. Bargende, H. C. Reuss, J. Wiedemann (Hrsg.): Tagungsband 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [Dav98] F. D. Davis: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. Michigan: Computer and Information Systems Graduate School of Business Administration, 1998.
- [Deu17] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.: Statistik Unfallgeschehen 2016. Berlin: DGUV, 2017.
- [Hen18] R. Hensel, M. Keil und S. Bawin: Feldstudie zur Untersuchung des Laevo-Exoskeletts hinsichtlich Usability, Diskomfort und tätigkeitsbedingten Beschwerden. Tagungsband 64. Frühjahrskonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Frankfurt/ Main: GfA, 2018.
- [He17] Y. He, D. Eguren, T. P. Luu und J. L. Contreras-Vidal: Risk management and regulations for lower limb medical exoskeletons: a review *Medical Devices: Evidence and Research*, Vol. 9(10), S. 89-107, 2017.

- [Kei10] M. Keil, R. Hensel und B. Spanner-Ulmer: Fähigkeitsgerechte Prozessmodellbausteine zur Generierung altersdifferenzierter Beanspruchungsprofile. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 64 (3), S. 205-215, 2010.
- [Kra18] B. Kraemer, R. Seibt, A.-K. Stoffels, R. Rothmund, S. Y. Brucker, M. A. Rieger und B. Steinhilber: An ergonomic field study to evaluate the effects of a rotatable handle piece on muscular stress and fatigue as well as subjective ratings of usability, wrist posture and precision during laparoscopic surgery: an explorative pilot study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*.
- [Lew13] J. R. Lewis, B. S. Utesch und D. E. Maher: UMUX-LITE: when there's no time for the SUS. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2099-2102)*. ACM, New York, 2013.
- [Loo14] M. P. De Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler und L. W. O'Sullivan: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*. Vol. 59 (5), S. 671-681, 2014.
- [Lug18] T. Luger, T. Cobb, T. Kreidler, R. Seibt, R. Hensel-Unger, B. Steinhilber und M. A. Rieger: Effect of the passive exoskeleton Chair-less Chair on muscular activity and postural control – influence of different seat heights. In: *Tagungsband des 64. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. Dortmund: GfA-Press, 2018.
- [Ste17] B. Steinhilber, F. Reiff, R. Seibt, M. A. Rieger, P. Martus, B. Kraemer und R. Rothmund: Ergonomic Benefits From a Laparoscopic Instrument With Rotatable Handle Piece Depend on the Area of the Operating Field and Working Height. *Human factors*, Vol.59 (7), S. 1048-1065, 2017.
- [Wal16] R. Wall, R. Seibt und B. Steinhilber: Steharbeit – Risiken und Lösungsansätze mittels quantitativer Methoden. *Medizinisch Orthopädische Technik*, Vol. 136 (1), S. 12-17, 2016.

Entwicklungsansatz für physische Mensch-Technik-Schnittstellen von Exoskeletten

C. Linnenberg^{1,2}, J. Klabunde¹, R. Weidner^{1,2} und J. P. Wulfsberg¹

¹ Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Christine.Linnenberg@hsu.hh.de, Jonas.Klabunde@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de,
Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

² Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Professur für Fertigungstechnik
Christine.Linnenberg@uibk.ac.at, Robert.Weidner@uibk.ac.at

Kurzzusammenfassung

Physische Mensch-Technik-Schnittstellen (MTS) sind für die Effektivität von Exoskeletten aufgrund ihrer Funktion der Kraftübertragung von großer Bedeutung. Bisher wurden sie innerhalb von exoskelettalen Systemen an Extremitäten meist als zirkuläre Gurtmechanismen realisiert und neigen häufig zu Verwringungen und Weichteilkompressionen. Der Beitrag spezifiziert daher die Anforderungen an MTS für Exoskelette und stellt anschließend ein methodisches Vorgehen zur automatisierten Auslegung und Optimierung von individualisierten MTS vor. Anhand der Pilotstudie zur Entwicklung einer Schnittstelle für den Oberarm werden die Phasen des Entwicklungsansatzes erläutert und diskutiert.

Abstract

“Method for construction and design of physical human-machine-interfaces for exoskeletons”

Based on their force transmitting function physical human-machine interfaces (MTS) are of particular importance for the effectiveness of exoskeletons. So far, MTS have mostly been realized as circular girding mechanisms and are often prone to graying and soft tissue compression. This paper therefore specifies the requirements for MTS for exoskeletons and presents a methodical procedure for the automated designing and optimization of individualized MTS. Based on the pilot study for the development of an MTS for the upper arm, the phases of the method are explained and discussed.

Keywords

Physische Mensch-Technik-Schnittstelle, Exoskelett, anthropometrische Passform, 3D-Scan

1 Einleitung

Die voranschreitende Entwicklung im Bereich der Exoskelette befasste sich bisher hauptsächlich mit der Abbildung der rotatorischen und translatorischen Kinematik des Menschen durch das unterstützende System, sowie der kompakten Integration leistungsgerechter Aktuatorik. Die Hoffnungen, die mit der Entwicklung von Exoskeletten einhergehen, sind die Steigerung der Produktivität, physische und kognitive Entlastung sowie eine Erhöhung der Lebensqualität, welche in Studien

bereits belegt werden konnten (vgl [Meh15], [Sch18, Ott18]). Die Effektivität der physischen Entlastung durch Exoskelette hängt dabei stark von der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik ab (MTS) [Yan17]. Können Kräfte beispielsweise durch eine schlecht konzipierte Schnittstelle nicht ideal übertragen werden, führt dies zu Inkongruenzen der Gelenkachsen und asynchronen Bewegungsabläufen, die wiederum zu erhöhten neuromuskulären und strukturellen Belastung

sowie damit einhergehenden erhöhten metabolischen Kosten führen [Ple16].

Verformbare Weichteilstrukturen (u.a. Muskeln und Haut) sind aus technischer Sicht bei der Kopplung technischer Systeme an den Menschen aufgrund ihrer starken Verformbarkeit als Störgröße zu berücksichtigen. Für eine direkte, störungsfreie Kraftübertragung würden sich harte, oberflächlich liegende knöcherne Strukturen eignen. Diese sind jedoch meist an den Gelenken selbst lokalisiert (schlechte Hebelverhältnisse) und angesichts der multiplen Freiheitsgrade nur in geringer Quantität und Qualität vorhanden. Es bleibt daher nicht aus, Weichteile bei der physischen Kopplung von Mensch und Technik zu berücksichtigen. Eine durch Krafteinwirkung entstehende Deformation der Weichteile, ist dabei jedoch kaum zu vermeiden und verursacht eine gewisse Asynchronität und Inkongruenz der beiden Kinematiken (Mensch und Maschine). Darüber hinaus dürfen die in den Weichteilen eingebetteten vaskulären und neuronalen Strukturen, sowie die Schutzhülle Haut weder durch Scherkräfte noch durch zu hohe Druckkräfte geschädigt werden. Eine genaue Kenntnis über anthropometrische Merkmale ist daher unablässig.

Im Bereich der Orthetik/Prothetik ist die MTS-Problematik seit Jahrzehnten bekannt und es haben sich entsprechend der jeweiligen Problematik verschiedene Lösungen (beispielsweise Vakuumtechnik) herauskristallisiert [Hoh05, Spe08]. Allerdings differenzieren sich die Anforderungen an MTS orthetischer Unterstützungssysteme wie bspw. Orthesen, die zur Ruhigstellung oder Korrektur von Gliedmaßen/des Rumpfes eingesetzt werden, deutlich von den Anforderungen an Unterstützungssysteme wie Exoskelette zur Stabilisierung, Führung und Entlastung von Haltung und Bewegung.

Der Beitrag spezifiziert daher zunächst Anforderungen an MTS für Exoskelette und stellt, unter Berücksichtigung der Kinematik von Mensch und Unterstützungssystem einen Ansatz für den erforderlichen Individualisierungsgrad und Schutz der anatomischen

Strukturen sowie darauf aufbauend eine Methode für die Konzeption, Auslegung und Entwicklung von MTS vor.

2 Stand der Technik

Im Folgenden wird zunächst auf die Entwicklung von MTS innerhalb der Orthopädietechnik näher eingegangen und die Methoden zur Erfassung anthropometrischer Kenndaten dargestellt, um anschließend den Handlungsbedarf für MTS von Exoskeletten abzuleiten.

2.1 Entwicklung von Orthesen und orthetischen Unterstützungssystemen

Know-how im Bereich der MTS bieten vor allem der Bereich der Orthopädietechnik, speziell die Orthetik und Prothetik. Orthesen mit Stoffgewebe sind meist konfektionierte Produkte, deren Funktion der Stabilisierung weniger durch mechanische Eigenschaften der Orthese, als vielmehr durch eine sensorische Komponente zustande kommt [Hab14]. Sie sind generell auf 1D-Datenbasis anthropometrischer Reihenmessungen entwickelt und bedürfen teilweise der individuellen, fachgerechten Anpassung an den Nutzer/die Nutzerin. Prothesen bzw. Prothesenschäfte sind hingegen Spezialanfertigungen, hoch-individuell und kostenintensiv. Die gängige Praxis der Herstellung mittels Negativ-Positiv-Abformung mit Gips wird zunehmend abgelöst durch CAD-Verfahren auf der Grundlage von individuellen 3D-Körperscandaten. Seit einigen Jahren wird jedoch auch in der Entwicklung weicher Orthesen verstärkt mit 3D-Reihenscan Daten gearbeitet, bspw. im EU-Projekt FASHION-ABLE [Don14] oder Lumbalorthesen für Übergewichtige [Kai14], welche elastische Kompressionsbandagen für unterschiedliche Körpertypen entwickelten.

2.2 Anthropometrie, virtuelle Körpermodelle und Passformgestaltung

Mit 3D-Ganzkörper-Scanverfahren wurden bereits Reihenmessungen anthropometrischer Daten von Männern, Frauen und Kindern (SizeGermany) für vier Grundpositionen (a) aufrechter Sitz, (b) lockerer Stand, Arme locker (c) breiter Stand, Arme leicht abgespreizt, (d)

breiter Stand, Arme gestreckt nach vorne durchgeführt [Sei08]. Äquivalente europäische und amerikanische Daten wurden in verschiedenen Projekten (u.a. SizeItaly, CNM, SizeNorthAmerica) erhoben. Auf deren Basis lassen sich repräsentative Avatare für unterschiedliche Körpergrößen und typische Formen (von sehr schlank bis sehr stark) berechnen. Beispielsweise werden in der Bekleidungsindustrie daraus standardmäßig 1D-Körpermaße (Längen und Umfänge von Körpersegmenten) extrahiert, die zur CAD-Schnittmusterentwicklung dienen [Sei08]. Die entstandenen Kollektionen werden anschließend als 3D-Bekleidungssimulation mittels der Avatare auf Passformfehler hin überprüft und zur Schnittkorrektur genutzt [Ass18]. Die genannten Tools und die Ergebnisse der Reihenmessung fließen ebenfalls in die Produktentwicklungen, bspw. der Automobil- und Flugzeugbranche [Bub15], ein oder dienen als Grundlage für die Fertigung von maßkonfektionierten (Ski-) Schuhen.

Besonders bei der Berufsbekleidung und bei der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) steht neben Schutz und Funktion die optimale Bewegungsfreiheit im Fokus von Nutzern und Entwicklern. Erste 3D-Anthropometriemessungen für die Erhebung von Funktionsmaßen wurden durch das Institut Hohenstein durchgeführt und berücksichtigen neben den Grundpositionen sechs weitere Körperhaltungen, wie Vorbeuge, Hocke oder den Sitz mit nach oben gestreckten Armen [Mao18].

Die akzeptierten Toleranzen für die Arbeitskleidung oder die persönliche Schutzausrüstung weichen jedoch stark von denen für MTS zur Kraftübertragung ab, weshalb es sich empfiehlt nicht auf die bestehenden Ergebnisse der 3D-Anthropometriereihenmessungen zurück zu greifen. Vielmehr sollten für die Entwicklung von MTS speziell an die entsprechende Körperpartie zugeschnittene Anthropometriemessungen konzipiert werden.

3 Anforderungen an Mensch-Technik-Schnittstellen

Die immanente Aufgabe der MTS ist primär die Kraftübertragung vom Exoskelett auf den

Menschen, um diesen dynamisch oder statisch zu unterstützen. Abbildung 1 verdeutlicht die hauptsächlichen Aspekte, welche bei der Entwicklung von MTS berücksichtigt werden müssen. Die Aspekte der folgenden Anforderungsanalyse und ihre abgeleiteten Funktionen und Materialeigenschaften stehen sich teilweise konträr gegenüber. Der folgende Abschnitt greift daher ausgewählte und zentrale Aspekte auf.

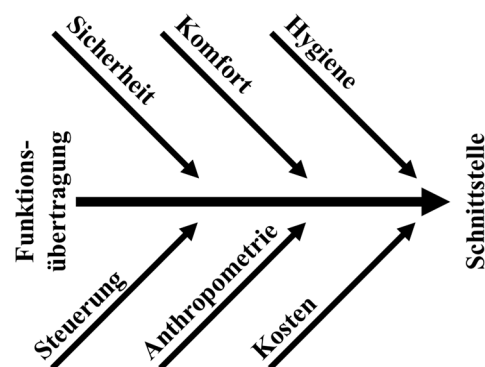


Abbildung 1: Hauptaspekte der Anforderungen an MTS

Kraftübertragung kann entweder via Kraft- oder Formschluss erfolgen. Wünschenswert für die Kongruenz der Achsen von Mensch und Exoskelett wäre eine direkte Kraftübertragung ohne zeitliche Verzögerung und räumliche Diskrepanz. Hierfür müssten die Weichteile während der Unterstützungssituation weitgehend komprimiert werden und die verwendeten Materialien der Schnittstelle eine hohe Steifigkeit aufweisen, sowie als geschlossene Form konzipiert sein, damit die Weichteile ihre Form und Volumen innerhalb der Schnittstelle beibehalten.

Dem entgegen gesetzt steht vor allem der Sicherheitsaspekt. So dürfen Weichteile, insbesondere vaskuläre und neuronale Strukturen, in keinem Falle verletzt oder beschädigt werden. Belastungsspitzen und Kompression der Weichteile können insbesondere bei langen Expositionszeiten zu Verletzungen tiefer Gewebeschichten führen [Oom10] und sollten daher möglichst durch die Nutzung großflächiger und weicher Formen vermieden werden. Um darüber hinaus die Evaporation an der

Haut zu ermöglichen und eine Aufweichung der Haut (erhöhte Verletzungsanfälligkeit) zu vermeiden, würden prinzipiell kleinflächige MTS oder die Auslegung der Schnittstelle mit Belüftungsöffnungen zuträglich sein.

Ähnliche Diskrepanzen weisen die Anforderung an die Schnittstelle hinsichtlich der Kompatibilität zwischen exoskelettaler und menschlicher Kinematik auf. Zwar wird versucht möglichst viele rotatorische und translatorische Freiheitsgrade des Menschen innerhalb der Exoskelett-Kinematik abzubilden, jedoch würde die Abbildung aller translatorischen Freiheitsgrade des Menschen, v.a. bedingt durch die Laxitäten der Gelenkbänder, zu instabilen Exoskeletten oder zu weit ausladenden und raumgreifenden Systemen führen. Die Aufgabe der MTS besteht also in einem Ausgleich der Inkonsistenzen zwischen dem Exoskelett und dem Menschen. Entsprechend wären Schnittstellen mit einem gewissen Spielraum für geringe translatorische Bewegungen und durch weite offene Formen der MTS sinnvoller.

Neben der Kongruenz zwischen den Kinematiken sind für Komfort und Sicherheit zusätzlich die anthropometrischen Gegebenheiten des Nutzers ausschlaggebend. Hierfür müssen Unterschiede in Umfängen und Form der Muskulatur in Bewegung und Muskelaktivierung berücksichtigt werden, aber auch Nebenbewegungen unabhängig von der Unterstützungsrichtung gewährleistet sein.

Tabelle 1 stellt weitere Anforderungen an MTS dar, leitet zentrale Funktionen sowie Material- und Formeigenschaften für die jeweilige Anforderung ab und zeigt mögliche Komplikationen bei der entsprechenden Eigenschaftsauswahl auf. Die Anforderung im Themenbereich Tragekomfort stehen ebenfalls konträr zu den Anforderungen der Kraftübertragung. So würden offene Formen der Schnittstelle für die intuitive Bedienbarkeit (insbesondere schnelles An- und Ablegen des Systems) und weiche, elastische Materialien für ein angenehmes Tragegefühl unter diesem Aspekt zunächst bevorzugt.

Aufgrund der Zielkonflikte der Anforderungsaspekte ist eine genaue Untersuchung der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten unabdingbar.

Die Forschungsaufgabe besteht entsprechend darin eine Balance bezüglich der Material- und Formeigenschaften zwischen den widersprüchlichen Anforderungsprofilen zu finden, um Kräfte möglichst ideal zu übertragen ohne Verletzungen, geminderten Komfort oder hohe Kosten in Kauf nehmen zu müssen.

Der folgende Abschnitt stellt aufbauend auf den dargestellten, grundlegenden Überlegungen einen Ansatz zur Entwicklung von MTS für Exoskelette vor, welcher einige der konträren Anforderungsaspekte zu vereinen versucht.

4 Methodenansatz

Der Methodenansatz zur Entwicklung einer individualisierten MTS für Exoskelette gliedert sich in sechs Phasen, siehe Abbildung 2. Zunächst werden die anthropometrischen Daten des Individuums erfasst und innerhalb eines Post-Processing für die Bearbeitung optimiert. Anschließend werden anatomische Landmarken detektiert und im Datenfitting die Form des Körpersegmentes im Bereich der Schnittstelle mit geometrischen Formen abgeglichen. Die individualisierten geometrischen Formen fließen direkt in den automatisierten Konstruktionsprozess der Schnittstelle ein. Für die Validierung des Methodenkonzeptes wurden MTS für das Unterstützungssystem „Lucy“ [Ott18] mittels generativer Verfahren gefertigt.

Nachfolgend werden die Phasen des Methodenansatzes anhand einer Pilotstudie zur Entwicklung einer MTS beispielhaft für den Oberarm erläutert und diskutiert.

4.1 Datenerfassung

Für die Konzeption der MTS muss zunächst bestimmt werden, welche Einflussfaktoren in der jeweiligen Körperregion bestehen. Das be

Tabelle 1: Anforderungen an physische Schnittstellen exoskelettale Systeme

	Anforderungen	Abgeleitete Funktionen	Eigenschaften	mögliche Komplikationen
Allgemein	• Performance des Exoskelettes auf Mensch übertragen • Steuerung/ Führung des Exoskelettes durch den Menschen	• Kraftübertragung durch Kraftschluss • Kraftübertragung durch Formschluss • Kompression der Weichteile zur Umformvermeidung	• steife Materialien • geschlossene, enge Form	• Kompressionssyndrom
	• Kompatibilität mit äußerer Kinematik und Unterstützungsprofil gewährleisten	• Translationen (welche nicht durch äußere Kineamtk abgebildet werden) innerhalb der Schnittstelle ermöglichen	• weite, offene Form	• geminderte Kraftübertragung Scherkräfte bei starkem Spiel
		• Standardisierung • Modularisierung	• Technik-Technik-Schnittstelle standardisiert konstruieren	
		• Verstellbarkeit zur Feinjustierung auf anthropometrische Längenmaße	• Technik-Technik-Schnittstelle mit Schiene/ Rasten konstruieren	
	• geringe Kosten	• Konfektionsgrößensystem mit wenigen Größen	• allgemeingültige Form	• Steuerungsvermögen des Menschen bei Nebenbewegungen (vom Unterstützungsprofil abweichenden Richtungen) gemindert • geringere Passfähigkeit bei harten/steifen Strukturen • Kompressionssyndrom bei zu kleiner Größe • geminderte oder verzögerte Kraftübertragung durch zu großes Spiel
Sicherheit	• Vermeiden von Hautverletzungen	• Vermeidung von Scherkräften	• geringe Verwringungen im Material • Technik-Technik-Schnittstelle so konstruieren, dass ausschließlich Normalkräfte übertragen werden	• Verletzungsgefahr bei Inkongruenzen der Achsen • hohe Kosten • ausladende Form
		• Wärmestau vermeiden • Evaporation ermöglichen	• kleine Form • Belüftungsöffnungen • Atmungsaktive Materialien	• Belastungsspitzen
		• Belastungsspitzen vermeiden	• großflächige Form • abgerundete Kanten	• Wärmestau
	• Vermeiden von Kompressions-syndromen	• vaskuläre und neuronale Strukturen schützen • Kompressionsspitzen vermeiden • Druck verteilen • zirkuläre Abschnürungen vermeiden • Berücksichtigen von Vorerkrankungen	• Polsterung • weiche Materialien • großflächige Form • offene Form • individuelle Form • weite Form	• geminderte oder verzögerte Kraftübertragung • geminderte Evaporation • hohe Kosten • geminderte oder verzögerte Kraftübertragung
	• Sicherheit im Fall des Systemausfalls	• Schnelles öffnen der Schnittstelle	• Schnellverschlussfunktion • offene Form	• Verletzungsgefahr bei Einklemmung zB. der Haut • geminderte Kraftübertragung
	• Sicherheit bei Sturz	• (Splitter) Bruch vermeiden	• weiche Materialien • elastische Materialien • Schnellverschlussfunktion • Hüllstruktur über harte, steife struktur	• geminderte oder verzögerte Kraftübertragung
	Komfort	• Evaporation ermöglichen	• Belüftungsöffnungen • offene Form • kleinflächige Form	• geminderte Kraftübertragung • Kraft-/Druckspitzen
		• Schweißresorption in der Schnittstelle	• resorbierendes Obermaterial	
		• Passfähigkeit	• individuelle Passform	• hohe Kosten
		• intuitive Bedienbarkeit • schnelles An- und Ausziehen	• weite, offene Formen • elastisches Material • Schnellverschluss	• geminderte oder verzögerte Kraftübertragung • Verletzungsgefahr bei Einklemmung zB. der Haut
		• Bewegungsfreiheit	• Passfähigkeit variabel je nach Muskelzustand • Bewegungsfreiheit erhalten • Nebenbewegungen nicht einschränken	• geminderte oder verzögerte Kraftübertragung
Hygiene	• Hautverträglichkeit		• antiallergene Materialien	
	• Resistenz gegen Korrosion durch Schweiß, Sterilisations- oder Reinigungsmittel		• sterilisierbare Materialien • waschbares, abnehmbares Obermaterial	• Verschiebung der Materialien untereinander beim Auftreten von Scherkräften

trifft vor allem die Form- und Volumenveränderung in verschiedenen Gelenkpositionen der angrenzenden Gelenke in aktiviertem und inaktiviertem Muskelzustand. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Volumenänderung des

M. biceps brachii in pronierter und supinierter Gelenkstellung des Ellenbogens.

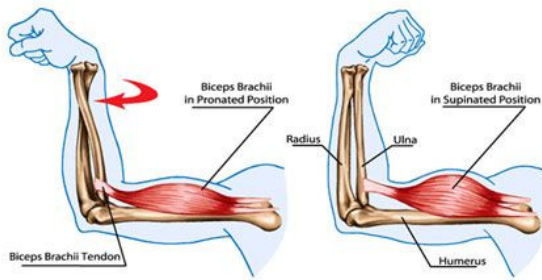


Abbildung 3: Volumenveränderung des Oberarmes in Pronation und Supination [Styl18]

Um die Varianz der Form- und Volumenveränderung zu erfassen und zu bewerten, müssen zunächst die Freiheitsgrade und das Bewegungsausmaß angrenzender Gelenke der zu betrachtenden Körperregion bestimmt werden.

Im Falle der Oberarm-MTS wurden je neun Flexions- und Abduktionswinkel der Schulter, drei Flexionswinkel des Ellenbogens in pro- und supinierter Stellung, sowie drei kombinierte Gelenkstellungen mit aktiver und inaktiver Muskulatur mittels 3D-Scanner (Artec® Eva) erfasst.

Zur bestmöglichen Vermeidung von Bewegungsartefakten innerhalb der Scans wurde ein Versuchsstand aufgebaut, in dem die Versuchsperson sich anlehnen und durch justierbare, abgepolsterte Stäbe punktuell unterstützt wurde. Die Hand des zu scannenden Arms lag auf einem in der Höhe und Weite justierbarem Griff auf und wurde zudem am Unterarm durch punktuell anliegende Stäbe gestützt (Abbildung 2A). Um in Phase Drei die anatomischen Landmarken effizient ermitteln zu können, wurden Olecranon, Acromion, Proc. spinosus C7, Fossa jugularis und Proc. styloideus ulnae mit farbigen textilen Markern gekennzeichnet.

4.2 Post-Processing

Alle 3D-Scans wurden mit dem Standardvorgehen der Artec®-Studio 12 Professional Software bearbeitet. Es erfolgte zunächst die Fein- und Grobregistrierung der einzelnen Bilder aller Scans sowie die Ausrichtung der Scans zueinander. Ausreißer wurden über die zweifache Standardabweichung gefiltert und anschließend mit der weichen Fusionierung zu

einem 3D-Objekt verschmolzen. Abschließend wurden entstandene Löcher im 3D-Objekt gefüllt und das Datenvolumen über die Netzverfeinerung reduziert. Abbildung 2B zeigt einen exemplarischen Scan vor und nach dem Postprocessing.

4.3 Segmentierung der beobachteten Körperregion und Ermittlung von anatomischen Landmarken

Zunächst wird das jeweilige 3D-Modell mittels Matlab in ein geeignetes Koordinatensystem überführt. Dieses Koordinatensystem ist so aufgebaut, dass die X-Achse von posterior nach anterior, die Y-Achse von rechter zu linker Hand und die Z-Achse von den Füßen zum Kopf verläuft. Der Koordinatenursprung liegt auf der niedrigsten Höhe der Fußsohle unterhalb des Körperschwerpunktes. Die Segmentierung in sechs Körperabschnitte erfolgt nach [Don17]. Anschließend wird das Körpersegment rechter Arm auf einer Höhe zwischen 45% und 55% der Armlänge anhand der Farbinformation des markierten Ellenbogens im 3D-Objektes ermittelt und auf diese Weise die Höhe des Ellenbogens detektiert.

In einem weiteren Schritt wird der Bereich zwischen 55% und 80% der Armlänge in gleich große Abschnitte zerlegt und anhand aller Punktkoordinaten des Abschnittes der Mittelpunkt berechnet. Über die errechneten Mittelpunkte wird im folgenden Schritt eine Regressionslinie bestimmt, welche den mittleren Verlauf des Oberarmknochens repräsentiert. Über der Regressionslinie wird eine orthogonale Ebene aufgespannt und auf die Höhe des Ellenbogens translatiert.

Anschließend wird die neue Ellenbogen-Ebene vervielfacht und prozentual zur Oberarmlänge verschoben (siehe Abbildung 2D). Die jeweiligen Schnittpunkte zwischen den Ebenen und der Punktwolke werden als Schnittkurven in das Datenfitting überführt.

4.4 Datenfitting

Zunächst werden alle Schnittkurven über Translationen und Rotationen im dreidimensionalen Raum standardisiert, sodass der Mittelpunkt der untersten (Ellenbogen-) Ebene im

Koordinatenursprung liegt (Abbildung 2E und F). Abbildung 2G zeigt das Fitting der Schnittkurven in Ellipsen, welche über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate nach [Gal03] berechnet wurde.

Die Ellipsen-Kenndaten (Halbachsenlängen, Rotation der Ellipsen zum Ursprung, Ellipsenabstände in der Z-Ebene sowie die Translation der Ellipsenmittelpunkte aus dem Ursprung in der X- und Y-Ebene) der unterschiedlichen Scans über die Winkelbedingungen und Muskelzustände der Versuchsperson werden anschließend statistisch auf ihre Varianzen analysiert. Mittelwerte der Ellipsenkenndaten im Höhenprofil der Oberarme werden ermittelt und fließen in den Konstruktionsprozess der MTS ein.

4.5 Konstruktionsprozess

Nach dem Datenfitting werden die Ellipsenkenndaten in das parametrisierte CAD-Modell überführt.

Dabei sind bereits die unveränderlichen Strukturen der Technik-Technik-Schnittstelle für die Anbindung an das für die Validierung herangezogene Unterstützungssystem Lucy [Ott16] hinterlegt. Ebenfalls im Modell integriert sind generalisierte Ellipsen (Halbachsen, Winkel, Ellipsenmittelpunkte und Abstände zwischen Ellipsen) mit festgelegten Abstand zueinander. Die Zwischenräume der parallel liegenden Ellipsen werden über ein Spline-Verfahren geschlossen. Die so gebildete Fläche definiert die Innenseite der Armschale. Diese Innenfläche wird anschließend nach außen extrudiert und definiert so die vorläufige Form der Armschale, welche noch einem Rohr ähnelt. Ein umlaufender und sich an markanten Landmarken orientierender Schnitt (Ausschnitt Epicondylen, Sulcus bicipitalis medialis, Gegenseite der kraftwirksamen Richtung des Unterstützungssystems) begrenzt die Außenkonturen der Armschale und liegt als parametrisierbarer Datensatz in der Konstruktionsdatei vor (Abbildung 2H). Eine weitere Schnittlinie wird ausgehend von der äußeren Schnittlinie parallel mit einem Offset von ca. 1,5cm gesetzt und grenzt so den weicheren Rand der Armschale vom härteren

Kern ab. Im Hinblick auf die generative Fertigung wird ausgehend von der inneren Schnittlinie ein weiterer Offset (ca. 0,3mm) festgelegt um die Materialien unterschiedlicher Härte im Übergang zu stabilisieren.

Die Individualisierung erfolgt automatisiert durch das Einbinden der personenbezogenen Ellipsenkennparameter.

4.6 Fertigung

Für die Validierung des Methodenansatzes wurden eine exemplarische, individualisierte Schnittstelle als Baugruppe, bestehend aus den jeweiligen Bereichen für die unterschiedlichen Materialhärten, ausgegeben und anschließend im Polyjet 3D-Druckverfahren hergestellt (Abbildung 2I).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von den spezifischen Anforderungen physischer Mensch-Technik-Schnittstellen für Exoskelette wurden zentrale Funktionen, sowie Material- und Formeigenschaften solcher Systeme abgeleitet und mögliche Komplikationen aufgezeigt. Darüber hinaus wurde ein neuartiger Methodenansatz zur Entwicklung individualisierter MTS beispielhaft anhand einer MTS für den Oberarm eingeführt. Dieser automatisierte Ansatz zeichnet sich durch folgende Punkte aus:

- Zunächst ist der gesamte Prozess von der Verarbeitung der anthropometrischen Daten bis hin zur Konstruktion einer individualisierten MTS voll automatisiert, was den Zugang von individualisierten Exoskeletten aus einem Baukastensystem für den Massenmarkt ermöglicht.
- Die Kraftübertragung ist sowohl durch Form als auch Kraftschluss realisiert und lässt so eine Steuerung des Exoskelettes in alle Bewegungsrichtungen zu, vermeidet dabei jedoch das Prinzip der zirkulären Gurtung und damit die Schädigung von Weichteilgewebe.
- Die individualisierte Form lässt eine Formveränderung der Muskulatur in Bewegung und unterschiedlichen Muskelzuständen innerhalb der MTS zu und gewährleisten dabei die Sicherheitsanforderungen an die

Schnittstelle des Exoskelettes, inklusive dem Schutz der hoch sensiblen vaskulären und neuronalen Strukturen im Sulcus bicipitalis medialis.

- Die Nutzung unterschiedlicher Härtegrade insbesondere die weichen, flexible Außenkontur der Schnittstelle vermindert bei Inkongruenzen der Achsen starke Belastungsspitzen des Weichteilgewebes.
- Die semigeschlossene Form gibt darüber hinaus die Möglichkeit der axialen Translation des Oberarmes in der Schnittstelle und kann so Gelenkstrukturen schonen und leichte Inkongruenzen der Kinematiken ausgleichen.
- Großflächige, steife Anteile der Armschale im Bereich der Unterstützungsrichtung vermeiden Druckspitzen, die kleinflächigen und weichen Anteile im medialen und oberen Bereich der Armschale bieten die Möglichkeit der Evaporation, sowie ein leichtes An- und Ablegen der MTS des

Exoskelettes. Die individuelle Passform erhöht darüber hinaus den Komfort des Exoskelettes wesentlich.

Für eine Vollautomatisierung des gesamten Prozesses inklusive der Datenerfassung müssen die Aufnahmen der verschiedenen Gelenkpositionen und Muskelzustände auf Kernstellungen reduziert werden (maximal 3 Gelenkpositionen).

Ausstehend ist die Festlegung gewisser Grenzbereiche der mittleren Ellipsendaten (Einfluss der Varianzen der Form- und Volumenänderung), um die Kraftübertragung der Exoskelette bei geringer Kompression der Weichteile möglichst optimal zu gestalten, sowie die Festlegung der Härte- und Steifigkeitseigenschaften der Armschale.

Darüber hinaus ist eine Validierung der Armschalen vorgesehen, welche die Druckverteilungen innerhalb der Schnittstelle prüfen sowie die Erfassung der Durchblutungssituation des Oberarmes im Gebrauch des Exoskelettes ermöglichen soll.

Literatur

- [Ass18] Assyst GmbH: Vidya 3D mit Realitätsplus. URL https://www.human-solutions.com/fashion/front_content.php?idcat=150&lang=5.
- [Bub15] H. Bubb: Automobilergonomie, Wiesbaden, Springer 2015.
- [Dur14] J. V. Dura, G. Caprara, M. Cavallaro, A. Ballerino, C. Kaiser und D. Stellmach: New technologies for the flexible and eco-efficient production of customized products for people with special necessities: Results of the FASHION-ABLE project. In: 2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE), 2014.
- [Don17] M. Donlic, T. Petkovic, S. Peharec, F. Berryman und T. Pribanic: On the segmentation of 3D human body models. In: 8th International Scientific Conference on Kinesiology Bd. 1, 2017, S. 694-697.
- [Gal03] O. Gal: fit_ellipse, MATLAB Central File Exchange, 2003.
- [Hab14] S. Habetha und U. Goldbach: Sichtung, Sammlung und Auswertung der verfügbaren Belege zur Wirksamkeit von Bandagen und Orthesen am Knie. Kiel, IGSF Institut für Gesundheits-System-Forschung GmbH, 2014.
- [Hoh05] D. Hohmann, L. Mannerfelt und R. Uhlig: Orthopädische Technik. Stuttgart: Thieme, 2005.
- [Kai14] C. Kaiser, A. Artschwager, D. Stellmach, T. Schmelzpfennig, J. V. Dura und M. Stohr: Development of a made to measure process for customizing lumbar orthotics for obese people. In: 2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering Responsible Innovation in Products and Services (ICE), Vol (11), 2014.
- [Mor18] S. Morlock, C. Lörcher und A. Schenk: Entwicklung eines ergonomisch- und bewegungsorientierten Größensystems für Funktionsmaße zur optimierten Gestaltung

- von Berufs- und Schutzbekleidung. Schlussbericht zum IGF-Vorhaben 18993, 2018.
- [Meh15] J. Mehrholz, M. Pohl, M. Platz, T. Kugler und B. Elsner: Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. In: Cochrane Database of Systematic Reviews Vol 11, 2015.
- [Oom18] P. J.A. Oomens, S. Loerakker und D. Bader: The importance of internal strain as opposed to interface pressure in the prevention of pressure related deep tissue injury. In: Journal of Tissue Viability, Vol. 19(2), 35-42, 2010.
- [Ott18] B. Otten, R. Weidner und A. Argubi-Wollesen: Evaluation of a novel active exoskeleton for tasks at or above head level. In: IEEE Robotics and Automation Letters Vol. 3, 2018.
- [Ott16] B. Otten, R. Weidner und C. Linnenberg: Leichtgewichtige und inhärent biomechanisch kompatible Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. In: Band zur 2. Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, 2016, S. 495-506.
- [Ple16] C. Plegge: Bedeutung und kinematische Untersuchung der Passform eines aktiven Exoskelettes für die untere Extremität. In: Band zur zweiten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, 2016.
- [Sei08] A. Seidl, R. Trieb und H.-J. Wirsching: SizeGermany - die neue Deutsche Reihemessung - Konzeption, Durchführung und erste Ergebnisse. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Produkt- und Produktions-Ergonomie - Aufgabe für Entwickler und Planer. Dortmund: GfA-Press, 2008, S. 391-394.
- [Sty18] Stylecraze: Top 15 Exercises To Take Care Of Tennis Elbows. URL <https://www.stylecraze.com/articles/exercises-to-take-care-of-tennis-elbows/>
- [Spe08] J. Specht, J. Pfeil und M. Schmitt: Technische Orthopädie: Orthesen und Schuhzurichtungen. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2008.
- [Sch18] F. Schroeter, R. Weidner, P. Dehmel, T. Jakobson und J. P. Wulfsberg: Der beflügelte Mesch - gesteigerte Konzentration durch Unterstützungssystem in der Produktion. In: 51. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie 15.-20. September Frankfurt am Main. Frankfurt am Main, 2018.
- [Yan17] M. B. Yandell, B. T. Quinlivan, D. Papov, C. Walsh und K. E. Zelik: Physical interface dynamics alter how robotic exosuits augment human movement: implications for optimizing wearable assistive devices. In: Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation Vol. 14 (1), 2017.

Akzeptanz als Problem, Partizipation als Lösung?

Zu Prämissen und Bias in der partizipativen Forschung

H. Hagen, M. Nitschke, D. Schlindwein und S. Goll

Hochschule Hannover, Fakultät V
holger.hagen@hs-hannover.de, michel.nitschke@hs-hannover.de,
daniela.schlindwein@hs-hannover.de, sigrun.goll@hs-hannover.de

Kurzzusammenfassung

Partizipative Technikentwicklung findet meist in einem durch ‚Akzeptanzorientierung‘ bestimmten Rahmen statt. Seit einiger Zeit mehren sich jedoch – von der Diffusionsforschung über die Sozialwissenschaften bis hin zur Philosophie – ernstzunehmende Kritiken am ‚Akzeptanzparadigma‘. Eine nähere Analyse bestätigt, dass die akzeptanzorientierte Rahmung partizipativer Forschung ‚problematische‘ Implikationen in sich birgt: Die doppelte Orientierung in Richtung Bedürfnissen und ‚Akzeptanz‘ erfordert nicht nur eine bedenkliche ‚Subjektivierung‘ der Partizipierenden, sondern konstituiert auch einen spezifischen ‚Blick‘ der professionell Forschenden auf sie und ihre Beiträge. Seine systematische Entfaltung ergibt eine Reihe von Bias, welche die Forschung beeinträchtigen können. – Mit diesen Implikationen wird zugleich ein wichtiger Gegenstand der ELSI-Forschung identifiziert.

Abstract

Acceptance as a Problem, Participation as a Solution? On Premises and Biases in Participatory Research

Participatory technology development usually proceeds within an acceptance-oriented framework. For some time though the number of serious critiques of the ‘acceptance paradigm’ is increasing – from diffusion research via social sciences through to philosophy. A closer analysis confirms that this framing of participatory research entails ‘problematic’ implications. The two-fold orientation towards needs and ‘acceptance’ not only requires a questionable ‘subjection’ of the participants but also constitutes a specific ‘gaze’ of the professional researchers at them and their contributions. Its systematic unfolding yields a set of biases which may mislead research. – These implications are identified as an important subject of ELSI research.

Keywords

Akzeptanz, Partizipation, Bias, Subjektivierung, ELSI

1 Einleitung

In Bezug zu technischen Forschungs- und Entwicklungsprojekten sehen sich die Sozialwissenschaften immer wieder „mit der Erwartung konfrontiert, ‚Akzeptanzforschung‘ anzubieten“ [Sch13], d.h. dem zweifelsohne ‚sozialen‘ Gesichtspunkt der ‚Technikakzeptanz‘ in ihrer Forschung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Ähnlich ergeht es der Philosophie, wenn ihre Aufgabe darin gesehen wird, in der Technikentwicklung „frühzeitig ethisch zu evaluieren [...] mit dem Ziel, [...] Akzeptanz für die Technik und deren Einsatz

herzustellen“ [Web15]. Wenn zur Förderung der Akzeptanz schließlich auch seit einiger Zeit partizipative Methoden in die technische Entwicklung eingeführt werden, dann gilt als die zentrale Frage an die Wissenschaften: „Können Beteiligungsprozesse die in sie gesetzten Hoffnungen bzgl. einer gesteigerten Akzeptanz erfüllen?“ [Hil18] – Diese Anfragen legen beredtes Zeugnis davon ab, dass der Begriff der ‚Akzeptanz‘ seit seinem Aufkommen in den 1980ern Jahre enorme Aufnahme und Verbreitung gefunden hat und schon

lange zum „Schlüsselbegriff“ [Kol98] in Theorie und Praxis geworden ist.

Wenig allgemeine Beachtung hat dagegen lange Zeit eine selbstkritische Entwicklung in der Diffusionstheorie [Rog03] gefunden – also in einer der maßgeblichen Grundlagen der Akzeptanzforschung. Die Einsicht, dass die dort begonnene kritische Revision der eigenen theoretischen Prämissen Implikationen für die Erforschung von Akzeptanz mit sich bringt, hat in der Folge auch in ihr zu einer Kritik des „Akzeptanzparadigma[s]“ [Kön08] geführt. Parallel dazu fanden allerdings auch vor anderen Hintergründen Auseinandersetzungen mit dem Begriff der Akzeptanz statt: In der Technikfolgenabschätzung etwa wird er schon seit längerem „kritisch gesehen“ [Gru03]. Und in einem sozial- bzw. kulturwissenschaftlichen und philosophischen Kontext werden Stimmen vernehmbar, die vor einem „*acceptance bias*“ [Sto18] warnen – eine Formulierung, die deutlich macht, dass dieses theoretische Konzept ‚problematische‘ Implikationen für die unter seiner Voraussetzung betriebene *empirische Forschung* hat.

Angesichts dieser bemerkenswerten Entwicklungen kann von den Sozialwissenschaften und der Philosophie – etwa in der Rolle der ELSI-Begleitforschung – nicht erwartet werden, jene an sie ergehenden Anfragen durch ihre Forschung schlicht zu beantworten: Es bedarf offenbar vielmehr einer Reflexion der in den Fragestellungen enthaltenen Prämissen selbst. Als Formen der *wissenschaftlichen Selbstreflexion* von Gesellschaft muss es diesen Disziplinen ohnehin nicht zuletzt darum gehen, die in Praxis und Theorie stets unreflektiert *vorausgesetzten Momente theoretisch einzuholen* und einer Prüfung zu unterziehen. In diesem Sinne ist in Bezug auf die sozialwissenschaftliche und philosophische Befassung mit technischen Entwicklungsprojekten der Frage nachzugehen, was es für die dort stattfindende *partizipative Forschung* bedeutet, ein im Rahmen des Akzeptanzparadigmas organisierter Forschungsprozess zu sein. ELSI-Forschung, die sowohl die Forschungs- und Entwicklungsprojekte selbst als auch deren

angestrebte Resultate auf ihre ‚problematischen‘ Implikationen hin untersucht, hat hier ein wichtiges und noch wenig beachtetes Feld zur *Erforschung* und Schaffung eines ‚*Problembewusstseins*‘ in den Projekten – und zur *Förderung guter Partizipation*.

Die folgenden Überlegungen konzentrieren sich in Anbetracht des begrenzten Rahmens dieser Darstellung ganz auf einen ‚Problemaufriss‘ mit Bezug auf die Bias in der partizipativen Forschung und Entwicklung. Dabei dürfte in der partizipativen Technikentwicklung dasselbe gelten wie in der Diffusionstheorie: „Certainly the first and most important step in shedding a [...] bias [...] is to recognize that it may exist“ [Rog03].

2 Im Rahmen der Akzeptanzorientierung

Der Begriff und Forschungsgegenstand ‚Akzeptanz‘ wird je nach Kontext unterschiedlich aufgefasst. Zunächst ist daher zu fragen, was in der akzeptanzorientierten Technikentwicklung darunter verstanden wird – und inwiefern sich daraus ein Bedarf an partizipativer Forschung ergibt. Zweitens soll kurz dargelegt werden, wie diese in dem damit aufgespannten Rahmen bestimmt ist, und drittens, welche Perspektive der die Partizipation organisierenden Forschungsteams damit einhergeht.

2.1 Von ‚Akzeptanz‘ zur Partizipation

Das Konzept *akzeptanzorientierter Technikentwicklung* besteht darin, dass es bei Kenntnis der zu erwartenden Akzeptanzlage möglich sein sollte, Akzeptanzprobleme „bereits in der Technikentwicklung zu berücksichtigen“, wobei durch „prospektive Untersuchungen [...] herauszufinden [sei], welche Technik (einschließlich ihrer Risiken und sonstiger Nachteile) faktisch wohl akzeptiert würde“ [Gru05]. Indem es so um „Erwartungen, Wünsche und Präferenzen der Nachfrageseite“ geht, erhält die „Technikakzeptanzforschung den Charakter einer ‚antizipierenden gesellschaftlichen Marktforschung‘“ [Hüs03]. *Technikakzeptanz* wird hier, in den „Ansätze[n] der Begleit-, Projekt- und Wirkungsforschung“ also – etwas anders als z.B. in der Technikfolgenabschätzung – verstanden „als

das Maß der faktisch erfolgten Durchsetzung einer Technik auf dem Markt oder deren faktische Nutzung“ [Pet05].

Erfahrungen dieser Forschung „mit der mangelnden Prognostizier- oder Extrapolierbarkeit des Akzeptanzverhaltens“ sowie mit dessen Interpretation haben in den letzten Jahrzehnten schließlich zu einer „prozeduralen“ [Gru05] oder besser „partizipative[n] Wende“ [Gru10] geführt, die bis in die Technikentwicklung selbst hineinreicht.

Neu an dieser Wende war dabei nicht die Idee, potentielle Nutzer_innen an Entwicklungsprozessen zu beteiligen: Erste Konzepte für ein *Participatory Design* (PD) gehen bereits auf die 1970er Jahre zurück, als anlässlich der Verbreitung der Computertechnologie in der Industrie – die sogenannte dritte industrielle Revolution – die einseitige Ausrichtung der Technikentwicklung an Unternehmensinteressen zu Lasten der Beschäftigten kritisiert wurde: Dequalifizierungen, Lohnsenkungen, Entlassungen usw. wurden als absehbare Folgen dessen betrachtet, dass die neuen Technologien nicht zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen für die Arbeitenden, sondern im Sinne der Unternehmen – etwa zur Senkung der für maßgeblich gehaltenen Lohnstückkosten – entwickelt und eingesetzt wurden. Skandinavische Forscher_innen konzipierten damals in Kooperation mit Gewerkschaften den Ansatz, die Belange der Beschäftigten dadurch einfließen zu lassen und somit ihre Position zu stärken, dass sie auf verschiedenen Ebenen an der gesellschaftlichen Technikentwicklung partizipieren [Ken98, Spin05].

Das Neue der „partizipativen Wende“ in der Technikentwicklung war also nicht der Gedanke der Beteiligung selbst, sondern der *Gesichtspunkt der Akzeptanzförderung*, von dem aus die bereits entwickelten Partizipationsformen – vor allem auf Projektebene – nun in ganz neuer Weise interessant erschienen.

„Beteiligungsverfahren können auch eingesetzt werden, um mögliche spätere Nutzer [sic] von Technologien frühzeitig an Entscheidungsprozessen über deren Auslegung zu beteiligen und so ihre Bedürfnisse und Erwartungen in den Prozess der

Technikgestaltung direkt einfließen zu lassen. Auf diese Weise wird, ähnlich wie in der Marktforschung, erwartet, dass die so entstandenen Produkte bessere Akzeptanz auf dem Markt finden“ [Gru10].

Die Praxis partizipativer Technikentwicklung wurde daher im Folgenden in den Rahmen der Akzeptanzorientierung versetzt und in diesem weiterentwickelt.

2.2 Eine doppelte Orientierung

Mit der Beteiligung von als potentielle Nutzer_innen figurierenden Menschen an der Technikentwicklung wird zunächst eine Position bezogen, die sich gegen eine „Entwicklung ausgehend von den technischen Möglichkeiten“ richtet und stattdessen dem „Menschen und seinen Bedürfnissen“ dienlich sein will und fragt: „Wie kann man den Menschen unterstützen?“ [Bra15]. Personen werden in der Rolle von Partizipierenden – mehr oder minder weitgehend – in *Subjekt-Positionen* gebracht: Sie sollen bei der Technikentwicklung (auch) ‚etwas zu sagen‘ haben. Insofern ist ihr ganz *eigener* Beitrag gefragt: Sie sollen aus *ihrer Perspektive* sprechen und einbringen, was *sie* für relevant halten [Mer18].

Durch diese „menschenorientierte Sicht“ [Bra15] soll die Entwicklung dann im Weiteren zu Resultaten führen, die eine bessere ‚Akzeptanz‘ auf dem Markt finden. In dieser Hinsicht ist es allerdings erforderlich, dass sich die Beiträge der Partizipierenden im Rahmen dessen bewegen, womit sich bei dieser Zielsetzung ‚etwas anfangen‘ lässt. Es findet somit eine Definition und Grenzziehung in Bezug darauf statt, was im Projektkontext sinnvoller Weise „can be said, seen, heard, thought and talked about“ [Wri15], wie es Wright und McCarthy, auf Rancière beziehend, ausdrücken. Um in diesem Rahmen daher Subjekt-Positionen einnehmen zu können, müssen die Beteiligten *sich* auf die ‚Regeln‘ dieses Diskurses *einstellen*. – Ein besonderer Fall dessen, was Foucault als „Subjektivierung“ [Fou05b] bezeichnet und was auf den eigentümlichen Charakter des modernen ‚Subjekts‘ im Allgemeinen verweist [Fou05b].

2.3 Die Formation des forschenden Blickes

In diesem Rahmen konstituiert sich ein spezifischer ‚Blick‘ der professionell Forschenden und Entwickelnden auf die Partizipierenden und ihre Beiträge. Dabei lässt sich zunächst mit Spinuzzi festhalten: „Participatory design is research. [...] [Its] object of study is the *tacit knowledge* developed and used by those who work with technologies“ [Spi05]. Werden die partizipierenden ‚Nutzer_innen‘ nach dieser Seite hin als ‚Expert_innen ihrer Lebenswelt‘ [Bei16] aufgefasst, so verstehen sich die professionell Forschenden etwa als „facilitators“, denen es darum geht, partizipative Beiträge zu ermöglichen und zu fördern [San08].

Durch die doppelte Orientierung des Entwicklungsprozesses ergibt sich auch für die professionell Forschenden ein *doppelter Blick*. Die Akzeptanzorientierung führt zu einer eigenen Frage- und Aufgabenstellung in Bezug auf die Partizipation:

„In der Konsequenz muss die Akzeptanz fortlaufend vor, während und nach der Entwicklung neuer Technik untersucht werden. Nur auf diese Weise lässt sich überprüfen, ob [...] der Einbezug der Anwender [sic] in den Entwicklungsprozess [...] tatsächlich zu dem intendierten Ziel führt: der Steigerung der Akzeptanz neuartiger Technik“ [Bra15].

Für den derart *kontrollierenden Blick* scheint es notwendig zu sein, dass „the end user is positioned by the team as [...] an outsider who needs to be tamed and trained“ [Wri15]: Die Partizipierenden bedürfen demzufolge einer Hilfe, die darauf abzielt, dass sich ihre Beiträge in den für den akzeptanzorientierten Projektdiskurs sinnvollen Bahnen bewegen.

3 Implikation: Bias

Es zeigt sich also, dass in der akzeptanzorientierten partizipativen Technikentwicklung ein bestimmter *Blick auf* die Partizipierenden und ihre Beiträge geworfen wird – dem sich übrigens auch die Forschenden zunächst *nicht als solchem bewusst* sind: Er ist, wie Rogers in Bezug auf die Diffusionsforschung festhält, in

den Forschungsprämissen „assumed and implied“ [Rog03] – nicht aber schon reflektiert.

3.1 ‚Technological Fix‘-Bias

Wenn der inhaltliche Rahmen der fraglichen Entwicklungsprojekte aufgespannt wird „by making certain things commonsense, and thus not open to question“ [Wri15], so ist die grundlegende Prämisse diejenige, dass es gilt, *technische Lösungen zu finden*. Dass sich im Verlauf der inhaltlichen Auseinandersetzungen im Projekt in Bezug auf manche, vielleicht sogar wesentliche Punkte herausstellen kann, dass „the question really is ‘to use or not use technology’“ [Sto18], ist hier im Grunde nicht vorgesehen. Dabei ist selbstverständlich nicht zu bestreiten, dass viele Probleme einer technologischen Lösung zugänglich sind – ob sie das sind oder nicht oder inwieweit kommt allerdings auf die *konkreten Probleme* an und kann daher nicht vorausgesetzt werden. Die Position, die dies dennoch zur Prämisse und somit zum *Prinzip* erhebt – und „für das neuzeitliche Denken dominant geworden ist“ – ist der „*Technizismus*“:

Es „entwickelt sich im Laufe der Neuzeit eine Einstellung, die sich nicht darauf beschränkt, die Technik als wertvolles und vorzügliches Werkzeug zu betrachten, sondern die von dem Glauben getragen ist, dass *alle Lebensprobleme durch die wissenschaftlich-technische Veränderung der Welt zu lösen sind*“ [Sac78].

Im Englischen wird eine eher praktisch orientierte Position mit einer solchen Stoßrichtung auch mit dem – etwas uneindeutigen – Terminus ‚*technological fix*‘ bezeichnet [Ros04]. Durch den *Präsuppositionscharakter* und die damit einhergehende *Gegenstandsunabhängigkeit* wird die Idee des ‚*technological fix*‘ zu einem kognitiven *Bias*, das sich sowohl im Nachdenken über das Problem bzw. die Sache als auch in der Rezeption partizipativer Beiträge geltend machen kann – „and might distract attention from the true solution“ [Ros04]. Insofern es bei der partizipativen Entwicklung darum geht, dass die Partizipierenden ihre Sicht der Dinge und Probleme formulieren, wird der damit gegebene Rahmen – trotz der

Einstellung auf die ‚Regeln‘ des Projektdiskurses – allerdings nicht ‚von selbst‘ eingehalten. Gerade Erfahrungen mit negativen Seiten ‚der‘ technischen Entwicklung können auch als Gründe angesehen werden, in andere Richtungen zu denken. Die Einhaltung dieses Rahmens wird daher zu einem Sorgegegenstand des sich in der Regel selbst im Zentrum verortenden ‚Projektteams‘ [Wri15]. Es muss dafür sorgen, dass die demgegenüber peripher verorteten ‚Partizipierenden‘ einen „funktionalen Beitrag für die Entwicklung einer technologischen Innovation [...] leisten“ [Com09] – und der ihnen zugeschriebenen Identität als „imagined ‚users‘ of these technological innovations“ (Bei16) gerecht werden.

3.2 Pro-Innovation Bias

Projekte beginnen in der Regel nicht erst, wenn es darum geht, technisch lösbare Probleme zu identifizieren oder technische Lösungen für dieselben zu suchen, sondern wenn bereits grundlegende und pfadrelevante Entscheidungen getroffen sind und Entwicklungsergebnisse existieren, denen sich das Projekt im Weiteren widmet. Das können Produkte oder Verfahren in der „Entwurfs- oder frühen Konstruktionsphase“ sein, bei denen die Entwickelnden etwa auf der „antizipativen Suche nach Einbettungskontexten“ sind; bei „weit fortgeschrittener Technikinnovation“ und „bereits vorhandener Technik“ geht es dagegen eher um die „Einbeziehung von Nutzern [sic] bei der Implementation“ [Hal03]. In allen diesen Fällen ist eine erfolgreiche *Weiterentwicklung* der gegebenen Resultate angestrebt – was in gewissen Grenzen, etwa mit Hinblick auf die Pfadabhängigkeit, auch eine Umgestaltung einschließen kann.

Die hiermit praktizierte Auffassung, dass die Technik weiterzuentwickeln ist, um am Markt verbreitet und an ihrem Einsatzort genutzt zu werden, hat auch für die Partizipierenden und ihre Beiträge eine Implikation: die für selbstverständlich erachtete Voraussetzung, dass die *Innovation* und der mit ihr gegebene technische Rahmen *gut* ist. Eine solche Prämisse wurde in der Diffusionstheorie, die sich mit

der gesellschaftlichen Verbreitung von Innovationen beschäftigt und eine der maßgeblichen Grundlagen der Akzeptanzforschung darstellt [Arn16], als *Innovationspositivismus* kritisiert. Die basale „implication of most diffusion research that an innovation should be diffused“ ist nach Rogers zugleich „one of the most serious shortcomings of diffusion research“ [Rog03]. Wird die Forschung nämlich unter diese Prämissen gestellt, so tritt eine Verzerrung in der Betrachtung ein: Ein „Blick auf negative Konsequenzen der Innovation“ etwa wird „versperrt“ [Kar11], so dass diese in der proinnovativen Perspektive letzten Endes „systematisch übersehen“ [Kar13] werden. Rogers spricht deswegen von einem „pro-innovation bias“ [Rog03].

3.3 Source Bias

Eine Implikation des pro-innovation bias ist die Parteinahme für die Innovationsagenturen, welche die jeweilige Innovation entwickeln, produzieren oder verkaufen. Rogers bezeichnet diese Tendenz, „to side with the change agencies that promote innovations rather than with the individuals who are potential adopters“, als ein „source bias“ [Rog03], insofern hierbei für die ‚Quelle‘ der Innovation Partei ergriffen wird.

3.4 „Paternalismus ,durch die Hintertür“

In Fällen, in denen die technische Entwicklung nicht partizipativ organisiert wird, treffen ceteris paribus die potentiellen Nutzer_innen erst auf dem Markt auf die fertigen Produkte und Verfahren. Einem dabei in der technischen Entwicklung verbreiteten Bewusstsein zufolge ist diese ‚Organisation‘ insofern funktional, als auf der eigenen Seite eine bessere Kenntnis des technisch Möglichen und für die Nutzer_innen Sinnvollen bestehe, als bei diesen selbst. Henry Ford etwa wird die paradigmatische Sentenz zugeschrieben: „Wenn ich die Menschen gefragt hätte, was sie wollen, hätten sie gesagt: ‚schnellere Pferde‘.“ Da die Menschen also dazu neigten, sich über ihre eigenen Bedürfnisse in Bezug auf die technische Entwicklung zu irren, sei die bei der Industrie bzw. den Abteilungen für technische

Entwicklung am besten aufgehoben. Im Zuge der Erkenntnis, dass diese ‚Einschätzungen‘ die Bedürfnisse der Menschen *nicht treffen*, sondern lediglich *Zuschreibungen* aus einer als *übergeordnet* unterstellten Position vornehmen, ist diese Perspektive als ‚Paternalismus‘ gekennzeichnet und kritisiert worden. – Mit dem Fortgang zur Beteiligung der potentiellen ‚Nutzer_innen‘ an der Technikentwicklung scheint sie überwunden.

Verfolgt die Partizipation allerdings den Zweck der Akzeptanzsteigerung, so bleibt darin die Annahme enthalten, „dass die in Betracht gezogene Innovation von Konsumenten [sic] an sich als vorteilhaft eingestuft“ werde [Kön08] – und es insofern ganz in ihrem Sinne sei, wenn den Partizipierenden ein technisch definierter Bezugsrahmen vorgegeben wird, um bei dessen Ausgestaltung zugunsten der Akzeptanzsteigerung mitzuwirken. Auch in diesem Fall stellen sich die imaginierten Nutzer_innen also auf *Vorgaben von technischer Seite* ein – und auch hier wird dies als ‚in ihrem eigenen Interesse‘ liegend vorgestellt. Da dies nun aber in einem Setting geschieht, in dem es auf die ‚Nutzer_innen‘ als an der Gestaltung beteiligte Subjekte ankommen soll, spricht Grunwald von einem „Paternalismus ‚durch die Hintertür““ [Gru03]. Als Blick in der empirischen Forschung verzerrt er die Wahrnehmung der von den Partizipierenden vorgebrachten Bedürfnisse und Positionen.

3.5 Acceptance Bias

Der Innovationspositivismus bzw. das pro-innovation bias schließt unmittelbar die Annahme ein, dass die Innovation „should be [...] adopted by all members of a social system“ [Rog03], dass sie also „von jedem Individuum akzeptiert werden sollte“ [Kön08]. Analog zur Bedeutung des Proinnovationsparadigmas in der Diffusionstheorie handelt es sich Königstorfer zufolge bei diesem „Akzeptanzparadigma“ um „den vermutlich stärksten Schwachpunkt der heutigen Akzeptanzforschung“ [Kön08] – stellt es doch unmittelbar ein Bias dar, wie Stockmann erläutert:

„Regardless whether we use the word as an indicator of frequency or some deeper

meaning of integrating technology in our life, it still expresses a clear bias. We favour use of new technology, integration rather than rejection” [Sto18].

Forschung und Entwicklung gehen hier davon aus, dass die für gut angesehene Innovation sich am Markt bewähren wird und dass *im Prinzip die ‚Akzeptanz‘* der für nutzungsinteressiert und zahlungsfähig gehaltenen Kreise *zu erwarten ist*.

Was aber zum Beispiel gentechnisch veränderte Nahrungsmittel betrifft, wird „man in einigen Jahren [vielleicht] froh [sein] über eine heute fehlende Technikakzeptanz, so wie man sich heute in Bezug auf Asbest wünschen würde, dass dieser nicht auf so begeisterte Akzeptanz in der Bauindustrie gestoßen wäre“ [Gru03]. Diese Überlegungen von Grunwald machen die Implikationen und Konsequenzen des „*acceptance bias*“ [Sto18] deutlich, die Rogers schon in Bezug auf das zugrundeliegenden pro-innovation bias formuliert hat:

„The bias leads [...] to ignore the study of ignorance about innovations, to underemphasize the rejection or discontinuance of innovations“ und schließlich auch „[to] cloud adopters’ perceptions of an innovation“ [Rog03].

Während es sachlich durchaus naheläge, dem Bewusstsein der potentiellen „adopter“ und den von ihnen erwogenen Gründen nachzugehen, ergeben sich solche Fragen im Rahmen des Akzeptanzparadigmas nicht [Rog03]. – Fürs Erste wenigstens: In welcher Form sie sich auf dieser Basis dennoch stellen, wird sich im Folgenden noch erweisen.

3.6 Individual-Blame Bias

Der Gedanke, dass Akzeptanz ‚erwartet werden kann‘, liegt nicht nur sprachlich dicht an einer Position, die einen Anspruch formuliert, sondern es handelt sich in der Tat um eine in gewisser Weise *normative* Position [Sto18]: in dem Sinne nämlich, dass sie davon ausgeht, dass Akzeptanz für die Innovation eintreten *soll* und *tatsächlich* sollte. Diese gilt ihr insofern als die in der Wirklichkeit selbst gültige ‚Norm‘ oder ‚Normalität‘. – Was aber, wenn sich ‚die Realität‘ dem Ideal nicht fügen will

und sich dagegen Geltung verschafft, indem z.B. eine Ablehnung der Innovation eintritt?

Eine Zurückweisung muss von der Logik des Akzeptanzparadigmas her als *Abweichung* von dem erscheinen, was ‚*eigentlich*‘ zu erwarten ist. Weil eine Akzeptanz im ‚wohl verstandenen‘ Interesse der Adressierten liegen soll, muss die Ablehnung als „irrational“ oder „stupid“ [Rog03] erscheinen – jedenfalls als eine ganz individuelle ‚Fehlentscheidung‘.

Bei genauerer Analyse könnte sich allerdings zeigen, „that the innovation is not as appropriate“ für die Ablehnenden wie angenommen – und so könnte sich herausstellen, dass „for them, *not adopting* may be extremely rational“ [Rog03]. Aber die Behauptung der ‚Irrationalität‘ basiert nicht auf einer Betrachtung des Bewusstseins der Zurückweisenden. Als Eigenschaft zugeschrieben wird hier vielmehr nur die Nicht-Übereinstimmung mit der als sein-sollend unterstellten Bestimmung. Sie *sind* so, dass sie *nicht* das sind, was sie eigentlich sein sollten: statt akzeptierend und damit rational sind sie bedauerlicher Weise nicht-akzeptierend und damit ir-rational.

Die Logik dieses Schlusses folgt dem normativen Charakter des Akzeptanzparadigmas und resultiert daher in einem Urteil, das zwar keine Beschuldigung ist und sein soll, aber eine *analoge logische Form* aufweist. In diesem Sinne ist Rogers Ausführung zu verstehen, dass jene, die nicht wie gewünscht zur Verbreitung der Innovation beitragen, „are often individually blamed for not adopting an innovation“. Es handelt es sich um einen Fall eines weiteren Bias: des „Individual-Blame Bias“ [Rog03].

„*Individual-blame* is the tendency to hold an individual responsible for his or her problems, rather than the system of which the individual is a part. An individual-blame orientation implies that ‘If the shoe doesn’t fit, there’s something wrong with your foot’“ [Rog03].

Dass es sich dabei von vornherein um ‚Probleme‘ des Individuums handele, ist in diesem Kontext übrigens genau genommen selbst schon eine Umdeutung der Probleme, welche

vielmehr eine Innovationsagentur mit der Zurückweisung ihrer Innovation hat.

3.7 Apology/System-Blame Bias

Wenn es nun allerdings so ist, dass das Individuum eine Fehlentscheidung getroffen hat – ist dann nicht zu fragen, auf welcher Basis es entschieden hat? War es gut informiert? Wurden ihm ausreichende Informationen angeboten? Vielleicht ist weniger das Individuum als sein sozialer Zusammenhang, sein soziales ‚System‘ der maßgebliche Grund für die ausbleibende Akzeptanz? – Offenbar lässt sich in dieser normativ orientierten Logik auch eine über-individuelle Instanz für ‚schuldig‘ befinden: „*System-blame* is the tendency to hold a system responsible for the problems of individual members of the system“ [Rog03].

Die mangelnde Informationsversorgung ist in diesem Beispiel als etwas festzuhalten, dass der sein-sollenden Akzeptanz im Wege steht – eine ‚Akzeptanzbarriere‘: Etwas, das die individuelle Akzeptanz verhindert, so dass das Individuum nicht so kann, wie es ihm *eigentlich* entspräche. Zunächst mag es klingen, als sei mit derartigen ‚Barrieren‘ etwas angesprochen, das es genauso ‚gibt‘, wie es eben auch zuweilen ‚Akzeptanz‘ gibt. – „However, to speak of a [...] concern as ‘a barrier’ again implies an undesirable ‘acceptance bias’ which can be found in many technology acceptance studies“ [Sto18]. Die Vorstellung einer solchen ‚Barriere‘ folgt aus der Normativität des Akzeptanzparadigmas, indem bei der Beurteilung der ‚Verantwortung‘ des Individuums auch dessen Abhängigkeit von ‚äußeren Umständen‘ berücksichtigt wird. Während das system-blame bias im Verhältnis zu den sozialen Gegebenheiten ‚beschuldigende‘ Züge trägt, so in Bezug auf das Individuum entschuldigende. Zu dieser Seite hin könnte daher auch von einem ‚*apology bias*‘ gesprochen werden.

Hiermit hat sich nun auch gezeigt, dass das ‚individual-blame bias‘ nicht durch ‚system-blame‘ beseitigt wird – er geht gedanklich durch die Reflexion auf die Möglichkeiten des Individuums in diesen über, führt damit aber nur zu einem neuen, gegenteiligen Bias. In der

Tat teilen beide Positionen denselben Fehler:
„The essential error [...] is that they may have inadvertently equated the *cause* of an event or a condition, a matter to be theoretically ascertained, with the *blame* for an event or condition, which may be a matter of opinion and interpretation, based upon an observer's values and beliefs [...]. Cause and blame are two different matters“ [Rog03].

Die hier getroffene Unterscheidung und der Verweis auf die logische Kategorie „cause“ ist nicht etwa so zu verstehen, dass Rogers eine spezifische Form von Erklärung – nämlich durch einen Kausalnex – für angemessen hielte und diese vermisste. Es geht vielmehr darum, dass in jeder Variante des *blame bias* ein *Quid pro quo* von explanativen und normativen Kategorien enthalten ist. Zurückzuführen ist dies, wie sich bereits zeigte, auf die dem zugrundeliegenden Innovations- und Akzeptanzparadigma immanente Normativität.

3.8 „Akzeptanzbeschaffung“

Von der Frage nach den ‚Akzeptanzbarrieren‘ her lässt sich ein ganzes Spektrum möglicher negativer ‚Faktoren‘ ausmachen. Eine Erfassung aller „technischen, personalen und sozialen Akzeptanzbarrieren“ [Pet05] soll Klarheit über die *Gründe für das Ausbleiben* der erwarteten Akzeptanz der Innovation verschaffen. In der ‚akzeptanzorientierten Technikentwicklung‘ sollen die fraglichen Aspekte schon im Entwicklungsprozess selbst ermittelt und berücksichtigt werden – was vornehmlich deren konkrete Ausgestaltung betrifft.

Von Seiten der Technikfolgenabschätzung, die traditionell „mit dem Begriff der Technikakzeptanz zurückhaltend [...] umgegangen“ ist, um nicht in den Ruf einer „Akzeptanzbeschaffungsinstanz für Technik“ zu kommen, ist darauf aufmerksam gemacht worden, dass nicht nur dieser Begriff hier überhaupt „nicht kritisch gesehen“ [Gru03], sondern selbst noch der der „Akzeptanzbeschaffung“ vollkommen „unhinterfragt als positiv“ [Gru10] und unproblematisch vorausgesetzt wird.

Allerdings könnte es scheinen, wenn die ‚Nutzer_innen‘ ihre Bedürfnisse, Gesichtspunkte

und Kriterien ganz *offen* in die Forschung und Entwicklung einbringen sollen und nun explizit auch *gerade negative Beurteilungen von Interesse* sind, dass der Innovationspositivismus und das Akzeptanzparadigma ad acta gelegt und damit die Quellen problematischer Bias beseitigt sind. Schließlich wird nicht mehr ohne Weiteres „assumed that all adopters perceive an innovation in a positive light, as we ourselves may perceive it“ [Rog03] und auch nicht, dass eine „Zurückweisung [...] negativ zu bewerten ist“ [Kar11].

Im Blick der akzeptanzorientierten Technikgestaltung stellen sich die Aussagen der ‚Nutzer_innen‘ jedoch von vornherein als Äußerungen zu ‚Akzeptanzaspekten‘ dar: *Als solche* sollen sie mittels der Partizipation bereits in der Technikentwicklung Berücksichtigung finden. Durch die offene Einbringung der so verstandenen Beiträge soll schließlich die Bewältigung der identifizierten ‚Akzeptanzbarrieren‘ gelingen: damit die nach wie vor ‚eigentlich‘ zu erwartende Akzeptanz letztlich doch noch *uneingeschränkt eintreten* kann.

3.9 Normativity/Social Desirability Bias

Wenngleich akzeptanzorientierte Technikentwicklung weder einen sogenannten ‚normativen Ansatz‘ der Akzeptanzforschung vertritt, der sich mit der ‚Akzeptanzwürdigkeit‘ oder ‚Akzeptabilität‘ befasst [Pet05], noch mit der Partizipation primär das normative Ziel der Legitimation verfolgt [Com09], so geht sie, wie sich zeigte, doch davon aus, dass Akzeptanz realiter eintreten *sollte* – zumindest ‚eigentlich‘. Diese spezifische, im Akzeptanzparadigma und bereits im zugrundeliegenden Innovationspositivismus respektive ‚technological fix‘ liegende *normative Rahmung* stellt das *elementare Bias* dar, das seine Implikationen in seiner logischen Fortentwicklung, wie dargestellt, in verschiedenen Formen entfaltet.

In formaler Hinsicht kann so von einem übergreifenden *normativity bias* die Rede sein, das sich schon in der Konstitution der Subjekt-Positionen der Partizipierenden geltend macht, insofern ihre Beteiligung durch den Zweck der Akzeptanzsteigerung bestimmt ist. Es

kann aber auch nicht ausbleiben, dass die Partizipierenden, wenn sie sich auf die Regeln des Diskurses einstellen und an diesem teilnehmen, *bemerken*, was bei ihrer Beteiligung jeweils *erwünscht* ist. Mag daher auch, wie Adorno polemisch in Bezug auf die Marktforschung anmerkt, theoretisch die „Meinung [...] zum König [sic] herausgeputzt werden“ [Ado97]: In der Forschungspraxis besteht die Gefahr eines weitergehenden *social desirability bias*, d.h. dass die Partizipierenden mehr oder minder bewusst ihre eigenen Beiträge in Übereinstimmung mit den Erwartungen bringen, die im Forschungsprojekt bestehen.

Dieser letzte Punkt ist vielleicht durch einen Vergleich zu verdeutlichen: In einem partizipativen Projekt, in dem die „*Möglichkeit von Kritik*“ [Gru10] nicht durch Innovations- und Akzeptanzparadigma gerahmt wäre, sondern etwa „auch zur Technikablehnung“ [Gru03] die Stimme erhoben und argumentiert werden könnte, weil „Unvoreingenommenheit“ und „Ergebnisoffenheit als unverzichtbare Anforderung“ [Gru10] gelten würden, existierten solche Erwartungen an die Beteiligten nicht. Es gäbe daher auch keine systematische Verzerrung in eine entsprechende Richtung. ‚Akzeptanz‘ wäre in der Auseinandersetzung mit einer Problemlage oder einer Innovation zunächst nicht Thema, sondern würde sich *im Effekt* „einstellen oder nicht“ – je nach dem, was das Resultat „nach einer vorurteilsfreien Beratung [...] und entsprechendem [...] Dialog“ [Gru03] wäre. Ein solches Projekt würde freilich voraussetzen, dass der Adressierung bestimmter Bedürfnisse und Probleme das ‚*Primat*‘ zukäme und Technik *dabei*, wo es sich ergäbe, als eine vielversprechende Option einer Prüfung auf Angemessenheit und Umsetzbarkeit hin unterzogen und erst daraufhin gegebenenfalls partizipativ entwickelt würde.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die nähere Analyse bestätigt, dass die in der Diffusionstheorie und anderen Disziplinen aufgekommene Kritik an Innovationspositivismus und Akzeptanzparadigma auch für die partizipative Forschung in der akzeptanzorientierten Technikentwicklung Konsequenzen hat: Aus der analogen konzeptionellen Rahmung lassen sich auch hier eine Reihe von *Implikationen* nachweisen, die sich als *Verzerrungen* in der Forschung geltend machen können. Die theoretische Reflexion dieser Prämissen und ihrer Konsequenzen ermöglicht, das *notwendige ‚Problembewusstsein‘* in Bezug auf die potentiellen Bias in der Forschung zu entwickeln, nach *theoretischen Auswegen* aus diesem Rahmen zu suchen und damit die *Partizipation in Forschung und Entwicklung besser zu gestalten*.

Als Ausblick lässt sich festhalten, dass die Entwicklung einer *Technik, die die Menschen wirklich brauchen*, offenbar verlangt, dass der Zweck der Technikentwicklung relativiert wird, um bei den Bedürfnissen und Problemen der Menschen selbst anzusetzen und sich konsequent um *deren Befriedigung bzw. Lösung* zu bemühen. Die *Verwirklichung guter Technikentwicklung* setzt also voraus, sie strikt als eine *bloße Möglichkeit* unter anderen zu behandeln, die dann und nur dann aktualisiert wird, wenn sie sich – auch durch den Entwicklungsprozess hindurch – *als adäquate und beste Lösung erweist*. Ein solcher Ansatz schließt übrigens auch ein, dass den Partizipierenden nicht *a priori* und *prinzipiell* eine Identität als imaginierte Nutzer_innen zugeschrieben werden kann – wandeln sich ihre ‚Rollen‘ doch je nach der Richtung der ‚Problemlösung‘. Wie ein solcher Ansatz im Einzelnen umgesetzt werden kann, bleibt eine offene Frage, die einer eigenen und ausführlichen Diskussion bedarf.

Literatur

- [Ado97] Th. W. Adorno: Notiz über sozialwissenschaftliche Objektivität. In: ders., *Gesammelte Schriften* (hrsg. von R. Tiedemann), Bd. 8, Frankfurt: Suhrkamp, S. 238-244, 1997.
- [Arn16] C. Arnold und C. Klee: *Akzeptanz von Produktinnovationen. Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.

- [Bei16] M. Beimborn, S. Kadi, N. Köberer, M. Mühleck und M. Spindler: Focusing on the Human: Interdisciplinary Reflections on Ageing and Technology. In: E. Dominguez-Rué und L. Nierling: Ageing and Technology: Perspectives from the Social Sciences, Bielefeld: transcript, S. 311-333, 2016.
- [Bra15] R. R. Brauer, N. M. Fischer und G. Grande: Akzeptanzorientierte Technikentwicklung. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, S. 140-146, 2015.
- [Com09] D. Compagna und S. Derpmann: Verfahren partizipativer Technikentwicklung. (= Working Papers kultur- und techniksoziologische Studien 04/2009.) Duisburg: o.V., URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168ssoar-216915>, 2009.
- [Fou05a] M. Foucault: Subjekt und Macht. In: ders.: Schriften in vier Bänden. Dits et Ecrits. Bd. 4. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 269-294, 2005.
- [Fou05b] M. Foucault: Die Rückkehr der Moral. In: ders.: Schriften in vier Bänden. Dits et Ecrits. Bd. 4. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 859-873, 2005.
- [Gru03] A. Grunwald: Eine Stellungnahme aus Sicht der klassischen Technikfolgenabschätzung. In: S. Giesecke (Hrsg.): Technikakzeptanz durch Nutzerintegration? Beiträge zur Innovations- und Technikanalyse. Teltow: VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, S. 113-126, 2003.
- [Gru05] A. Grunwald: Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 3/14, S. 54-60, 2005.
- [Gru10] A. Grunwald: Technikfolgenabschätzung: eine Einführung. Berlin: edition sigma, 2010.
- [Hal03] J. Halfmann: Eine Stellungnahme aus der Sicht der Techniksoziologie. In: Susanne Giesecke (Hrsg.): Technikakzeptanz durch Nutzerintegration? Beiträge zur Innovations- und Technikanalyse. Teltow: VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, S. 155-163, 2003.
- [Hil18] J. Hildebrand, I. Rau und P. Schweizer-Ries: Akzeptanz und Beteiligung – ein ungleiches Paar. In: L. Holstenkamp und J. Radtke: Handbuch Energiewende und Partizipation. Wiesbaden: Springer, S. 195-209, 2018.
- [Hüs03] B. Hüsing: Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil. In: S. Giesecke (Hrsg.): Technikakzeptanz durch Nutzerintegration? Beiträge zur Innovations- und Technikanalyse. Teltow: VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, S. 39-56, 2003.
- [Kar11] V. Karnowski: Diffusionstheorien. (= Konzepte. Ansätze der Medien- und Kommunikationswissenschaft, Bd. 6). Baden-Baden: Nomos, 2011.
- [Kar13] V. Karnowski: Diffusionstheorien. In: W. Schweiger und A. Fahr (Hrsg.): Handbuch Medienwirkungsforschung. Wiesbaden: Springer, S. 513-528, 2013.
- [Ken98] F. Kensing und J. Blomberg: Participatory Design: Issues and Concerns. In: Computer Supported Cooperative Work 7, S. 167-185, 1998.
- [Kön08] J. Königstorfer: Akzeptanz von technologischen Innovationen Nutzungsentscheidungen von Konsumenten dargestellt am Beispiel von mobilen Internetdiensten. Wiesbaden: Gabler, 2008.
- [Kol98] T. Kollmann: Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen. Wiesbaden: Springer, 1998.
- [Mer18] S. Merkel und A. Kucharski: Participatory Design in Gerontotechnology: A Systematic Literature Review. In: The Gerontologist Special Issue: Technology and Aging, S. 1-10, 2018.

- [Pet05] T. Petermann und C. Scherz: TA und (Technik-)Akzeptanz(-forschung). In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 3/14, S. 45-53, 2005.
- [Rog03] E. M. Rogers: The Diffusion of Innovations. New York: Free Press, 2003.
- [Ros04] L. Rosner: Introduction. In: dies. (Hrsg.): The Technological Fix: How People Use Technology to Create and Solve Problems. New York u.a.: Routledge, S. 1-12, 2004.
- [Sac78] H. Sachsse: Anthropologie der Technik: Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt. Braunschweig: Vieweg, 1978.
- [San08] E. B.-N. Sanders und P. J. Stappers: Co-creation and the new landscapes of design. In: CoDesign 4:1, S. 5-18, 2008.
- [Sch13] M. Schäfer und D. Keppler: Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen. (= discussion paper 34/2013 des Zentrums Technik und Gesellschaft der TU Berlin), URL: https://www.tu-berlin.de/fileadmin/f27/PDFs/Discussion_Papers_neu/discussion_paper_Nr_34.pdf, 2013.
- [Spi05] C. Spinuzzi: The Methodology of Participatory Design. In: Technical Communication 52, S. 163-174, 2005.
- [Sto18] C. Stockmann: Decoding Technology Acceptance in Education: A Cultural Studies Contribution. New York u.a.: Routledge, 2018.
- [Web15] K. Weber und A. Wackerbarth: Partizipative Technikgestaltung altersgerechter Assistenzsysteme als Verfahren der angewandten Ethik. In: Matthias Maring (Hrsg.): Vom Praktisch-Werden der Ethik: Ansätze und Beispiele der Institutionalisierung, Konkretisierung und Implementierung der Ethik. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, S. 299-314, 2015.
- [Wri15] P. Wright und J. McCarthy: The Politics and Aesthetics of Participatory HCI. In: Interactions 11-12/2015, S. 27-31, 2015.

Nutzerbedürfnisse an ein digitales Assistenzsystem im Kontext der Industrie 4.0

Eine explorative Studie im Bereich der Montage

C. Aringer-Walch¹, S. Besserer¹ und B. Pokorni²

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie
carmen.aringer@tum.de

² Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO Stuttgart
Bastian.Pokorni@iao.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

Die explorative Studie hatte das Ziel, erste Erkenntnisse bezüglich der Relevanz und Erfüllung von Nutzerbedürfnissen in der Interaktion mit einem digitalen Montage-Assistenzsystem zu liefern. Die Ergebnisse mit erfahrenen Mitarbeitern aus der Montage zeigen, dass die Probanden einer kognitiven Systemunterstützung grundsätzlich positiv gegenüberstehen. Insbesondere vermittelt das System ihnen Sicherheit und schützt vor individuellen Fehlern, u.a. eröffnet das System die Möglichkeit, eine höhere Variantenvielfalt montieren zu können. Die Untersuchung liefert allerdings auch Hinweise, welche Nachteile die Werker sehen. Insbesondere ein drohender Kompetenz- und Autonomieverlust findet hier Erwähnung. Diese Bedenken gilt es bei der Gestaltung dieser Systeme zu berücksichtigen und die Nutzer/innen frühzeitig in die Gestaltung einzubeziehen.

Abstract

User needs and digital assistance systems in Industry 4.0

The exploratory study aimed to give initial insights into the relevance and fulfilment of user needs in interaction with a digital assembly assistance system. The results indicate that the subjects are generally positive about cognitive support systems. In particular, the system provides them security and helps, to avoid individual errors. Furthermore the system offers the possibility of being able to assemble higher variation of products. However, the investigation also provides some disadvantages of the system. In particular, an immanent loss of competence and autonomy is mentioned here. These concerns should be considered at an early designing stage.

Keywords

Bedürfnisse, Assistenzsystem, Industrie 4.0, Montage, User Experience

1 Einleitung

In der industriellen Produktion ist eine Entwicklung weg von der Massenfertigung mit langen Produktlebenszyklen hin zu kundenindividuellen Produkten (Stichwort: Losgröße 1) festzustellen. Durch die aus dieser Entwicklung resultierenden Änderungen im Produktionsablauf (bspw. steigende Flexibilität), werden sich Tätigkeiten und Aufgaben an Arbeitsplätzen in der Produktion wandeln. Ar-

beitsplätze werden durch diese Entwicklungen einerseits abwechslungsreicher und umfangreicher, aber andererseits auch anspruchsvoller werden, denn die Anforderungen bezüglich Konzentration und Ausdauer an die Mitarbeiter werden steigen [Rei14], zudem ist davon auszugehen, dass der Anteil routinemäßig auszuführender Tätigkeiten zurückgehen wird und Entscheidungs- und Koordinationskompetenzen an Relevanz gewinnen werden

[Ari17]. Um Werker in diesen Arbeitsszenarien (Stichwort: Industrie 4.0) zu unterstützen und die psychischen Belastungen bei kognitiv beanspruchenden Tätigkeiten zu reduzieren, gewinnen kognitiv unterstützende Assistenzsysteme im industriellen Kontext an Bedeutung. Kognitive Belastungen finden sich im Rahmen von Montagetätigkeiten u.a. bei der Vorbereitung der Tätigkeiten und bei dem Abgleich der tatsächlichen Ergebnisse mit den gestellten Anforderungen s. [Aeh14]. Digitale Assistenzsysteme können durch entsprechend aufbereitete Informationen zum Montagevorgang und Feedback nach erfolgreicher Montage die Werker unterstützen und die kognitive Belastung senken. Die Unterscheidung digitaler Assistenzsysteme erfolgt in Wahrnehmungs- und Entscheidungsassistenzsysteme [Ben17]. Assistenzbedarfe entstehen, wenn eine Diskrepanz zwischen dem Fähigkeitsangebot der Mitarbeiter und den Leistungsanforderungen der Arbeitsaufgaben herrscht [Spi15].

Die technischen Aspekte und Anforderungen, die Assistenzsysteme in solchen Szenarien und Mensch-Technik-Interaktionen erfüllen müssen, wie bspw. die Informationsdarstellung, wurden im Rahmen von Forschungsarbeiten bereits betrachtet [Wie14, Wöl15]. Weniger im Fokus steht bislang, welche Erwartungen und Bedürfnisse die Mitarbeiter/innen an solche Assistenzsysteme stellen und wie diese gestaltet werden müssen, damit sie mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auf Akzeptanz bei der Belegschaft stoßen.

Dies bedeutet, dass bei der Gestaltung von Assistenzsystemen für die Produktion heute, auch aufgrund fehlender Erkenntnisse, primär die technische Auslegung fokussiert wird. Es wurde bereits in verschiedenen Veröffentlichungen darauf hingewiesen, dass die Nutzerzentrierung einen essentiellen Teil zur Akzeptanz der Lösung beiträgt [Bra15, Kle17]. Die Nutzerzentrierung bezieht sich einerseits auf die Beteiligung der späteren Nutzer im Gestaltungsprozess, wie in DIN EN ISO 9241-210 sowie DIN EN ISO 9241-11 definiert. Andererseits geht es um das grundsätzliche Verständnis von möglichen Nutzerbedürfnissen/-

anforderungen im Kontext von Assistenzsystemen. Dies hat auch zum Ziel, das Wohlbefinden der Nutzer im Prozess als Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit zu erhöhen [Gil12]. In der unternehmerischen Praxis fehlen jedoch heute konkrete Erkenntnisse für den optimalen Auslegungskorridor zwischen der Erreichung der unternehmerischen Ziele auf der einen und der Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse/-anforderungen auf der anderen Seite. Dies zeigt sich in gescheiterten Umsetzungsprojekten innerhalb der Unternehmen [Kas16] aufgrund niedriger Akzeptanz in der Belegschaft bis zur Ablehnung der Systeme. Dies erzeugt kostspielige Anpassungen und hohe Ausgaben für Schulungen.

An diesem Punkt setzt die vorliegende Studie an, die sich dabei auf theoretische Modelle aus dem Bereich der User Experience- und Technikakzeptanz-Forschung stützt und speziell den Anwendungsfall der Montage anhand eines bereits auf dem Markt erhältlichen digitalen Assistenzsystems betrachtet. Damit setzt sich die Studie zum Ziel, konkrete Erkenntnisse zu erlangen, welche Nutzerbedürfnisse beim Umgang mit Assistenzsystemen in der Montage von Probanden genannt werden. Damit wird ein Beitrag zur Erweiterung des momentan technisch dominierten Betrachtungsraums bei der Gestaltung von Assistenzsystemen in der Produktion geschaffen.

Die Begründung für die Wahl des Ansatzes sowie die theoretischen Hintergründe, die für die Entwicklung des Studiendesigns und der Messinstrumente handlungsleitend waren, werden im folgenden Absatz herausgearbeitet.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Das Konzept der User Experience (UX) in der Produktgestaltung

Die Gestaltung interaktiver Produkte hat sich im Zuge einer fortschreitenden Digitalisierung im Alltag in den letzten 20 Jahren verändert. Es lässt sich ein Trend weg von einer allgemeinen, objektiven und auf das Vermeiden von Fehlern ausgerichteten Gestaltung hin zu einer subjektiveren und individuelleren Gestaltung verzeichnen, in der man sich z.B.

auch vermehrt am Wohlbefinden der Nutzer/innen orientiert [Die17], ein Aspekt der in Industrie 4.0 Szenarien relevant ist und angestrebt werden sollte. „Man könnte sagen, dass aus einer kognitiven Mensch-Technik-Interaktion eine humanistische geworden ist.“ [Die17, S.42]. In diesem Kontext findet der Begriff der User Experience (UX) Verwendung. Der Begriff ist vielschichtig. Für den vorliegenden Fall verstehen wir darunter das Nutzerlebnis zwischen Menschen und Produkten [Has08]. Dabei integriert UX die Usability, geht aber darüber hinaus. Betont wird häufig (je nach Ansatz) 1. die Ganzheitlichkeit der Sichtweise, die nicht nur die konkreten Aufgaben der Nutzer/innen adressiert, sondern auch die „nicht-instrumentellen Qualitäten, wie Schönheit, Neuartigkeit, Herausforderung oder Selbstausdruck“ [Has08, S.78]. 2. die subjektive Wahrnehmung der Qualitäten des Produkts durch die Nutzer/innen, im Gegensatz zu einer rein objektiven Sichtweise und 3. eine Konzentration auf positive Aspekte des Erlebens, während Usability schwerpunktmäßig auf die Beseitigung von negativen Aspekten abzielt. [ebd.] UX fokussiert zudem einen weiteren Zeithorizont als die reine Interaktion. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Usability und UX, auch in Bezug auf die Zeit, auf. Die ISO Norm 9241-210 definiert UX zusammenfassend als die „Wahrnehmung und Reaktion einer Per-

son, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren. [...] Sie umfasst somit alle Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, physiologischen und psychologischen Reaktionen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung mit einem Produkt ergeben.“ [DIN11]. UX als Konzept versucht somit, das subjektive Erleben von Nutzer/innen in der Produktentwicklung, -gestaltung und -evaluation zu berücksichtigen und positiv zu gestalten. Auf diese Weise können Produkte entstehen, die für den Menschen zu einem gesteigerten Wohlbefinden in der Mensch-Technik-Interaktion führen. Zur konkreten Umsetzung verwendet man in der UX-Forschung neben weiteren Ansätzen, Methoden, die sich an Konzepten der Bedürfnisforschung orientieren und im folgenden Absatz ausgeführt werden. Der Zusammenhang zwischen Bedürfnisbefriedigung und positivem Erleben wurde, auch in Bezug auf Technik und interaktive Produkte, bereits in einigen Studien belegt, siehe für einen Überblick [Die17, S. 98ff.].

2.2 Bedürfnisse in der UX

„Für uns sind Bedürfnisse Leitplanken für das Gestalten, um sicherzustellen, dass Ideen und Konzepte mit der menschlichen Natur im Einklang sind.“ [Die17, S.95]. Bedürfnisse sollten zwar Berücksichtigung bei der Gestaltung

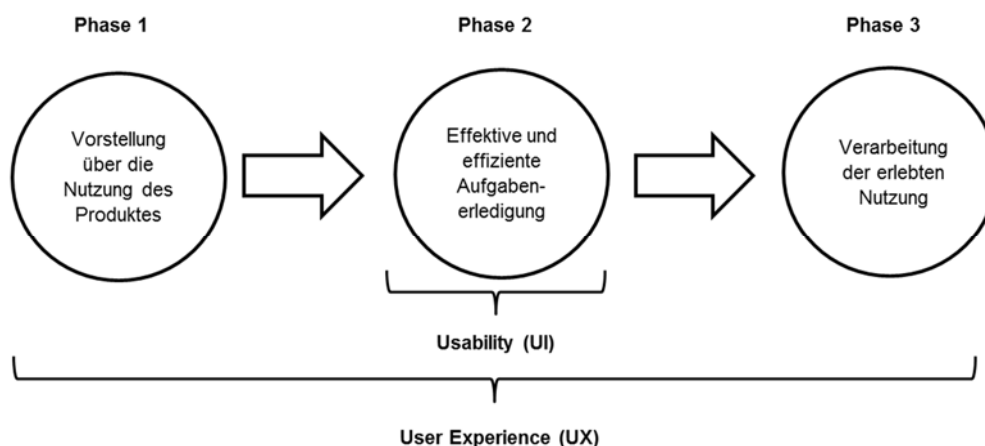


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Usability und UX mit Zeithorizont (eigene Darstellung nach [Gei15])

von Assistenzsystemen finden, als alleiniges Konzept würden sie allerdings nicht ausreichen, hier müssen weitere Aspekte, wie z.B. der konkrete Nutzungskontext ebenfalls berücksichtigt werden [ebd.]. Menschliche Bedürfnisse und ihre Erfüllung haben in der psychologischen Forschung und insbesondere im Bereich der Motivationsforschung eine lange Tradition, wobei bspw. die Selbstbestimmungstheorie von [Dec85] in unterschiedlichen Feldern (bspw. Pädagogik) Anwendung findet. Bedürfnis wird dabei definiert als „an energizing state that, if satisfied, conduces toward health and well-being but, if not satisfied contributes to pathology and ill-being.“ [Rya00, S.74.]. [Rya00] postulieren die drei folgenden, angeborenen und universellen Grundbedürfnisse: Autonomieerleben, welches sich durch Selbstbestimmung und das Streben und Verfolgen von eigenen Vorstellungen und Möglichkeiten ausdrückt. Kompetenzerleben, verbunden mit dem Erfahren von Selbstwirksamkeit. Und das Bedürfnis nach sozialer Verbundenheit, welches erfüllt wird, wenn man sich z.B. als Mitglied einer Gemeinschaft erlebt. Die Betrachtung von lediglich drei Bedürfnissen greift allerdings zu kurz für die Gestaltung von Produkten und den vielfältigen Möglichkeiten des Erlebens [Die17, S.95]. Einen umfassenderen Katalog von zehn Bedürfnissen liefern [She01], basierend auf der Analyse mehrerer Bedürfnistheorien. In einer Studie untersuchten sie die Bedürfnisse bezüglich des Auftretens in zurückliegenden, für die Probanden besonders zufriedenstellenden (satisfied) Erlebnissen [She01]. Für die vorliegende Studie wurden die folgenden sieben Bedürfnisse (s. Tabelle 1) aufgrund ihrer Relevanz bei interaktiven Produkten und dem vorliegenden Anwendungsfall ausgewählt und weiter untersucht.

Tabelle 1: Übersicht Bedürfnisse in dieser Studie (Erläuterungen entnommen aus [Die17, S.97 und S.162 f. - Bedürfniskarten])

Autonomie	Das Gefühl, gemäß eigener Vorstellungen zu handeln
Kompetenz	Das Gefühl, fähig und effektiv zu handeln
Verbundenheit*	Das Gefühl, Kontakt mit anderen Kollegen zu haben
Stimulation	Das Gefühl, Neues zu entdecken und ausreichend Anregung zu bekommen
Sicherheit	Das Gefühl, angenehme Gewohnheiten und Routinen zu haben
Bedeutsamkeit	Das Gefühl, bedeutsame Momente, bewusst zu erleben.
Körperlichkeit*	Das Gefühl, sich wohl und gesund in seinem Körper zu fühlen.

*für Kontext angepasste Formulierung

2.3 Technikakzeptanz

Ein weiteres theoretisches Konzept, das in der vorliegenden Studie Anwendung findet, ist das Technology Acceptance Model (TAM), das in der Zwischenzeit in drei Stufen vorliegt [Ven08]. Metaanalysen haben das Modell bestätigt [u.a. Kin06]. Zentral sind in dem Modell zwei Aspekte, die die Nutzungsintention und darüber auch das tatsächliche Nutzungsverhalten technischer Systeme beeinflussen: zum einen die wahrgenommene Nützlichkeit (perceived usefulness) des Systems und zum anderen die wahrgenommene Bedienungs-freundlichkeit (perceived ease of use). Dabei konnte gezeigt werden, dass der wahrgenommene Nutzen des Systems einen höheren Einfluss besitzt als die wahrgenommene Bedienungs-freundlichkeit [Kin06]. Zudem beeinflusst die Erfahrung der jeweiligen Person mit Informations-/Kommunikationstechnologien die wahrgenommene Nützlichkeit [ebd.]. Für die vorliegende Studie wird aus dem Ansatz

abgeleitet, insbesondere die wahrgenommene Nützlichkeit im Arbeitskontext zu fokussieren, sowie die Bedienungsfreundlichkeit des Systems mitzuerheben.

3 Forschungsfragen

Die vorangegangenen Ausführungen zeigten, dass Bedürfnisse und deren Erfüllung in der Interaktion mit Assistenzsystemen vielversprechende Gestaltungshinweise geben können und bislang in diesem Themenfeld wenig im Fokus standen. Die Forschungsfrage 1 lautet:

1. Wie bewerten die potenziellen Nutzer/innen die Erfüllung der sieben untersuchten Bedürfnisse in der Interaktion mit dem Assistenzsystem?

Das TAM Modell gibt Hinweise darauf, dass die empfundene Nützlichkeit eines Systems die Nutzungsintention und die tatsächliche Nutzung beeinflusst. Daraus ergibt sich Forschungsfrage 2:

2. Welche Nutzenaspekte sehen die potenziellen Nutzer/innen bezüglich Montage-Assistenzsystemen? Welche Bedenken haben sie?

4 Studiendesign & Methodik

Zur Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen wurde das in Abbildung 2 vorgestellte Studiendesign gewählt. Die Durchführung der Studie dauerte ca. 70-80 Minuten pro Person und wurde im März 2018 durchgeführt. An der Studie nahmen acht Probanden teil (sieben männlich und eine weiblich), die alle in der Montage arbeiteten, im Durchschnitt 41 Jahre alt waren und durchschnittlich über 19 Jahre Berufserfahrung verfügten. Sieben Personen hatten eine Ausbildung im Produktionsumfeld abgeschlossen. Keiner der Probanden verfügte über Erfahrung mit digi-

talen Montage-Assistenzsystemen. Die Teilnahme war freiwillig und wurde mit 20 € vergütet. Zwei Probanden arbeiteten in Klein- und mittelständischen Unternehmen und sechs Probanden in Großunternehmen.

In der Vorbefragung beantworteten die Probanden allgemeine Fragen zu ihrer beruflichen Tätigkeit etc. Im Anschluss erhielten die Probanden eine dreiminütige Kurzpräsentation zu Einsatzmöglichkeiten und grundlegenden Funktionen des eingesetzten Montage-Assistenzsystems. Der eingesetzte Fragebogen 1 enthält 21 Fragen, in Anlehnung an [She01] und [Die11] zu den sieben Bedürfnissen (s. Tabelle 1). Jedes Bedürfnis wurde über drei Items auf einer fünf-stufigen Skala mit verbalen Ankern („stimme gar nicht zu“ bis „stimme voll und ganz zu“) erhoben und später über die drei Items ein Mittelwert zu jedem Bedürfnis berechnet. Einen Auszug aus dem Fragebogen zeigt Tabelle 2. Der Fragebogen wurde speziell für die Nutzung digitaler Assistenzsysteme umformuliert und im Hinblick auf Formulierungen für die Zielgruppe angepasst. Für die anschließende Offene Abfrage 1 wurde ein Interview-Leitfaden entwickelt, der u.a. Aspekte des TAM Modells thematisiert und auf die Nützlichkeit im Arbeitskontext, Vor- und Nachteile von Assistenzsystemen und die gewünschten Produkteigenschaften fokussiert. Im Anschluss erfolgte die Interaktion mit dem Assistenzsystem (ca. 15 Minuten), wobei die Probanden drei Use-Cases unterschiedlichen Schwierigkeitsgrads (steigende Anzahl an Teilen und Teileausführungen) zu montieren hatten und dabei vom Assistenzsystem in jedem Schritt visuell angeleitet wurden, sowie Feedback bekamen. Im Anschluss an die Interaktion wurde der Fragebogen 2 abgefragt, der weitestgehend identisch zu Fragebogen 1 ist. Die Offene Abfrage 2 fokussierte das konkrete Erleben der Interaktion



Abbildung 2: Ablauf der Studie

und die empfundene Nützlichkeit. Die Interviewanteile der Studie (Offene Abfrage 1 und 2) wurden vollständig aufgezeichnet, transkribiert und nach dem Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse nach [May10] über die Schritte Paraphrasierung, Generalisierung und Reduktion ausgewertet, um inhaltliche Kategorien zu erhalten und auf das Gesamtmaterial anzuwenden. Um ausschließen zu können, dass eine sehr schlechte Gebrauchstauglichkeit die Bewertungen und Äußerungen zu dem System beeinflussten, wurde der System Usability Score (SUS) erhoben, der mit einem durchschnittlichen Wert von 88 (maximal 100) als „acceptable“ eingeschätzt werden kann [Ban09]. Im letzten Schritt wurden Bedürfniskarten für die sieben Bedürfnisse erstellt [s. Die17, S.161ff.]. Die Bedürfnisse wurden wie in Tabelle 1 beschrieben und durch Zitate und Gefühle veranschaulicht. Die Probanden wurden am Ende der Studie gebeten, die Bedürfnisse in Form von Bedürfniskarten der Wichtigkeit nach, absteigend, zu ordnen. Der Fokus lag auf der persönlichen Wichtigkeit der Bedürfnisse im Arbeitsalltag der Werker.

Eingesetztes Assistenzsystem

Für die Interaktion wurde ein Assistenzsystem mit einer Anwendung für intelligente Bilderkennung verwendet. Es handelt sich um ein datenbankgestütztes digitales Assistenzsystem, das durch eine Bildverarbeitungssoftware den aktuellen Montagestand erfasst und durch eine Informationsbereitstellung die Monteure über den nächsten Arbeitsschritt informiert. Mittels der Bilderkennungssoftware ist das System in der Lage, bestimmte, zuvor festgelegte Merkmale in einem Montagebereich am Bauteil mittels Bildabgleich zu erkennen, um so den Werker durch den Montageprozess zu führen. Bei richtiger Montage wird dem Mitarbeiter dies signalisiert und zum nächsten Schritt geleitet. Wird die Montage fehlerhaft ausgeführt, erkennt dies das System und signalisiert dem Mitarbeiter visuell den Fehlerfall. Das System besteht aus einer Industrie-Kamera und einer Beleuch-

tungseinheit, einer Interaktionseinheit und einem Touchbildschirm.

Tabelle 2: Beispielimens Fragebögen 1 und 2

Bedürfnis	Frage: Es ist mir wichtig....
Autonomie	...in der Interaktion mit einem Assistenzsystem, selbstständige Entscheidungen treffen zu können.
Kompetenz	 dass ich durch ein Assistenzsystem unbekannte Aufgaben (gut/problemlos) lösen kann.
Verbundenheit	... in der Interaktion mit einem Assistenzsystem, mit Kollegen verbunden zu sein.
Stimulation	... dass meine Tätigkeit auf Dauer durch die Interaktion mit einem Assistenzsystem interessant bleibt.
Sicherheit	... dass mich die Unterstützung eines Assistenzsystems vor individuellen Fehlern schützt.
Bedeutsamkeit	...dass die Einführung eines Assistenzsystems meine Arbeit vereinfacht.
Körperlichkeit	... dass ich mich in der Interaktion mit einem Assistenzsystem wohlfühle

5 Ergebnisse

5.1 Bedürfniserfüllung in der Interaktion mit dem Assistenzsystem

Abbildung 3 zeigt die von den Probanden vorab mit Hilfe des Fragebogens eingeschätzten Bedürfnisse bei der Nutzung von Assistenzsystemen und die Erfüllung dieser in der Interaktion mit dem Montageassistenzsystem nach Ausführung der drei Use-Cases. Die deskriptiven Daten zeigen, dass vor der Interaktion mit dem Assistenzsystem alle Bedürfnisse von den Probanden als relativ wichtig

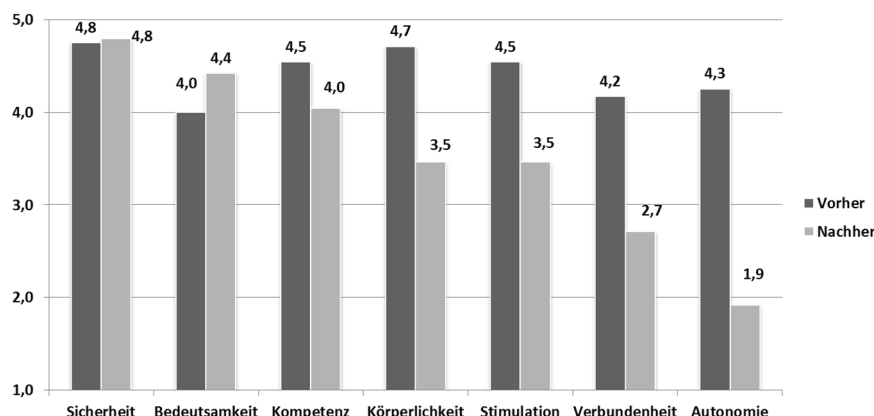


Abbildung 3: Mittelwerte der Bedürfnisse vor und nach der Interaktion mit dem Assistenzsystem

eingeschätzt werden und somit vielfältige Erwartungen an das System gestellt werden. Wobei die Bedürfnisse nach Sicherheit, Körperlichkeit, Kompetenz und Stimulation am höchsten ausgeprägt sind. Das Montage-Assistenzsystem (über)erfüllte die Erwartungen bezüglich Sicherheit, Bedeutsamkeit und Kompetenz. Bei den Bedürfnissen nach Körperlichkeit und Stimulation stimmen die Probanden im Durchschnitt einer Erfüllung des Bedürfnisses eher zu; die Erfüllung der Bedürfnisse Verbundenheit und Autonomie werden hinsichtlich der Interaktion mit dem Assistenzsystem im Mittel eher abgelehnt, wobei Autonomie den geringsten Wert und die größte Differenz in Bezug auf den Vorher-Wert aufweist.

5.2 Identifizierte Nutzen und Risiko-Kategorien aus den Interviews (Offene Abfrage 1 und 2)

Aus den Äußerungen der acht Probanden in der offenen Abfrage 1 und 2 konnten jeweils sechs Unterkategorien zu den beiden Bereichen „Nutzen – positive Aspekte“ und „Bedenken – negative Aspekte“ im Rahmen der Interaktion mit Assistenzsystemen identifiziert werden. Diese sind in den folgenden Tabellen 3 und 4 abgebildet und werden im Nachgang erläutert.

Äußerungen, die der Kategorie Sicherheit zuzuordnen sind, äußern sieben von acht Probanden. Inhaltlich bezieht sich die Kategorie auf sicheres Handeln und Entwicklung einer Routine, die durch das Assistenzsystem unterstützt wird. Zudem eröffnet das System die

Möglichkeit, sich selbst zu überprüfen. Äußerungen zu der Kategorie Schutz vor Fehlern finden sich ebenfalls bei sieben Werkern, dabei spielt auch eine Rolle, dass durch das System die Angst vor individuellen Fehlern sinkt. Übereinstimmend äußern sich alle Worker dahingehend, dass das Assistenzsystem effektiveres Arbeiten ermöglicht und bspw. die Durchlaufzeiten aufgrund der Informationsdarstellung verringert werden. Eine Person äußert zu diesem Punkt: *„Ich behaupte jetzt mal, hätte ich das Teil ohne das System zusammengebaut, hätte ich fünf Mal so lange dafür gebraucht.“* Das Assistenzsystem wird von allen Workern als Arbeitserleichterung, insbesondere für Anlernprozesse und komplexere Aufgabenstellungen, gesehen. Die Hälfte der Worker (vier) könnte sich eine tägliche Nutzung vorstellen. Als weiteren Aspekt erwähnen fünf Worker, dass das System Abwechslung ermöglicht, weil bspw. unbekannte und komplexere Produkte ebenfalls montiert werden können. Ein Worker äußert die Möglichkeit der Optimierung der eigenen Arbeitsschritte durch die Möglichkeit der Dokumentation, zudem nennen drei Personen die Möglichkeit, Personalkosten zu optimieren. Diesen Möglichkeiten stehen allerdings auch kritische Äußerungen gegenüber, die im nächsten Schritt ausgeführt werden.

Alle acht Worker sehen durch das Assistenzsystem die Gefahr, dass die Anforderungen an ihre Tätigkeiten sinken und eigenes Wissen verloren gehen könnte (Kompetenzverlust) und weniger qualifizierte Personen die Tätigkeiten ebenfalls übernehmen könnten. Zudem

entfällt die Möglichkeit, Fehler selbst zu suchen und somit selbst Aspekte zu verbessern und/oder Fehler zu beheben. Die Werker (acht von acht) sehen zudem die Gefahr einer Überwachung potentiell gegeben, bspw. durch die Möglichkeit einer Dokumentation und den möglichen Vergleich mit Daten anderer Werker. Sechs von acht Probanden sind der Meinung, dass sie durch das System in ihren Handlungsspielräumen eingeschränkt werden und für ihre Tätigkeit weniger Verantwortung übernehmen können (Autonomieverlust). Ein Großteil der Probanden (sechs) äußert zudem Bedenken, dass die Interaktion mit dem Assistenzsystem bei größeren Stückzahlen zu Monotonie führen könnte. Ein Werker äußert hierzu: „[...] Gut, wenn man das erste Teil baut ist es immer interessant, wenn man mal das hundertste baut, wird es wahrscheinlich auch anders aussehen.“ Zwei Werker äußern Befürchtungen, dass solche Assistenzsysteme dazu führen, dass sich der Montagecharakter ihrer Tätigkeit reduziert, das Ansehen im Unternehmen sinkt und man selbst zum Roboter wird (Werteverlust des Menschen). Alle Probanden erwähnen, dass sie die Interaktion selbst als interessant und abwechslungsreich empfanden, dass Spaß und Freude auf Dauer allerdings zurückgehen werden (Stimulation).

Tabelle 3: Identifizierte Kategorien im Bereich Nutzen – positive Aspekte

Nutzen:	Sicherheit
Positive Aspekte	Schutz vor Fehlern Effektiveres Arbeiten Arbeitserleichterung Abwechslung Optimierungen

Tabelle 4: Identifizierte Kategorien im Bereich Nutzen – negative Aspekte

Risiken:	Kompetenzverlust
Negative Aspekte	Überwachung Autonomieverlust Monotonie Werteverlust d. Menschen

5.3 Ergebnis Bedürfniskartensortierung – Berufsalltag

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sortierung der Bedürfniskarten pro Werker, wie sich dies die acht Werker generell für ihren Arbeitsalltag wünschen. Im Anschluss wurde der gewichtete Mittelwert (m) berechnet.

Aufgrund der Bedürfnissortierung der einzelnen Probanden lässt sich folgende Rangordnung festhalten: Rang 1: Körperlichkeit (=1.79), Rang 2: Kompetenz (=1.68), Rang 3: Sicherheit (=1.39), Rang 4: Autonomie (=1.36), Rang 5: Verbundenheit (=0.82), Rang 6: Stimulation (=0.57) und Rang 7: Bedeutsamkeit (=0.39).

6 Diskussion der Ergebnisse

Die aufgestellten Forschungsfragen hatten

1. das Ziel herauszufinden, inwiefern potenzielle Nutzer/innen die zuvor abgefragten sieben Bedürfnisse in der Interaktion mit dem Assistenzsystem erfüllt sahen.
2. Welche Chancen und Bedenken sie bezüglich des Assistenzsystems haben.

Es lässt sich festhalten, dass die Probanden vor der Interaktion sehr hohe Erwartungen bezüglich der Bedürfnisse formulierten. Dies lässt sich möglicherweise durch die Tatsache erklären, dass die Probanden vorab über keinerlei Erfahrung mit einem Assistenzsystem verfügten und deshalb die Funktionen und Möglichkeiten des Systems, trotz der kurzen Präsentation, schwer einschätzen konnten. Am höchsten wurde in der Befragung 1 das Bedürfnis nach Sicherheit geratet, ein Bedürfnis, das auch bei der Bedürfniskartensortierung (s. Tabelle 5) bezüglich des Berufsalltags mit Rang 3 (Sicherheit) relativ weit oben eingeordnet wurde. Es zeigt sich, dass das Assistenzsystem das Bedürfnis nach Sicherheit erfüllen konnte. Der Grund für das hohe Sicherheitsempfinden könnte an den standardisierten Arbeitsabläufen mit einem direkten Feedback liegen, das auch in neuen Situationen unterstützt. Dass der Aspekt Sicherheit bei solchen Assistenzsystemen ein relevanter und positiver Punkt ist, bestätigte sich zusätzlich

Tabelle 5: Darstellung der Sortierung der Bedürfniskarten – Berufsalltag allgemein

Reihen- folge	Gewich- tung	Bedürfnisse						
		Autonomie	Kompetenz	Stimulation	Körperlich- keit	Sicherheit	Verbun- denheit	Bedeut- samkeit
1	7	1	2	0	5	0	0	0
2	6	2	3	0	1	2	0	0
3	5	1	3	0	1	3	0	0
4	4	3	0	0	1	3	1	0
5	3	0	0	3	0	0	5	0
6	2	1	0	2	0	0	2	3
7	1	0	0	3	0	0	0	5
m =		1.36	1.68	0.57	1.79	1.39	0.82	0.39

nochmals in den Interviews und der Vielzahl an Nennungen zu diesem Punkt.

Auch das Bedürfnis nach Kompetenz wird nach Einschätzung der Probanden durch das Assistenzsystem relativ gut erfüllt. Kompetenz ist ebenfalls ein Bedürfnis, das die Werker für ihren Berufsalltag als besonders relevant ansehen und in der Bedürfniskartensortierung, nach der Körperlichkeit, auf Rang zwei platzierten. Die Werker fühlten sich durch das Assistenzsystem in der Lage, unbekannte Aufgaben erfolgreich zu meistern. Dies stärkt das Gefühl kompetent zu sein. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine steigende Variantenzahl im Umfeld Industrie 4.0 ein interessanter Punkt. Zum anderen gab es insbesondere in den Interviews Hinweise darauf, dass die ständige Systemunterstützung und Anweisungen bei den Probanden Bedenken schürt, dass berufliche Qualifikationen verloren gehen könnten und somit die Gefahr eines Kompetenzverlusts besteht. Dies gilt es in der Praxis beim Einsatz der Systeme zu berücksichtigen.

Bedeutsamkeit als Bedürfnis, zeigte sich für die Probanden konkret in der Interaktion und den Use-Cases als erfüllt (MW: 4,4). Die Probanden konnten erleben, wie das System ihre Arbeit vereinfacht und schätzten dieses Bedürfnis als gut erfüllt ein. Dieses Ergebnis kann ein Hinweis sein, dass man Mitarbeitern bei der Einführung oder bei der Information zu einem solchen System die Möglichkeit er-

öffnet, es außerhalb der Arbeitssituation auszutesten, um den Nutzen für die persönliche Arbeit zu erfahren. Das Bedürfnis Körperlichkeit, das in der Bedürfniskartensortierung den 1. Rang einnimmt (im Sinne von sich Wohlfühlen am Arbeitsplatz), wird im Durchschnitt der Befragung mit 3,5 bewertet und somit knapp positiv im Sinne einer Bedürfniserfüllung durch das Assistenzsystem. Zu der Vorab-Einschätzung besteht allerdings eine Differenz von 1,2 Prozentpunkten. Die Probanden fühlten sich trotz der Kamerasysteme, was durchaus zu vermuten gewesen wäre, nicht zu sehr in ihrem Wohlbefinden eingeschränkt und nicht überwacht. Ein Punkt, der in den Interviews allerdings als potenziell negativ geäußert wurde. Inwiefern die Bewertung der Körperlichkeit aber auch durch die Laborsituation beeinflusst ist und ein Zusammenhang zur Erfüllung anderer Bedürfnisse (bspw. Kompetenz) besteht, erfordert weitere Untersuchungen.

Die Bedürfnisse nach Stimulation, Verbundenheit und Autonomie wurden durch die Interaktion ebenfalls nur teilweise befriedigt. Die Interaktion war für die Probanden nur zum Teil freudvoll und begeisternd (Stimulation), was daran liegen könnte, dass das eingesetzte Assistenzsystem wenige stimulierende Komponenten aufweist. Die Interviews zeigten, dass die Probanden sich im Arbeitskontext keine Spaß erzeugende Anwendung erwarten, allerdings eine Systemsoftware, die Neugier und Interesse weckt und Monotonie

vorbeugt. Insbesondere ergaben sich in den Interviews Hinweise darauf, dass sich dies ansonsten bei einem langfristigen, täglichen Einsatz negativ auswirken könnte. Die Tatsache, dass die Werker sich in der Interaktion mit den Kollegen nur wenig verbunden fühlten, ist sicherlich durch die Laborsituation und der somit künstlich hergestellten Montagesituation zu erklären, in der tatsächlich keine Kollegen vor Ort waren. Zudem enthielt das verwendete System für diese Studie auch keine Tools, die Verbundenheit unterstützt hätten. Dieser Punkt erfordert weitere Untersuchungen in einer Realumgebung. Am wenigsten sehen die Werker das Bedürfnis nach Autonomie erfüllt, da das System strikte Vorgaben zur Montage macht und die Werker somit weniger eigenen Handlungsspielraum haben. Da es sich bei der Autonomie um eines der Bedürfnisse handelt, die bei der Bedürfniskartensortierung relativ hoch eingeschätzt wurden (4. Rang) und auch in den Interviews der Autonomieverlust von der Mehrzahl der Probanden angesprochen wurde, sollte dieser Punkt bei der Gestaltung von Assistenzsystemen besondere Berücksichtigung finden. Insgesamt kann festgehalten werden, dass alle Probanden der Studie dem Assistenzsystem gegenüber positiv eingestellt waren und für den Bereich der Montage, insbesondere aus einer Unternehmenssichtweise heraus, viele positive Punkte fanden. Die negativen Punkte betreffen dagegen eher persönliche Aspekte der Werker. Diese Bedenken gilt es in der Gestaltung der Assistenzsysteme zu berücksichtigen.

7 Erste Handlungsempfehlungen für die Gestaltung

Trotz des explorativen Charakters der Studie können aus den Ergebnissen erste Hinweise abgeleitet werden, wie eine nutzer- und am Wohlbefinden der Anwender/innen orientierte Gestaltung und Implementierung kognitiver Assistenzsysteme bewerkstelligt werden kann:

1. Den Werkern soll die Möglichkeit gegeben werden, das System vor der eigentlichen Implementierung zu testen, bspw. in einer Lernfabrik, um dort Bedenken äußern zu

können und wenn möglich noch eigene Ideen der Gestaltung einbringen zu können.

2. Die Verwendung und Aufzeichnung von Daten (wem stehen die Daten zur Verfügung und für welche Zwecke) muss frühzeitig klar kommuniziert werden.
3. Um die Autonomie und den Handlungsspielraum zu vergrößern, sollten verschiedene Einstellungsmöglichkeiten bezüglich des Unterstützungsgrads wählbar sein. Werker sollten das System überstimmen können sowie Verbesserungsvorschläge kommunizieren können.
4. Um einem Kompetenzverlust entgegenzuwirken, sollten die Werker in die Arbeitsplanung der Prozesse miteinbezogen werden. Zudem könnten sich ausgewählte Werker im Rahmen einer Fortbildung neue Kompetenzen aneignen und in ihrer neuen Rolle Kollegen persönlich bei Problemen mit dem Assistenzsystem unterstützen.
5. Es sollten stimulierende Elemente eingesetzt werden, wie z.B. Informationen bezüglich des eigenen Arbeitsfortschritts und der Zielerreichung.

8 Limitationen

Die Studie unterliegt einigen Limitationen, die es im Hinblick auf weitere Untersuchungen sowie die Übertragung und Verallgemeinerung der Ergebnisse zu berücksichtigen gilt. Die Studie wurde lediglich mit acht Personen durchgeführt, für eine Verallgemeinerung der Ergebnisse bedarf es weiterer Untersuchungen mit größeren Stichproben. Die Studie wurde in einer Laborsituation durchgeführt, Untersuchungen in Realsituationen, bspw. um die Verbundenheit mit Kollegen und Kolleginnen und das Bedürfnis der Körperlichkeit besser untersuchen zu können sind wünschenswert. Die Überprüfung in Realszenarien ist auch im Hinblick auf die Interaktionszeit und die Use-Cases erstrebenswert. Hier sollten in zukünftigen Studien in Vorabfragen realistische Produkte und Montagezeiten zum Einsatz kommen. Zudem hatte keiner der Probanden Vorerfahrungen mit einem digitalen

Montage-Assistenzsystem. In einer Folgeuntersuchung sollten auch Probanden mit Erfahrung untersucht werden, sowie angelernte Personen, ohne Ausbildung im Produktionsumfeld. Möglicherweise zeigen sich hier im Hinblick auf den geäußerten Kompetenzverlust Unterschiede. Weiterhin konnten die Zusammenhänge und Einflüsse zwischen den einzelnen Bedürfnissen im Rahmen dieser Studie nicht weiter untersucht werden.

9 Fazit

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass der gewählte theoretische Ansatz zu Technikakzeptanz und Bedürfnissen im Bereich der User-Experience-Forschung für eine wohlbefindensorientierte Gestaltung kognitiver Assistenzsysteme im Industrie 4.0 Umfeld einen zielführenden Beitrag leisten kann. Kennzeichnend für die Studie ist der Fokus auf die subjektiven Sichtweisen und das Erleben der potenziellen Nutzer/innen. Festzuhalten ist,

dass potenzielle Nutzer/innen des Assistenzsystems ein hohes Gefühl von Sicherheit in den Arbeitsvorgängen erwarten. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine zukünftig steigende Variantenvielfalt relevant. Die tatsächliche Bedeutsamkeit des Assistenzsystems wurde für die Probanden erst durch das konkrete Ausprobieren erfahrbar und sollte potenziellen Nutzer/innen in Situationen außerhalb der Arbeit ermöglicht werden. Für zukünftige Forschung sollte in den Fokus rücken, wie Qualifikationen und Kompetenzen von Mitarbeiter/innen beim Einsatz solcher Systeme erhalten und gefördert werden können. Die potenziellen Nutzer/innen dieser Studie haben die Erwartung, dass das Assistenzsystem sie in ihrer Kompetenzentwicklung fördert und unterstützt und nicht reduziert, so wie es ein Proband äußert: *„Ich bin überzeugt von dem Nutzen, jedoch ist es [...] kritisch, das System jeden Tag zu benutzen. Weil man eben nichts mehr denken muss.“*

Literatur

- [Ari17] C. Aringer-Walch und C. Adam: Digitalisierung und Industrie 4.0 – Welche Kompetenzen braucht die digitale Zukunft? In: *Ergonomie aktuell* 18, S.17-20, 2017.
- [Aeh14] M. Aehnelt und S. Bader: Mobile Informationsassistenten für die Montage. In: R. Weidner (Ed.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen: Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema*. Hamburg, 2014, S. 370-380.
- [Ban09] A. Bangor, P. Kortum und J. Miller: Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. In: *Journal of Usability Studies*. Jg. 4 (3), S. 114-123, 2009.
- [Ben17] K. Bengler, C. Lock, S. Teubner und G. Reinhart: Grundlegende Konzepte und Modelle. In: G. Reinhart (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0*. München: Hanser, S. 54-60, 2017.
- [Bra15] R. Brauer, N. Fischer und G. Grande: Akzeptanzorientierte Technikentwicklung. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 140-146, 2015.
- [DIN11] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion-Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme, 2011.
- [Die11] S. Diefenbach und M. Hassenzahl: *Handbuch zur Fun-ni Toolbox. User Experience Evaluation auf drei Ebenen*. Verfügbar unter: https://issuu.com/hassenzahl/docs/diefenbach_hassenzahl_2010_handbuchfun-nitoolbox (zuletzt 24.08.2018).
- [Die17] S. Diefenbach und M. Hassenzahl: Psychologie in der nutzerzentrierten Produktgestaltung. Mensch – Technik – Interaktion – Erlebnis. In: F. C. Brodbeck, E. Kirchler, R. Woschke (Eds.) *Die Wirtschaftspsychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2017.

- [Dec85] E. Deci und R. Ryan: Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. New York: Plenum, 1985.
- [Gil12] D. Gilbert: The Science behind the Smile. Interviewed von Justin Fox. In: Harvard Business Review, Nr. 1, 2012.
- [Gei15] T. Geis und C. Johner: Usability Engineering als Erfolgsfaktor. Effizient IEC 62366 und FDA-konform dokumentieren. Berlin: Beuth. 2015.
- [Has08] M. Hassenzahl, M. Burmester und F. Koller: Der User Experience (UX) auf der Spur: Zum Einsatz von www.attrakdiff.de. In: H. Brau, S. Diefenbach, M. Hassenzahl, F. Koller, M. Peissner und K. Röse (Hrsg.): Tagungsband UP08. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 78-82, 2008.
- [Kas16] S. Kasselman und S. Willecke: Interaktive Assistenzsysteme. Hannover 2016.
- [Kin06] W. King und J. He: A meta-analysis of the Technology Acceptance Model. In: Information & Management, Jg. 43 (6), S. 740-755, 2006.
- [Kle17] T. Kleineberg, M. Eichelberg und S. Hinrichsen: Participative Development of an Implementation Process for Worker Assistance Systems. In: E. Padoano und F.-J. Villmer (Hrsg.): Production engineering and management. Lemgo: Department of Production Engineering and Management, Ostwestfalen-Lippe University of Applied Sciences, S. 25-36, 2017.
- [May10] P. Mayring: Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken, 11.,akt. und überarbeitete Aufl. Weinheim, Basel: Beltz. 2010.
- [Rei14] G. Reinhart und M. Zäh: Assistenzsysteme in der Produktion. In: wt Werkstattstechnik online. Jg. 104 (9), S. 516, 2014.
- [Rya00] R. Ryan und E. Deci: Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. In: American Psychologist. Jg. 55 (1), S.68-78, 2000.
- [She01] K. Sheldon, A. Elliot, K. Youngmee und T. Kasser: What Is Satisfying About Satisfying Events? Testing 10 Candidate Psychological Needs. In: Journal of Personality and Social Psychology, Jg. 80 (2), S.325-339, 2001.
- [Spi15] R. Spillner: Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion. München: Utz Herbert, 2015. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2014.
- [Ven08] V. Venkatesh und H. Bala: Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. Decision Sciences, 39(2), S. 273-315, 2008.
- [Wie14] M. Wiesbeck: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. (Dissertation). München: Technische Universität München, 2014.
- [Wöl15] M. Wölfl: Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik (Dissertation). München: fml, TUM.

Framework zur Generierung zieladäquater Untersuchungsdesigns zum Erfassen von Nutzerbedarfen

A. Wallisch und K. Paetzold

Universität der Bundeswehr München, Institut für Technische Produktentwicklung
Anne.Wallisch@unibw.de, Kristin.Paetzold@unibw.de

Kurzzusammenfassung

Technische Systeme sollen den Menschen bei seinen Alltagsaktivitäten unterstützen. Die Entwicklung dieser Systeme erfordert entsprechende Einsichten in die Nutzerpraxen, -kontexte, und -bedarfe. Hierfür werden Untersuchungsdesigns benötigt, mit denen nicht nur die Datenerhebung, sondern auch deren Aufbereitung und Auswertung dem Untersuchungsziel angepasst und einander ergänzend kombiniert werden. Ingenieurinnen sehen sich hierbei mit einem breiten Spektrum fachfremder Instrumente, oftmals ohne konkreter Entscheidungshilfe, wonach diese auszuwählen sind, konfrontiert. Im Beitrag wird ein Framework für ein Strukturierungskonzept sozialwissenschaftlicher Methoden vorgestellt, mit dessen Hilfe die Einflussgrößen der jeweiligen Fragestellung in Abhängigkeit von ihrer Zielstellung identifiziert, beschrieben sowie im Aufbau eines Untersuchungsdesigns realisiert werden können.

Abstract

Framework for generating target-adequate study designs for the recording of user requirements

Technical systems should support people in their everyday activities. The development of these systems requires corresponding insights into user practices, contexts and needs. For this purpose, research designs are required with which not only the data collection, but also their preparation and evaluation are adapted to the research objective. Engineering designers see themselves confronted with a broad spectrum of instruments from other disciplines, often without concrete help in deciding what to choose what for. The paper presents a framework for a structuring concept of social science methods, with the help of which the influencing variables of the respective research question can be identified, described and translated into an investigation design, depending on their objectives.

Keywords

Nutzerintegration, partizipative Produktentwicklung, nutzerzentriertes Design, Nutzerbedarfe

1 Einleitung

Die vom Ingenieur erwartete Wirkung seines Produkts besteht darin, den Anwender bei der Bewältigung seines Alltags bzw. beim Handeln in bestimmten Lebenssituationen zu unterstützen. Entsprechend wird vom Ingenieur erwartet, dass die von ihm entwickelten Produkte bei der Alltagsbewältigung helfen. Ziel jeder Entwicklungsmaßnahme ist es, den Menschen in seinem Streben nach einem selbstbestimmten und unabhängigen Leben zu fördern. In dem Moment, wo der Mensch zum

Bewertungsmaßstab wird, ist es notwendig, ihn in seiner Rolle als Nutzer zu beschreiben, seine Wünsche und Bedürfnisse zu erkennen und die Entwicklungsaufgaben hierauf auszurichten. Für die Produktentwicklung führt dies zu der Herausforderung, Wissen über den Nutzer zu erfassen, aufzubereiten und für den Entwicklungsprozess verfügbar zu machen, um damit ein ganzheitliches Verständnis für Nutzerbedürfnisse aufzubauen. Methoden der Nutzerintegration liefern hierfür zweifelsohne

einen wichtigen Beitrag, nicht nur in der Erfassung von Daten und Informationen vom Nutzer, sondern auch in der Interpretation dieser, um hieraus tatsächlich Wünsche und Bedarfe ableiten zu können. Letztendlich hilft diese Vielzahl an vor allem sozialwissenschaftlichen Methoden dem Entwickler dabei, die Nutzerperspektive einzunehmen und hieraus Schlüsse zu ziehen. Gerade die sozialwissenschaftlichen Methoden sind vielfältig, sie können in unterschiedlichen Ausprägungen und auf verschiedene Art und Weise nutzbringend in den Entwicklungsprozess integriert werden. Nicht jede Methode oder Methodenausprägung ist jedoch für jede Stufe im Entwicklungsprozess oder für die jeweilige Entwicklungsaufgabe geeignet. Im Zusammenhang mit dem konkreten Entwicklungskontext lassen sich aus dem breiten Spektrum möglicher Methoden ihre möglichen Anwendungsgebiete identifizieren. In der Praxis ist dies für den Ingenieur oft allein deshalb eine Herausforderung, weil er in der systematischen Anwendung dieser Methoden unzureichend geschult ist. Hinzu kommt, dass verschiedene Methoden je nach ihrem Einsatz im Produktentwicklungsprozess verschiedene Ergebnisse liefern, die in der richtigen Weise interpretiert werden müssen. Ziel des Beitrags ist es, ein Konzept für einen Forschungsrahmen vorzustellen, der eine systematische Hilfe bei der Entwicklung des geeigneten Forschungsdesigns bietet. Dazu wird zunächst ein kurzer Abriss über bisherige Arbeiten (2.) und zentrale analytische Grundlagen (3.) geliefert, bevor die Konzeptualisierung in Grundzügen vorgestellt (4.), mittels Leitfragen detailliert (5.) und schließlich anhand eines Praxisbeispiels empirisch überprüft wird (6.). Abschließend folgt ein kurzer Ausblick auf weiterführende Forschungsbedarfe.

2 Problemaufriss

Nutzerintegration in der Entwicklung ist heute nichts Neues, gerade auch sozialwissenschaftliche Methoden haben sich auch in der Anwendung durch Ingenieure etabliert. Die Literatur bietet eine beinahe schon unüberschau-

bare Flut von Hilfsmitteln, Methoden und Methodiken, in denen der Nutzer auf verschiedenste Arten bei der Produktentwicklung mitberücksichtigt oder unmittelbar eingebunden werden kann [Rei04]. Bisherige Versuche, diese Methoden zusammenzutragen, beschränken sich jedoch meist auf eine einzige Analyseebene. Prominente Beispiele sind die Unterscheidung zwischen aktiver und passiver Nutzereinbindung [Gle10], qualitativer und quantitativer Forschungsstrategien, nach Nutzerrollen [Fic05] und ihren Funktionen im Produktentwicklungsprozess [Zog12] oder seinen einzelnen Phasen [Kle09]. Hinzu kommt, dass einzelne sozialwissenschaftliche Methoden nur dann interpretierbare Informationen liefern, wenn sie zielorientiert in ein Untersuchungsdesign eingebunden sind [Die02]. Auch beschränken sich die verwendeten Bewertungskriterien vielfach auf quantitativ messbare und relativ einfache qualitative Aussagen. Der zu erwartende Mehrwert und das potenzielle Risiko einer Methodenanwendung im Vergleich zu anderen Methoden wird nur in äußerst reduzierter Form bewertet: Wann und unter welchen Bedingungen der Methodeneinsatz zielführend ist und welche Ergebnisse erwartet werden dürfen, bleibt oftmals unbeantwortet [Ols11]. Über die einzelnen Methoden selbst liegt in der Entwicklungspraxis zwar umfangreiches Wissen vor, allerdings scheint dieses stark fragmentiert [Wal18]. Oftmals sind es strukturelle und persönliche Gründe, warum eine Methode zum Einsatz kommt und eine andere abgelehnt wird [Gey18]. Eine Vergleichbarkeit der Methoden ist allein dadurch erschwert, dass hier rechnergestützte Körpermodelle für biomechanische Analysen, prozedurale Standards wie die QFD-Methodik, statistische Standards und Checklisten neben ethnographischen Studien und Designphilosophien stehen. Insgesamt lässt sich festhalten, dass ein grundsätzliches Bewusstsein für die Logik der Anwendungsmöglichkeiten der empirischen Sozialforschung und Versuchsplanung zu fehlen scheint. In der Literatur zu Nutzerintegration werden Methodiken und Methoden, Untersuchungsdesigns und Erhebungsmethoden, oft

scheinbar gleichberechtigt nebeneinandergestellt und damit der Eindruck erweckt, es handle sich dabei um jeweils eigenständige, alternative Untersuchungsmethoden. Dieses Vorgehen führt letztlich spätestens bei der Datenauswertung zu Herausforderungen bei der Interpretation der Ergebnisse. Hier möchte der vorliegende Beitrag mit der Konzeptualisierung eines Frameworks, das es erlaubt, zieladäquate Untersuchungsdesigns zum Erfassen von Nutzerbedarfen zu generieren, ansetzen. Die zu beantwortenden Fragen und zu berücksichtigenden Dimensionen des jeweiligen Anwendungsfalls sollten idealer Weise erst zum adäquaten Untersuchungsdesign führen, das jedoch keineswegs in Konkurrenz zu verschiedenen Erhebungsmethoden steht, sondern die Auswahl und den Einsatz dieser gewissermaßen rahmt und koordiniert [Die02].

3 Analytische Grundlagen

Methoden können allgemein als spezifische Problemlösungsmittel verstanden werden, die den Problemlösenden entlasten indem sie seine Situations- und Handlungskontrolle stärken und dabei noch eine relativ große Flexibilität besitzen. In Abhängigkeit des Forschungsproblems lassen sich aus dem breiten Spektrum der möglichen Methoden ihre Anwendungsgebiete identifizieren. Da dies von den prinzipiellen Vorgehensweisen in der Produktentwicklung entkoppelt ist, lassen sich damit jedoch noch keine konkreten Gestaltungsrichtlinien für die Nutzerintegration ableiten.

3.1 Sozialwissenschaftlichen Methoden

Sozialwissenschaftliche Methoden sind empirische Methoden, die Zusammenhänge für Phänomene der Wirklichkeit aus Erfahrungen heraus erklären. Unterschieden werden diese Methoden nach qualitativen und quantitativen Methoden, die Differenzierung erfolgt über die zugrundeliegende Erkenntnistheorie.

Den qualitativen Methoden liegt die Annahme zugrunde, dass die Realität durch die subjektive Wahrnehmung geprägt ist und damit auch die Interpretation durch Beobachten erlaubt. Einerseits ist durch den Subjektbezug keine

hohe Probandenzahl für die Nutzerintegration notwendig, andererseits wird genau dies häufig als mangelnde Objektivität kritisiert. Die Objektivierung der Ergebnisse wird hier dadurch gewährleistet, dass gewählte Methoden und der Untersuchungs- und Interpretationsprozess ausführlich dokumentiert werden. Der Vorteil qualitativer Methoden liegt in der größeren Offenheit, die es erlaubt, flexibel auf Unvorhergesehenes oder Unbekanntes zu reagieren. Qualitative Methoden beruhen auf Beobachten und Interpretieren, sie beantworten vor allem Fragen nach dem Was, Wann, Wie, Wer, Warum. Quantitative Methoden dienen dazu, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu identifizieren und zu quantifizieren. Die Realität wird dabei als objektiv und unabhängig vom Beobachter wahrgenommen, wodurch das soziotechnische System messbar und mit kontrollierten Methoden erfassbar wird. Die Datenerfassung erfolgt durch Messen und Zählen, die Ergebnisse geben Auskunft über das Wie lange, Wie oft, Wie viel etc. Verwendet werden statistische Methoden für die Auswertung, was eine entsprechende Probandenzahl erfordert. Qualitative Methoden sind also vor allem dann hilfreich, wenn reale Situationen untersucht werden sollen, um Kenntnisse über Abhängigkeiten zu identifizieren. Sie unterstützen bei der Hypothesenbildung. Mit quantitativen Methoden werden kausale Wirkzusammenhänge quantifiziert, die jedoch keinesfalls deterministisch zu verstehen sind. Die Beobachtung der Häufigkeit etwa, mit der ein Nutzer eine bestimmte Handlung ausübt, sagt wenig darüber aus, warum er dies tut. Insofern ist die Umsetzung dieser Ergebnisse im Entwicklungsprozess oft noch viel stärker von der Interpretation durch den Ingenieur abhängig, da keine Möglichkeit zur kommunikativen Validierung der Beobachtung mit dem Nutzer besteht.

3.2 Der Produktentwicklungsprozess

Die Vorgehensweise in der Produktentwicklung wird in vier essentielle Phasen, Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten untergliedert. Im Rahmen der Planungsphase

werden Produktideen eruiert und Entscheidungen darüber getroffen, welche Produkte zu entwickeln sind. Im Rahmen der Konzipierung gilt es dann, für diese Produktideen Anforderungen zu konkretisieren und hieraus Konzepte für die Produkte abzuleiten, die dann wiederum in der Entwurfsphase entsprechend ausdetailliert werden. Die Ausarbeitungsphase dient der Produktkonkretisierung und Integration von Teilsystemen zu einem Gesamtsystem. Will man in diesen Prozess den Nutzer integrieren, wird schnell deutlich, dass der Nutzer hier im Wesentlichen drei Funktionen übernehmen kann: in den frühen Phasen unterstützt er die Ideenfindung und fungiert als Ideenlieferant. In der Konzept- und Ausarbeitungsphase dagegen kann der Nutzer aus seiner Erfahrung heraus die Lösungsfindung unterstützen. In der Ausarbeitungsphase, wenn die Produktentwicklung selbst weitestgehend abgeschlossen ist, übernimmt der Nutzer die Funktion des Bewerter. Daraus ergibt sich, dass je nach Funktion des Nutzers im Entwicklungsprozess unterschiedliche Daten- und Informationsbedarfe von diesem erwartet werden. Dies muss sich natürlich auch in der Wahl der Methoden bzw. in der Gestaltung des Untersuchungsdesigns manifestieren.

3.2 Empirischer Forschungsprozess

Die empirische Sozialforschung verfügt über eine Vielzahl an Techniken zur Erhebung und Auswertung von Daten: Interviews, systematische Beobachtungsverfahren, Inhaltsanalyse von Texten, Verfahren der Stichprobenziehung, Einstellungsmessung und Skalierung, Randomized-Response-Technik und nicht-reaktive Verfahren, experimentelle und quasi-experimentelle Längs- und Querschnittstudien, und viele andere [Rot93]. Der Ablauf einer empirischen Studie lässt sich grob in fünf Hauptphasen unterteilen: Formulierung und Präzisierung des Forschungsproblems, Planung und Vorbereitung der Erhebung, Datenerhebung, Datenauswertung und Berichterstattung bzw. die Umsetzung der Forschungsergebnisse. In jeder dieser Phasen sind eine

Reihe von Entscheidungen zu treffen. So manche Studie liefert keine belastbaren Ergebnisse, weil „irgendetwas im Zusammenhang mit dem Nutzer“ untersucht werden soll, ohne dass das Forschungsziel ausreichend klar umrissen ist. Hier muss gegebenenfalls das praktische Problem des Auftraggebers erst in eine sinnvolle Forschungsfrage übersetzt werden. Je nach Forschungsziel kommen bestimmte Methoden von vornherein nicht in Frage, dennoch besteht erheblicher Spielraum bei der kreativen Wahl von Methoden, weshalb insbesondere die zweite Phase Sorgfalt bei der Konstruktion des Erhebungsinstruments, also der Konzeptspezifikation und Operationalisierung, sowie bei der Festlegung des Untersuchungsdesigns und des Stichprobenverfahrens bzw. der Fallauswahl erfordert. Die Untersuchungsebene wird in der Produktentwicklung meist die Individualebene sein, dabei gilt es zu fragen, wie Querschnitt-, Trend-, Kohorten- oder Paneldaten mithilfe eines nicht-/quasi-/experimentellen Designs erhoben werden sollen. Hier werden Methoden eingesetzt, um einzelne Schritte gezielt und effizient durchzuführen. Der Begriff der Methode beschreibt eine regelbasierte und geplante Aktion, nach der bestimmte Aktivitäten durchgeführt werden sollen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen [Lin09]. Eine Methode unterscheidet sich von einem Vorgehensmodell vor allem durch ihre formalisierte Beschreibung und ihren operativen Charakter. Während das Vorgehensmodell definiert, welche Schritte durchgeführt werden sollen, definiert die Methode auf welche Weise dies geschehen soll und mit welchem Ergebnis die Schritte durchgeführt werden sollen. Dabei können Werkzeuge eingesetzt werden, um die Anwendung einer Methode zu erleichtern. Ebenso kann eine Technik definiert werden als eine Art, etwas zu tun, indem man spezielle Kenntnisse oder Fähigkeiten einsetzt oder eine praktische Art und Weise, in der eine bestimmte Tätigkeit ausgeführt werden soll, wie bspw. die Verwendung bestimmter Fragetechniken. Der Begriff Methode ist weit gefasst und nicht immer klar unterscheidbar. Eine

Methode kann z.B. aus einigen wenigen Aktionssequenzen bestehen, wie z.B. einem Paarvergleich oder einer Punktbewertung. Der Begriff wird in der Literatur aber auch für Kombinationen verschiedener Einzelmethoden verwendet. Im Sinne der analytischen Trennschärfe wird dafür plädiert, typische Kombinationen bestimmter Methoden als Methodik zu fassen, kreative Methodenkombinationen als Erhebungsdesign und den Begriff Methode letztlich für die singulären Methoden selbst zu reservieren. Dimensionen, in denen sich Methoden, Werkzeuge und Techniken unterscheiden, sind vielfältig: Umfang, Hintergrund, Flexibilität und Aggregationsebene, um nur einige zu nennen. Sie können auch nach ihren Merkmalen in Bezug auf ihr Ziel im Designzyklus gruppiert werden. Im Folgenden soll geprüft werden, inwiefern sich die Konzeptualisierung eines Routenplaners als Vorgehensmodell für die angemessene Auswahl und Anwendung nutzerintegrierender Methoden eignen könnte.

4 Konzeptualisierung des Frameworks

Die Gesamtheit der vorgenannten Methoden stellt gewissermaßen das „Verkehrsnetz“ der empirischen Sozialforschung dar. Der Ort, über den sich das Streckennetz erstreckt, ist das „soziale Feld“ bei der Befragung, Beobachtung oder dem Feldversuch, das Archiv bei der Sichtung von Texten für die Inhaltsanalyse, das Labor bei einem Experiment und der Platz vor Computer bei der Aufbereitung und statistischen Analyse der Daten. Die Analogie des Verkehrsplans trägt sich auch insofern, als dass man mit dem Besteigen der falschen Verkehrslinie oder der Fahraufnahme in die falsche Richtung das Ziel verfehlt, so gilt dies auch für die empirischen Methoden. Das Streckennetz muss verstanden und Alternativrouten müssen gewollt werden. Aus den verschiedensten Gründen lässt sich jedoch in der Produktentwicklung das „law of instrument“ [Kap64] beobachten: Einmal erlernte Methoden werden auf alle möglichen Anwendungen angewandt ohne zu prüfen, welche Alternativen bei dem jeweiligen Untersuchungs-

ziel am besten geeignet sei. Je nach Fragestellung und Untersuchungsziel empfiehlt sich die Auswahl unterschiedlicher Methoden, häufig von Methodenkombinationen: Einige Destinationen erreicht man nur durch Umsteigen. Das angedachte Framework soll Hilfestellung dabei bieten, die richtige Route für das jeweilige Ziel zu finden. Idealer Weise sollte nicht die Methode das Problem, sondern das Problem die Auswahl der Methode bestimmen. Das „Verkehrsnetz Nutzerintegration“ bietet damit den Rahmen dafür, wie Wissen und Erwartungen der Nutzer in die Entwicklung integriert werden können, womit eine praktikable und überschaubare Designgrundlage zur Identifikation und Priorisierung der Anwendungsfälle und Anforderungen aus Anwendersicht sichergestellt werden soll. Prozesse sind mehr als nur mechanische Abläufe. Hinter jedem Prozess stecken einzelne Handlungsstränge. Hinter jedem Handlungsstrang steckt ein Ziel. Für die agile Entwicklung zum Beispiel existieren bereits Landkarten [Del16]. Im Folgenden soll nun untersucht werden, inwiefern dieser Ansatz auch als Basis für ein Framework zur zieladäquaten Entscheidungshilfe hinsichtlich der Nutzerintegration geeignet scheint. Übertragen auf das Verkehrsnetz heißt das zunächst: Jede Transportlinie führt in eine bestimmte Phase der Produktentwicklung. Jede Haltestelle ist ein Punkt, an dem sich die Handlungsstränge der Produktentwickler treffen. So wird deutlich, wo erfolgsrelevante und wo kritische Knotenpunkte lauern. Abgebildet ist nicht nur eine einzige und vielleicht bereits etablierte Linie, sondern die gesamte Verkehrsfläche, so dass es möglich ist, verschiedene Perspektiven einnehmen und das gesamte Streckennetz zu verstehen. So können schnellere Verbindungen gesucht und Weichen neu gestellt werden. Es entsteht idealer Weise ein Fahrplan, der den Entwicklern Orientierung bei der Planung der eigenen Reise zu den benötigten Nutzeranforderungen gibt, indem er sie bei der Auswahl des geeigneten Untersuchungsdesigns unterstützt.

5 Detaillierung der Leitfragen

Bei der Ausarbeitung des Streckennetzes wird sich zunächst auf die Grundmerkmale der Nutzerbeteiligung in der Systementwicklung, dem *Wer, Wann, Was* und *Wie*, konzentriert [OH93]. Dies sollte zur Beantwortung der Frage *Womit* führen und diesbezüglich die Methoden zur Datenerhebung und Datenanalyse, die aus der Summe der Antworten auf die nachfolgend ausdetaillierten Fragen resultieren, bestimmen. Eine systematische Analogie der Nutzerintegration zum Verkehrsplan muss diesen Ebenen Rechnung tragen.

5.1 Wer und Wie

Es bestehen unterschiedliche Anforderungen an den Beteiligungsprozess und an die beteiligten Nutzer: Ein teilnehmender Nutzer muss neben der aktiven Mitwirkungsbereitschaft auch über das Verständnis seiner Rolle im Designprozess verfügen, sowie die entsprechenden professionellen, innovativen und sozialen Kompetenzen, um eigene Ideen und Anforderungen in einem Entwicklungskontext einzubringen und umzusetzen. Die Frage nach dem „Wer“ definiert also die Zielgruppe und die Informationen über den Benutzerkontext. Es können die zukünftigen Benutzer selbst oder Benutzervertreter beteiligt werden. Bei Letzteren ist darauf zu achten, ob und in welcher Form sie von den zukünftigen Benutzern legitimiert sind (z.B. durch Wahl) und ob sie über das nötige arbeitsplatzspezifische Wissen verfügen. Dies ist z.B. bei Funktionären oder externen Beratern als Vertreter der Benutzer nicht immer gegeben. Die Frage nach dem „Wie“ definiert den Grad der Integration. Hier lassen sich ganz grundsätzlich drei Unterscheidungen treffen: Bei der passiven Mitwirkung wird die Meinung der Benutzer hinsichtlich des zu entwickelnden Systems gehört und eher willkürlich bei der Gestaltung des technischen Systems berücksichtigt. Bei der aktiven Mitentscheidung treffen die Benutzer zusammen mit weiteren Verantwortlichen grundsätzliche Entscheidungen zum Systementwurf. Bei der aktiven Partizipation können die Benutzer darüber hinaus bei der Produktentwicklung selbst direkt gestaltend tätig werden.

Hierfür müssen diese gegebenenfalls mit den entsprechenden fachlichen, persönlichen und organisationalen Kompetenzen ausgestattet werden. Für jede dieser verschiedenen Ausprägungen von Benutzerbeteiligung müssen geeignete Methoden gefunden werden, mit deren Hilfe die Äußerungen der Benutzer festgehalten und im Gestaltungs- und Entscheidungsprozess angemessen berücksichtigt werden können.

5.2 Was und Wann

Die Frage nach dem „Was“ definiert die erwarteten Ergebnisse für den Entwicklungsprozess, etwa Ideengenerierung vs. Evaluation. Grundlegend kann folgende Typologie von Untersuchungszielen herangezogen werden: explorative Untersuchungen, deskriptive Untersuchungen, das Prüfen von Hypothesen und Theorien und Evaluationsstudien. Hier ist die Frage zu klären, an welchen Entscheidungen die Benutzer bzw. ihre Vertreter beteiligt werden. Bei der Systementwicklung können die Benutzer in unterschiedlichem Ausmaß an der Festlegung der Funktionalität und der Gestaltung der Interaktion mitwirken, wobei die Systemgestaltung in einem größeren Zusammenhang gesehen werden muss: Eine vollständige partizipative Systementwicklung umfasst neben der eigentlichen Produktgestaltung auch die Lösung organisationaler und arbeitsgestalterischer Fragen. In Abhängigkeit davon definiert die Frage nach dem „Wann“ die zeitliche Integration in den Entwicklungsprozess und bestimmt verfügbare Produktartefakte. Wichtig ist der Zeitpunkt, zu dem die Benutzer an der Systementwicklung beteiligt werden. Dieser ist abhängig von der gewählten Entwicklungsstrategie, wie beispielsweise Prototyping. Nutzerintegration ist insbesondere in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses von entscheidender Bedeutung: hier kann auf die Fachkompetenz der Benutzer als Experten für die Arbeitsaufgabe nicht verzichtet werden. Bei Fragen der Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik und damit der Funktionalität des zu entwickelnden Systems müssen die Weichen frühzeitig in die richtige Richtung gestellt werden, da nachträgliche

Änderungen fehlgeleiteter Konzepte nur noch mit erhöhten Aufwand realisierbar sind.

5.3 Womit

Übertragen auf die einzelnen Phasen einer empirischen Untersuchung (vgl. 3.2) ergeben sich folgende Prozessschritte: Mit der Formulierung der Forschungsfrage bedingt sich zugleich das *Wann*, das *Was* dient der Definition der Begriffe, Konzeptspezifikation und Operationalisierung, das *Wie* legt die Untersuchungsform fest und das *Wer* schließlich die Definition der Population, Umfang der Stichprobe und Fallauswahl (vgl. Abb. 1).

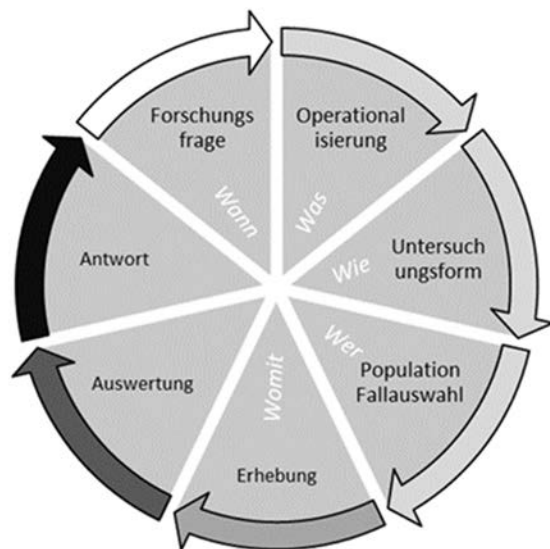


Abbildung 12: Merkmale der Nutzerintegration

Damit ist eine ganz grundsätzliche Entscheidung getroffen, nämlich ob eine qualitative oder eine quantitative Erhebung die erforderlichen Daten liefert. Letzteres wird beispielsweise bei deskriptiven Studien, die der Schätzung von Häufigkeiten, Anteilen, Durchschnittswerten und anderen Merkmalen der Verteilung bestimmter Einstellungen oder sonstiger Variablen in einer Nutzergruppe. Die Konstruktion entsprechender strukturierter, quantitativer Erhebungsinstrumente erfordert erhebliches Vorwissen über das Untersuchungsfeld. Ist jenes nicht vorhanden, wie dies etwa in explorativen Studien der Fall ist, werden vorzugsweise qualitative Methoden zum Einsatz kommen. Hier ist primär das

„Wie“ der genannten Zusammenhänge und deren innere Struktur aus Sicht der Betroffenen von Interesse [KL84]. Damit wird versucht, dem Umstand Rechnung zu tragen, dass allein die Aussage, dass ein Nutzer diese oder jene Präferenz zeigt, noch nichts darüber aussagt, warum er diese zeigt, und damit Gefahr läuft, eine Bedeutung „untergeschoben“ zu bekommen, die schlimmstenfalls in Fehlentwicklungen mündet. Grundsätzlich können vier Erhebungstechniken unterschieden werden: Befragung, Beobachtung, Inhaltsanalyse und die Analyse prozessproduzierter Verhaltensspuren. Gerade bei der Einstellungs- und Meinungsforschung ist man oft auf die äußerst reaktiven Methoden der Befragung angewiesen, daher ist dieser Punkt bei der Methodenauswahl und -kombination besonders kritisch zu reflektieren. Das im Folgenden skizzierte Entwicklungsbeispiel dient allein der empirischen Impulsfindung, inwiefern sich eine Übertragung des in den vorigen Kapiteln [vgl. Kap. 4, 5] dargestellten Konzepts in die Entwicklungspraxis realisieren lassen kann. Ziel kann es an dieser Stelle noch nicht sein, das vollumfängliche Verkehrsnetz abbilden, sondern vielmehr die Parameter einer sinnvollen Routenplanung herauszuarbeiten, um in dieser Vorbereitung festzustellen, in welchem Rahmen sich die Ausarbeitung eines solchen Streckennetzes lohnt. Das Ziel ist also hier in der Suche nach Gelenkstellen und Aufbauankern für das „Verkehrsnetz Nutzerintegration“ zu sehen.

6 Empirische Einlösung

Für die empirische Prüfung der Praxistauglichkeit der hier vorgestellten Konzeptualisierung wird die Entwicklungsaufgabe einer Mobilitätsassistenz für Senioren herangezogen. Diese lautet im Detail: „Zu entwickeln ist eine mechanische Mobilitätsunterstützung für ältere Stadtbewohner, die einfach zu verstauen ist.“ Im ersten Brainstorming sollte das Entwicklerteam die zentralen Parameter für die Anforderungsermittlung festsetzen. Es zeigte sich, dass die Diskussion stark von Altersstereotypen geprägt war, verstärkt ergonomische Parameter in Betracht gezogen wurden, eine

anvisierte Nutzerbefragung auf die Bewertung entwicklungsseitiger Vorschläge hinaus zu laufen schien und allgemein eine gewisse Unsicherheit bei der Konstruktion des Erhebungsinstruments bestand. Bemühungen, den Nutzer zu berücksichtigen waren deutlich erkennbar, allerdings schien das Ziel nicht eindeutig klar. An dieser Stelle wurde die Idee des „Routenplan Nutzerintegration“ eingebracht und angeregt, diese „Endhaltestelle“ mit der Formulierung einer Forschungsfrage zu definieren. Schließlich wurde vom Entwicklerteam die Frage gewählt, die durch die Nutzerintegration beantwortet werden soll: „Welche Bedeutung hat Mobilität in Ihrem Alltag?“. Damit ist zugleich auch das *Wann* der Nutzerintegration in den Entwicklungsprozess festgesetzt, nämlich zu Beginn der Entwicklung, denn der Nutzer soll hier die Funktion der Bedürfnisformulierung übernehmen und Entwicklungspotenziale aufzeigen. *Was* genau dabei formuliert werden soll, muss zuvor operationalisiert werden, um auch tatsächlich die richtigen Antworten auf die gestellte Frage zu erhalten, aus denen ja letztlich die technischen Spezifikationen abgeleitet werden sollen. Hier war nun also zu überlegen, dass es sich um außerhäusliche Aktivitäten handeln soll, welche zunächst zusammengetragen werden müssen. Dafür ist der Alltag der Älteren zu beleuchten, bzw. diejenigen Momente des Alltags, in denen außerhäusliche Mobilität eine Rolle spielt, sowohl einschränkend als auch befriedigend. Die Frage ist nun, *wie* diese untersucht werden können. Aufgrund der Fragestellung schien ein Querschnittsdesign ausreichend. Die Formulierung impliziert bereits, dass es spezifische Mobilitätsbedürfnisse und -einschränkungen bei älteren Menschen gibt, es geht hier nicht darum, den Grad der Veränderung im Zeitverlauf oder die Veränderungsgrade verschiedener Merkmale miteinander zu vergleichen, sondern schlicht das Mobilitätsverhalten von Älteren allgemein zu erfassen und damit zum Ausgangspunkt adäquater technischer Unterstützungslösungen machen zu können. Die explorative Bedarfsanalyse sollte also einmalig

durchgeführt werden, der Entwicklungsprozess selbst wurde dabei partizipativ angelegt. Das Designteam entschied sich dafür, während der gesamten Planungsphase eng mit den Nutzern zusammenzuarbeiten. Nachdem diese ihre Mobilitätsbedürfnisse am besten kennen und nicht selten bereits simple Lösungsstrategien entwickelt haben, wurde auch ihre Expertise als Ideengeber und Konzeptbewerter seitens des Designteams als hoch eingeschätzt und sollte eingebunden werden. Auch die resultierenden Prototypen sollten von den Nutzern getestet und bewertet werden. Die Frage war nun, *wer* diese Nutzer überhaupt sind. Bei der älteren Bevölkerungsgruppe handelt es sich schließlich um eine äußerst heterogene Gruppe mit unterschiedlichsten Charakteristika. Um Verzerrungen im Querschnitt möglichst klein zu halten war hier also zu bedenken, auch die Versuchsgruppe möglichst homogen zusammenzusetzen. Aktiv oder weniger aktiv zu sein, ist weniger eine Frage des biologischen Alters als vielmehr auch eine der subjektiven Bewertung der eigenen Motive und Fähigkeiten. Aufgrund der zuvor getroffenen Entscheidung einer partizipativen Entwicklung sollten die Teilnehmer in jedem Fall noch außerhäuslich aktiv und an Aktivität interessiert sein. Das Designteam entschied sich nach längeren Diskussionen dafür, Kontakt zu möglichen Teilnehmern über die ansässigen Alten- und Service-Zentren zu suchen. Diese Randbedingungen der Nutzerintegration bedingten zugleich auch den Rahmen für die Erhebungsmethoden, sollten also die Auswahl derjenigen Instrumente erleichtern, *womit* die relevanten Nutzerdaten zur Anforderungsanalyse erfasst werden können. In der Tat wurde aufgrund der angestellten Überlegungen die eingangs formulierte Idee eines standardisierten Fragebogens verworfen. Das Designteam erkannte, dass sich eine derart offen formulierte und mehrdimensionale Forschungsfrage nur mittels einer qualitativen Erhebung beantworten lassen könnte. Die partizipativ geplante Entwicklung verlangt einen mehrstufigen Erhebungsprozess, der die direkte Interaktion mit den Teilneh-

mern möglichst offen ermöglicht. Die Schwächen der Befragung hinsichtlich möglicher Verzerrungen im Erinnerungsvermögen Älterer oder auch sozialer Erwünschtheit können durch Beobachtungen im Feld ausgeglichen werden. Hinsichtlich der Zielgruppe schien es allerdings fraglich, ob es möglich sein würde, direkten Einlass zu privaten Haushalten zu erhalten. An dieser Stelle wurde das Designteam von den Autoren angeregt, zurück zum Punkt der Operationalisierung („Was“) zu gehen, um hier durch entsprechende Modifikationen eventuell weitere Entscheidungshilfen zu erhalten. Nach reiflicher Überlegung wurde die Forschungsfrage um die Dimension der vorhandenen Hilfsmittel und deren User Experience erweitert und überlegt, wie diese erfasst werden kann. Das Designteam entschied sich daraufhin schließlich für eine Kombination aus Interview und Beobachtung von Praxisdemonstrationen der Teilnehmer – sowohl im Umgang mit ihren bereits vorhandenen und bislang genutzten Mobilitätshilfen als auch mit den zu entwickelnden Prototypen. Um die Zugangshürden und den Aufwand der Erhebung so gering wie möglich zu halten, wurde die Befragung in Form einer offenen Fokusgruppendifkussion im Hauptsitz der Alten- und Service-Zentren, die die älteren Teilnehmer regelmäßig für Freizeitaktivitäten aufsuchten, geplant. Die Praxisdemonstrationen sollten mit den mitgebrachten Mobilitätsunterstützungen erfolgen, die die Teilnehmer für die Anreise benutzen würden, was nicht nur die Beobachtung, sondern auch konkretes Nachfragen des Designteams im direkten Nutzungsfall erlaubt. Für die Evaluierung der Konzepte wurden zunächst Einzeltermine geplant, damit sich die Teilnehmer nicht gegenseitig in ihrer Beurteilung beeinflussen, das Evaluieren der Prototypen sollte hingegen wieder gemeinschaftlich stattfinden. Das Designteam hat diesen Erhebungsplan mit sozialwissenschaftlicher Unterstützung erstellt. Es hat sich gezeigt, dass die Leitfragen bekannt waren, allerdings scheinbar lose miteinander verknüpft. Die systematische Ordnung scheint insofern von Bedeutung, als dass nicht immer

die Nutzerdaten durch alle beteiligten Ingenieure selbst erhoben werden, sondern diese oft bereits Vorgaben bekommen, die sie um Unbekannte ergänzen müssen. Das Designteam bewertete es als hilfreich zu wissen, wie diese Daten erhoben wurden, um sie besser interpretieren zu können. Zugleich zeigte sich deutlich der Bedarf an einer Methodenschulung: Nicht alle Mitglieder des Designteams hatten denselben Kenntnisstand und es bestand die Neigung, sich stark an bereits bekannte Methoden zu halten. Zum einen meinte das Team auf diese Weise Ressourcen sparen zu können, zum anderen ging es darum, Unsicherheiten zu minimieren. Nachdem nicht genutzte Informationen früher oder später vollends verloren gehen, wurde die Idee eines Verkehrsnetzes zur Abbildung der Methoden der Nutzerintegration zwar als hilfreich bewertet, allerdings in der Kombination mit einer Art „Reiselenker“, also einer entsprechend ausgebildeten Person, die in einem Initialworkshop die Routenplanung des jeweiligen Entwicklungsprojekts unterstützt. Die Leitfragen können dabei gewissermaßen als Teilstreckenplanungen verstanden werden, die sich in Anhängigkeit der zuvor getroffenen Entscheidungen zu einer Route ergänzen. Es wurde der Wunsch nach einer Art Schablone, die sich auf das Verkehrsnetz legen lässt, geäußert. Damit sind erste Anhaltspunkte für die Entwicklung des Verkehrsnetzes Nutzerintegration gegeben, die bei dessen Visualisierung Berücksichtigung finden sollten. Diese ist partizipativ mit Ingenieuren und Sozialwissenschaftlern zusammen zu erstellen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellte Konzeptualisierung soll als Basis für die Entwicklung eines entsprechenden „Routenplaner Nutzerintegration“ dienen. Der erste Versuch einer empirischen Einlösung konnte zeigen, dass sich mithilfe einer am Fahrplan orientierten Prozessbeschreibung konkrete Gestaltungs- und damit Handlungsrichtlinien für die Benutzerintegration in die verschiedenen Phasen der Produktentwicklung ableiten lassen. Damit lassen sich diejenigen Methoden bestimmen, mit denen

sich die Blackbox zwischen Nutzer und Entwickler möglichst minimieren lässt. Auf dieser Grundlage ist weitere Forschung notwendig, um ein Verkehrsnetz im Sinne der Prozessvisualisierung der Nutzerintegration vervollständigen und vollumfänglich abbilden zu

können. Mithilfe dieses Übersichtsplans wiederum soll die individuelle Routenplanung hinsichtlich der konkreten Entwicklungsaufgabe erleichtert werden.

Literatur

- [Del16] Deloitte Consulting: The Agile Landscape – v3, 2016. unter: https://www.reddit.com/r/AssurityAgile/comments/5n23e6/the_agile_landscape_v3_by_deloitte/ (25.07.2018).
- [Die02] A. Diekmann: Empirische Sozialforschung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Rowohlt Taschenbuch Verlag: Reinbeck bei Hamburg, 2002.
- [Fic05] K. Fichter: Nachhaltige Nutzerintegration im Innovationsprozess. In: K. Fichter, N. Paech und R. Pfriem (Hrsg.), Nachhaltige Zukunftsmärkte. Orientierungen für unternehmerische Innovationsprozesse im 21. Jahrhundert. Metropolis Verlag: Marburg, S. 351-368, 2005.
- [Gle10] S. Glende: Entwicklung eines Konzepts zur nutzergerechten Produktentwicklung – mit Fokus auf die „Generation Plus“. Dissertation, TU Berlin: Berlin, 2010.
- [Gey18] F. Geyer, J. Lehnen und C. Herstatt: Customer Need Identification Methods in New Product Development: What Works „Best“? In: International Journal of Innovation and Technology Management, Jg. 15, Nr. 1, S. 1-26, 2018.
- [Kap64] A. Kaplan: The Conduct of Inquiry. Chanler: San Fransisco, 1964.
- [Kle09] S. Kleinheiz: Nutzerintegration und Nutzerunterstützung in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Mensch und Buch Verlag: Berlin, 2009.
- [Lin09] U. Lindemann: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer: Heidelberg, 2009.
- [Ort93] S. Ortlieb und B. Holz von der Heide: Benutzer bei der Software-Entwicklung angemessen beteiligen - Erfahrungen und Ergebnisse mit verschiedenen Konzepten. In: Rödiger, K.-H. (Hrsg.), Software-Ergonomie '93: Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung. B. G. Teubner: Stuttgart, S. 249-261, 1993.
- [Ols11] T.O. Olsen und T. Welo: Maximizing Product Innovation through Adaptive Application of User-centered Methods for Defining Customer Value. In: Journal of Technology Management & Innovation, Nr. 6, S. 172-192, 2011.
- [Rei04] T. Reinicke: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung – Eine Systematik zur Anpassung von Methoden zur Nutzerintegration. Dissertation, Technische Universität Berlin: Berlin, 2004.
- [Rot93] E. Roth: Sozialwissenschaftliche Methoden. Oldenbourg Verlag: München, 1993.
- [Wal18] A. Wallisch und K. Paetzold: A qualitative inventory of user integration methods. In: Proceedings of the International DESIGN Conference, Dubrovnik, Croatia (DESIGN 2018), pp. 115-126, 2018.
- [Zog12] S. Zogaj und U. Bretschneider: Customer Integration in New Product Development: A Literature Review concerning the appropriateness of different Customer Integration Methods to attain Customer Knowledge, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2485240> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2485240>, 2012.

Deflatables: A Survey on Principles Used in Soft Deflatable Support Systems and Wearable Assistive Devices

A. Thallemer, F. Ong und A. Kostadinov

National University of Singapore, Division of Industrial Design
axel.thallemer@nus.edu.sg, a0124649@u.nus.edu, kostadinov.aleksandar@u.nus.edu

Abstract

Conventional wearable support systems for people are rigid, complex and impractical for day-to-day support requirements. A new field of wearables combining the use of soft materials with the application of negative-pressure (deflation) appears to be a likely complement to rigid support systems, referred to as soft deflatable support system (SDSS). In this introductory survey, the design methods of this family of soft deflatable support systems are given an overview, comparison and classification system in terms of manufacturability and design complexity. We also analyse the benefits and further potential design improvements to further the potential feasibility of these support systems.

Kurzzusammenfassung

Deflatables: Eine Übersicht zu den Funktionsprinzipien in weichen Unterdruck- Unterstützungssystemen und tragbaren Hilfsgeräten

Herkömmliche tragbare Unterstützungssysteme sind steif, komplex und unpraktisch in der Handhabung für den alltäglichen Gebrauch. Ein neues Forschungsfeld das den Einsatz weicher Materialien mit dem Prinzip des Unterdrucks (Entlüftung) kombiniert, erscheint als eine plausible Alternative zu steifen Unterstützungssystemen. In dieser einführenden Übersicht werden die Design-Methoden von weichen entlüfteten Systemen dargestellt, deren Funktion verglichen und anschließend werden die Lösungen hinsichtlich Produzierbarkeit und Design-Komplexität miteinander verglichen. Zusätzlich analysieren wir deren Vorteile und diskutieren mögliche Gestaltungs-Verbesserungen zur Umsetzbarkeit dieser Unterstützungssysteme.

Keywords

deflatable, vacuum, negative-pressure, support systems, jamming

1 Introduction

In recent years, there has been an increasing interest in the development of wearable support systems (SS) for people. Firstly, it is due to the growth of the elderly care industry resulting in an increased demand for rehabilitation and support equipment for the elderly [Tai18]. Secondly, there is an increasing interest in research and development aimed to enhance the physical capability of human limbs [Gra16]. Wearable SS can be used at parts of the human body where rigid parts are connected (see Fig 1). These systems provide support in several ways, namely:

- As a replacement for impaired limbs resulting in a loss of strength,
- As rehabilitative equipment for use in occupational therapy [Pol17],
- As medical and emergency equipment such as splints, evacuation equipment, and immobilization devices [Pov70],
- As a tool to relieve the load on the body in daily lives, workplaces or extreme environments; in the form of exoskeletons that serves to relieve fatigue,
- As devices designed to further augment the capabilities of the human body, evident in the form of robotic SS such as grippers.

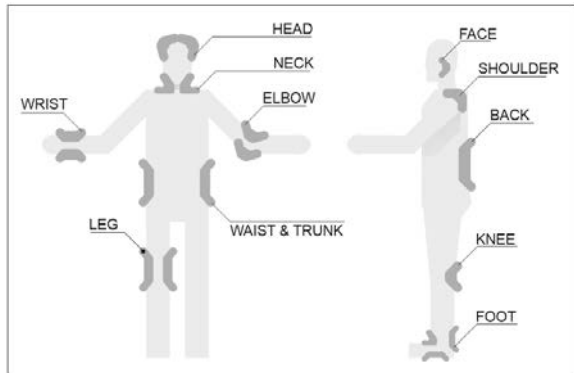


Figure 1: Overview of regions where support systems can be worn onto the human body

Conventional wearable SS are made of stiff parts connected at adjustable rigid mechanical joints, with a possibility for adjustable control by powered electronic systems [Yan15]. In addition, these rigid wearable SS are limited in their use-case scenarios due to several factors: firstly, the need for adaptability to different parts of the human body; secondly, the customizability to cater to different body sizes; and thirdly, the need for adjustable softness or rigidity (referred to as *tunable stiffness*), as well as compact size requirements when worn onto the human body. Our goal in this paper will be therefore to give an overview of alternative solutions and a design classification of these better-suited SS in order to gain more insight for developing practical tools using those design principles.

2 Wearable Soft SS

There has been a recent development of an alternative class of soft SS that are made of soft, compliant materials and powered by a driving force that results in the behaviour of the support system that enables tuneable stiffness. Soft SS allow for usability in more situations than those provided rigid ones. In the following sections of the survey, we will highlight prominent examples of soft supports.

2.1 Tuneable Stiffness

Soft SS are termed to have tuneable stiffness when they can easily transit from soft, flexible behaviour for dexterity and safe interactions to stiff, rigid behaviour to increase the forces

transferred to the environment when necessary or to provide structural support. The ease of phase transition between stiffness levels is easily reversible, resulting in a blurring of the line between rigid structures and soft structures in these SS. There are many well-documented ways of stiffness tuning, which are looked in depth in respective studies [Wan18].

2.2 Inflatable Soft SS:

Long explored, soft inflatable (pneumatic) SS are often made from inflatable elastic material and inflated with air by means of a pump. Examples include inflatable limb splints and rehabilitative gloves. A classification system of the design of inflatable systems has been looked in depth in [Gor17]. These SS can act as cushions and impact-absorbing structures or they can be used to generate compressive forces due to the inflation of chambers.

2.3 Soft Deflatable SS

In our introductory survey, the less-researched field of soft SS that are deflated by negative air pressure referred to as soft *deflatable support systems* (SDSS) will be the focus because of the following inherent benefits and behaviour characteristics:

- Upon deflation by removal of fluids, the volume of SDSS decreases, allowing them to function better in cluttered or space-constrained contexts where inflatable SS cannot be used. Prominent use-case examples include the underarm region or when worn below the wrists.
- Deflation by applying negative pressure results in compression of the support system instead of inflating. This result opposes the risks of bursting that are characteristic of inflatable systems. SDSS stop deflating when the fluids contained within the pouch-membrane are completely withdrawn.
- These systems allow for a reduction in system complexity and the control-feedback system. The inherent compliant behaviour of soft materials takes on the role of electronic adjustable control systems.

3 State-of-the-Art: Key Design Strategies for Negative-Pressured Soft Systems

3.1 Operating Principle

SDSS are firstly characterized by a pouch-membrane made from flexible, elastic or compressible materials which changes from an uncompressed state at atmospheric pressure to a compressed state when a vacuum is applied to draw out the fluid in the pouch. Secondly, the internal components contained by the pouch-membrane (referred as *infill*) can be made from any material or arranged in a manner that allows for compression. As this review focuses on the industrial application of deflatable systems, an analysis of the material, geometry and behaviour of the infill can be further read in [Ath14]. Lastly, the system requires depressurization by the removal of fluid from the pouch-membrane (referred to as *vacuum-packing*), where the internal atmospheric pressure of the pouch is lowered than the external atmospheric pressure, causing the infill materials to jam together.

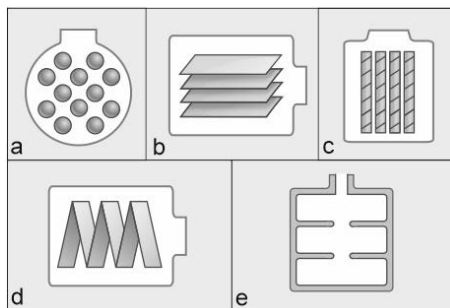


Figure 2: Classification system of deflatable systems. a) Granular Jamming b) Laminar Jamming c) Fibre Jamming d) Infill Buckling Jamming e) Unibody Buckling Jamming

3.2 Packing Jamming: Granules

Granular-jamming systems consist of a flexible pouch-membrane that contains granular particles. These granules are able to ‘flow’ easily over each other at atmospheric pressure (see Fig 2a). This ‘flow’ behaviour allows for conformability to any shape it is placed over. However, when the space between particles is reduced through vacuum packing, the withdrawal of air in the membrane results in ‘jamming’ of the particles together, resulting in the behaviour of the entire structure as a packed

‘solid’. By simply adjusting the level of negative air pressure in the flexible membrane, the overall behaviour of the particle can be tuned to either soft and adaptive, or quickly harden and become rigid. As a result, granular jamming is best suited for contexts requiring distribution of pressure forces.

3.2.1 Soft Support System Example 1: Evacuation Mattress

The first known industrial application of granular jamming as a support system was in the medical field, in the form of a portable emergency mattress, filled with foam particles [Pov70] and placed under the patient. Subsequently, the mattress is then stiffened into the shape of the patient by extracting out fluids inside the mattress, enabling the patient to be carried away. Similarly, a scaled-down version of the evacuation mattress is used as a quick-deploy cast that can quickly adapt to the shape of limbs that requires structural support [Ame13].

3.2.2 Soft Support System Example 3: Frozen suit with changeable stiffness

A large-scale wearable jamming device in the form of clothing can be worn onto users at joint positions (e.g. elbow, knee), which provides movement restriction or bodily support through tuning the stiffness of the jammed granules in the device. This concept creates an opportunity for new applications such as increasing realism in games and virtual environments or as rehabilitation equipment. The ‘frozen suit’ can be used for physical rehabilitation in orthopaedic and musculoskeletal therapies, as when worn onto a patient’s leg, the wearable can help a patient to progressively improve by adjusting the required support stiffness level of the suit. The elderly could also benefit from the ‘frozen suit’ in due to the physical support that stiffens around weak joints, allowing for greater independence by empowering them with the required strength for their day-to-day activities, such as carrying groceries [AlM15].

The characteristic behaviour of granular jamming has opened opportunities in other fields,

such as in the form of a soft robotic gripper [Bro10]; where the un-jammed ‘soft’ gripper firstly placed over the desired object to be grasped, then conforming to the varying shape and sizes due to its un-jammed flow behaviour. Vacuum-packing by the removal of fluid contained by the pouch-membrane, it causes granular jamming of the infill particles to occur, enabling adaptive and fast gripping of different objects with a minimal gripper volume change.

3.3 Packing Jamming: Laminar

Working on a similar principle to granular-jamming, laminar-jamming systems consist of an airtightly sealed pouch-membrane that contains stacked layered sheets of thin materials, such as slips of paper. (see Fig 2b). Similarly, this system utilizes negative air pressure to vacuum-pack and compress the thin layers of infill material together, amplifying the frictional forces between each layer [Ou14]. The overlapping surface of the infill sheets results in a large contact area, which translates into increased frictional forces that are generated when a vacuum is applied [Man16]. As a result, this design principle is best used in situations that require the distribution of tensile forces.

3.3.1 Soft Support System Examples: Jamming Furniture & Shoe

An example of laminar-jamming comes in the form of deformable support furniture: Flat, sheet-like furniture can be easily set-up by jamming pouches of sheet materials, allowing for an easy transition to various forms when needed, such as from a carpet to a chair, to a coffee table or when necessary, the flat jamming sheet furniture can be stored away. A jamming furniture in the form of a chair is also reported to be able to support a mass of up to 55 kilograms [Ou14]. This proves beneficial for furniture used in situations where requiring a fast, conforming support structure, such as a backrest for a hospital bed. Similarly, the characteristic thinness of layer jamming systems enables for use-case scenarios that

require a flat support system, such the ‘jamming shoe’. The “jamming shoe” is a thin-sheet insert that allows for adjustable jamming for varying support and protection levels for the feet. The jamming shoe consists of several independently jamming components for various part of the foot, with adjustable stiffness can tailor according to the level of support needed for different types of physical activities [Ou14].

3.4 Packing Jamming: Fibre

Fibre jamming works similarly to granular and laminar jamming but instead uses a cylindrical-shaped pouch-membrane filled with elongated fibres instead. (see Fig 2c). By compressing the fibres together by vacuum application, this creates a rigid jammed column or beam that can resist bending. It is also discovered that the surface roughness of the fibres affects the amount of friction between the fibres when vacuum is applied [Bra18]. However, the experimental nature of this method of jamming has yet led to a developed example of a support system, but it has already demonstrated capabilities that are on par with the performance of granular and laminar jamming. In the near future, the characteristic behaviour of fibre jamming as a column could possibly be used for contexts that require a tuneable rigid beam, such as a deployable limb.

3.5 Infill-Buckling Jamming

Infill-Buckling jamming systems consist of a pouch membrane that contains infill materials that are structured to be reversibly deformable, here referred to as ‘reversibly buckling’. Often regarded as a classical mechanical failure in rigid structures, reversible buckling can be a beneficial form of mechanical behaviour when used in reversibly deformable structures, such as a bent loaded elastomeric beam that recovers when the load is removed.

3.5.1 Example 1:

Origami-inspired folding ‘muscles’ that are driven by vacuum: Flexible membrane with an infill (often made from sheet materials) that

is pre-designed to ‘fold’ when the membrane collapses from compression due to vacuum application. (see Fig 2d). This results in a useful form of actuation that is on par with human muscles. Different degrees of freedom can be achieved by the design of ‘origami’ folds of the infill material [Li17]. An example of it as a support system will be rehabilitative glove for stroke recovery e.g. to help stretch out clenched fingers.

3.5.2 Example 2:

Vacuum-powered Soft Pneumatic Actuator (V-SPA): Each deflatable ‘actuator’ consists of deformable foam structures are each coated with a flexible elastomeric silicon layer membrane that acts as a sealed pouch-membrane, connected to a hose that allows for fluid removal from the actuator. When the contained fluid is evacuated, the foam structures reversibly collapse due to the compressional forces from the silicon layer. When several of these buckling soft ‘actuators’ are organised linearly in a designed manner, a ‘column’ with multiple degrees of freedom that allows for bending in several directions is created, limited only by the number of such columns and the corresponding number of actuators in each column. This design strategy enables a wide range of new soft systems applications, such as safer, lightweight, and wearable support devices that are easy to produce without the requirement for a moulding [Rob17].

3.5.2 Example 3:

Human Lumbar Spine Assistant: using vacuum driven soft pneumatic actuators: a new solution to help restore the lost mechanical strength and mobility of the lumbar unit and the spinal cord designed to enabling the overall mobility and high flexibility for the patient in the event of spinal cord injury [Aga17].

3.6 Unibody Jamming

3.6.1 Example 1:

Buckling Pneumatic Linear Actuators inspired by muscle: A monolithic elastomer-based membrane with an internal structure is

pre-designed and cast together in a pre-designed mould. The ‘actuator’ contains elastomeric beams and voids. These voids collapse when the fluid within the actuator is evacuated, causing the elastic membrane to compress the elastomeric beams together. (see Fig 2e). This creates a linear contraction, similar to the behaviour of muscles. The speed of contraction can be adjusted by the speed of vacuum application [Yan16]. New opportunities can be created from this strategy, including 1) Assistive devices for the elderly or disabled, acting as a form of replacement ‘muscle’ for their arms and legs, 2) As handling systems for ‘soft’ manipulation of irregularly shaped and delicate objects that can be damaged by rigid handling systems (fruit, tissues, small animals), 3) For disposable, single-use devices (e.g. in search and rescue), where impact-resistant behaviour is crucial, and others where soft systems offer capabilities not easily or inexpensively embedded in hard systems with typical designs

3.6.3 Example 2

Rotational Soft Buckling Actuators: similar to the previous example, [Yan16] has also further demonstrated that a reversible rotary motion can be created through the design of the buckling structure, such as in various auxetic structure arrays for different degrees of rotation [Ain17], resulting in an interesting usage such as for mobility or as a soft gripper.

4 Discussion

4.1 Assessment of Soft SS

Soft wearable SS have various design parameters (see Table 1) all of which contribute to the mechanical properties of the system. Apart from the tunability of the stiffness by regulating the pressure differences, each jamming material has a strong influence on the overall mechanical properties of the structure: the jamming of granules can be compared to a solid that is capable of withstanding compressive loads, whereas laminar and fibre infill lead to a structure which is optimised for tensile forces. Consequently, each design offers a

potential which can lead to respective advances in several key contexts, such as home and clinic assistive activity, rehabilitation or in workplaces [Pol17] through:

- Improving user safety due to the characteristic ‘soft’ behaviour and compliance of materials used as both pouch-membrane and infill materials, rather than rigid metal components and motors,
- Reducing product cost due to a) usage of inexpensive, commercially-ready materials e.g. flexible fabrics, elastomers, b) a single ‘power’ source i.e. vacuum pump to evacuate fluid; c) reduction in product system complexity, reducing the need for complex control and feedback systems,
- Providing a customizable degree of support based on the individual user anatomy and physical strength, ease of tailor-made options (e.g. such as cutting sheets of material for the jamming shoe to fit the geometry of feet),
- Assisting in rehabilitation for daily living activities, non-intrusive and ease of control/activation of soft SS,
- Improving system portability due to reduced weight and increasing the possibility for out-of-clinic applications.

4.2 Limitations of Soft Deflatable SS

SDSS are limited in various ways and most crucially by their material ability to prevent leakage. Improving the longevity and preventing puncture of pouch membrane still presents a challenge for these soft SS. Hence, future developments would have to look towards the implementation of ‘self-healing’ membranes [Ter17] as a replacement for materials that are currently being used. Secondly, SDSS can be

inevitably heavier than inflatable SS due to the need for infill in the form of granules, fibres, layers, or buckling structures, but the inherent safety eliminates the need for high-pressure burst-proof membranes, which can be expensive and difficult to manufacture.

Table 1: Relevance of the componential structure geometry and indication of the design complexity (DC) of deflatable systems.

Jamming	Membrane	Infill	DC
Granular	●	●	○
Laminar	●	●	◐
Fibre	●	●	●
Infill Buckling	●	●	●
Unibody Buckling	●	○	●

● *High relevance*, ○ *Low relevance*

5 Summary and outlook

The newly emerged class of soft deflatable support systems is not designed to be a distinct class of its own, but as a compliment to conventional ‘rigid’ support systems. A comparable analogy is that soft systems taking on the role of ‘tuneable’ stiffness, akin to that of muscles that link to rigid bones, that are load-bearing components of rigid support systems. Their inherent softness allows for materials to take on the role of flexibility control, eliminating the need for flexibility and adaptive control systems. Similarly, in this review, a classification system has been developed that analyses the different levels of complexity of the various forms of negative-pressure powered soft systems.

References

- [Aga17] G. Agarwal, M. A. Robertson, H. Sonar and J. Paik: Design and Computational Modeling of a Modular, Compliant Robotic Assembly for Human Lumbar Unit and Spinal Cord Assistance. In: Scientific Reports, 7, 2017.
- [Ain17] A. Ainla, M. S. Verma, D. Yang and G. M. Whitesides: Soft, Rotating Pneumatic Actuator. In: Soft robotics, 4; pp. 297-304, 2017.
- [Ame13] J. R. Amend: Jamming Robotics. Grasping, Manipulation, and Structure, 2013.
- [AlM15] A. Al Maimani and A. Roudaut: Frozen Suit. In: G. Mark and S. Fussell (Eds.): CHI’17. Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in

- Computing Systems, May 6-11, 2017, Denver, CO, USA. ACM, New York, NY pp. 2440-2448, 2017.
- [Ath14] A. G. Athanassiadis, M. Z. Miskin, P. Kaplan, N. Rodenberg, S. Hwan Lee, J. Merritt, E. Brown, J. Amend, H. Lipson and H. M. Jaeger: Particle shape effects on the stress response of granular packings. In: *Soft matter*, pp. 48-59, 2014.
- [Bro10] E. Brown, N. Rodenberg, J. Amend, A. Mozeika, E. Steltz, M. R. Zakin, H. Lipson and H. M. Jaeger: Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010.
- [Bra18] M. Brancadoro, M. Manti, S. Tognarelli and M. Cianchetti: Preliminary experimental study on variable stiffness structures based on fiber jamming for soft robots. In: *2018 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, pp. 258-263, 2018.
- [Gor17] B. Gorissen, D. Reynaerts, S. Konishi, K. Yoshida, J.-W. Kim and M. de Volder: Elastic Inflatable Actuators for Soft Robotic Applications. In: *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 2017.
- [Gra16] Grand View Research: Exoskeleton Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Mobile, Stationary), By Drive Type, By End-use (Healthcare, Military, Industrial), And Segment Forecasts 2018-2025, 2016.
- [Li17] S. Li, D. M. Vogt, D. Rus and R. J. Wood: Fluid-driven origami-inspired artificial muscles. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017.
- [Man16] M. Manti, V. Cacucciolo and M. Cianchetti: Stiffening in Soft Robotics. A Review of the State of the Art. In: *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 93-106, 2016.
- [Ou14] J. Ou, L. Yao, D. Tauber, J. Steimle, R. Niiyama and H. Ishii: jamSheets: thin interfaces with tunable stiffness enabled by layer jamming. In (A. Butz, et al. Hrsg.): *TEI '14. Proceedings of the eighth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, Munich, Germany, pp. 65-72, 2014.
- [Pol17] P. Polygerinos, N. Correll, S. A. Morin, B. Mosadegh, C. D. Onal, K. Petersen, M. Cianchetti, M. T. Tolley and R. F. Shepherd: Soft Robotics: Review of Fluid-Driven Intrinsically Soft Devices; Manufacturing, Sensing, Control, and Applications in Human-Robot Interaction. In: *Advanced Engineering Materials*, 2017.
- [Pov70] R. W. Povey: A vacuum splint for use in orthopaedic operations. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 1970.
- [Rob17] M. A. Robertson and J. Paik: New soft robots really suck. Vacuum-powered systems empower diverse capabilities. In: *Science Robotics*, 2017.
- [Ter17] S. Terryn, J. Brancart, D. Lefeber, G. van Assche and B. Vanderborght: Self-healing soft pneumatic robots. In: *Science Robotics*, 2017.
- [Tai18] Tailor-Made Reports: Rehabilitation Equipment Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Trends, Analysis, Growth, and Forecast 2017–2025. 2018.
- [Wan18] L. Wang, Y. Yang, Y. Chen, C. Majidi, F. Iida, E. Askounis and Q. Pei.: Controllable and reversible tuning of material rigidity for robot applications. In: *Materials Today*, pp. 563–576, 2018.
- [Yan15] T. Yan, M. Cempini, C. M. Oddo and N. Vitiello: Review of assistive strategies in powered lower-limb orthoses and exoskeletons. In: *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 120-136, 2015.
- [Yan16] D. Yang, M. S. Verma, J.-H. So, B. Mosadegh, C. Keplinger, B. Lee, F. Khashai, E. Lossner, Z. Suo and G. M. Whitesides: Buckling Pneumatic Linear Actuators Inspired by Muscle. In: *Advanced Materials Technologies*, 2016.

Path Detection with Artificial Neural Networks for the Navigation of Visually Impaired Jogger

J. Seßner, M. Lauer-Schmaltz, S. Reitelshöfer and J. Franke

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
julian.sessner@faps.fau.de

Abstract

Blindness influences the everyday life dramatically. Nevertheless, mobility aids like white canes or guide dogs enable a self-determined life. Though, doing certain activities, as outdoor sports need the assistance and time of a trained and seeing guide. To enable self-determined jogging, we are developing an assistive system for visually impaired jogger. The system captures information from its environment with a 3D camera. The depth and color information are processed and a vibrotactile feedback is provided. This paper presents an approach to detect the course of the running path in front of the visually impaired with Artificial Neural Networks (ANN). We generate a dataset of 100.000 images and evaluate different ANN architectures. The best working neural network operates with an accuracy of 99.9 % on the evaluation dataset while taking 27 ms per frame for classification. The setup is evaluated under realistic scenarios with a webcam attached laptop showing promising results.

Zusammenfassung

Wegerkennung mittels Künstlicher Neuronaler Netze für die Navigation sehbehinderter Jogger

Blindheit beeinflusst das alltägliche Leben eines Betroffenen vielfältig. Durch den Einsatz von Mobilitätshilfen, wie Blindenstock oder -hund kann dennoch ein weitestgehend selbstbestimmtes Leben erreicht werden. Bestimmte Aktivitäten, wie beispielsweise sportliche Betätigung benötigt jedoch die Unterstützung von sehenden Personen. Um ein selbständiges Joggen zu ermöglichen wurde ein Assistenzsystem für sehbehinderte Jogger entwickelt, das die Umgebung mittels 3D Kamera erfasst. Die Tiefen- und Farbinformationen werden verarbeitet und in Form eines vibrotaktilen Feedbacks an die joggende Person übermittelt. Die Veröffentlichung präsentiert einen Ansatz zur Detektion des Verlaufes des Laufweges mittels Künstlicher Neuronaler Netze. Ein Datensatz mit 100.000 Bildern wird erstellt und damit verschiedene Netztopologien evaluiert. Die beste Variante erreicht eine Genauigkeit von 99,9 % bei einer Klassifizierungsdauer von 27 ms. Erste Evaluationen unter verschiedenen Szenarien zeigen vielversprechende Ergebnisse.

Keywords

Mobility Aid for Visually Impaired, Artificial Neural Network, Path Detection

1 Introduction

There are 217 million people suffering from visual impairments worldwide. More than ten percent of those people are blind. Studies prove that the total number of blind people will rise above 38 million by 2020 [Bou17].

Visual impairment usually implies certain restrictions in everyday life. With mobility aids like white canes or guide dogs, a self-determined mobility in urban environments is possible. Certain infrastructural modifications

like tactile paving or acoustic feedback at traffic lights additionally ensure a safe navigation [Mar13].

Nevertheless, in less structured environments like parks or forests the navigation with conventional aids becomes challenging. In sports visually impaired people often need the help of a seeing person. This person needs to be trained to ensure a safe and competitive support. E.g. in running two persons are usually connected with a short strap and communicate via acoustic signals. Our aim is to develop an assistive system that enables jogging without the help of a seeing person and furthermore ensures independent navigation in their everyday life's surrounding without the need of certain infrastructures.

First, the following section describes our approach and related assistive systems for visually impaired jogger. Additionally, approaches using Artificial Neural Networks (ANN) for path detection are presented. To train an ANN, a proper dataset is essential. Its creation is described in chapter 3, followed by the implementation and evaluation of different ANN architectures (chapter 4). A real world evaluation of the best ANN is presented in chapter 5. In the last chapter remaining restrictions and possible solutions will be stated.

2 Related Work

Based on previous and related publications concerning assistive systems for visually impaired and path detection, this chapter demonstrates the general feasibility and differentiation of our approach.

2.1 Assistive System for Visually Impaired Jogger

In our previous publication [Ram16] we introduced an assistive system for the navigation of visually impaired jogger. The hardware setup used in this publication is based on [Ram16]. Figure depicts the current hardware setup of the prototype.

The main component is a 3D stereo camera (Intel Realsense R200, Fig 1-1), stabilized with an active gimbal (Fig 1-2) to compensate movements of the upper body and to reduce

blurred images during running. The system is integrated into an ergonomic, lightweight backpack (Fig 1-4). An embedded processing unit (Fig 1-5) analyzes the images and generates the navigation feedback with vibration motors (Fig 1-3) integrated in the backpack's shoulder straps. The 3D camera provides depth data for obstacle detection and color data for path detection.



Figure 1: Prototype of the jogging assistance system

In [Ram16] we introduced an adaptive image processing approach that was able to detect a large variety of lanes based on color differences between the path and its surroundings. Figure 2 shows an example of our previous path detection. Figure 2 a) shows the path with detected path boundaries (orange) and the derived path direction (yellow). The feedback is generated from the difference between the movement and path direction. To enhance the boundary detection the images are pre-processed (visualized in Figure 6 b).

However, it showed some deficits on paths with less structured borders or paths that had only low contrast differences to their surrounding areas. Furthermore, in some cases the computing time was too long to ensure a proper working real time navigation [Ram16]. Only few publications presented related approaches to assistive systems for self-determined running activities of visually impaired. A system based on radio signal real-time localization was presented by [Kem15]. The feedback was generated with a vibrotactile belt. The localization had a maximum deviation of 2.60 m [Kem15].

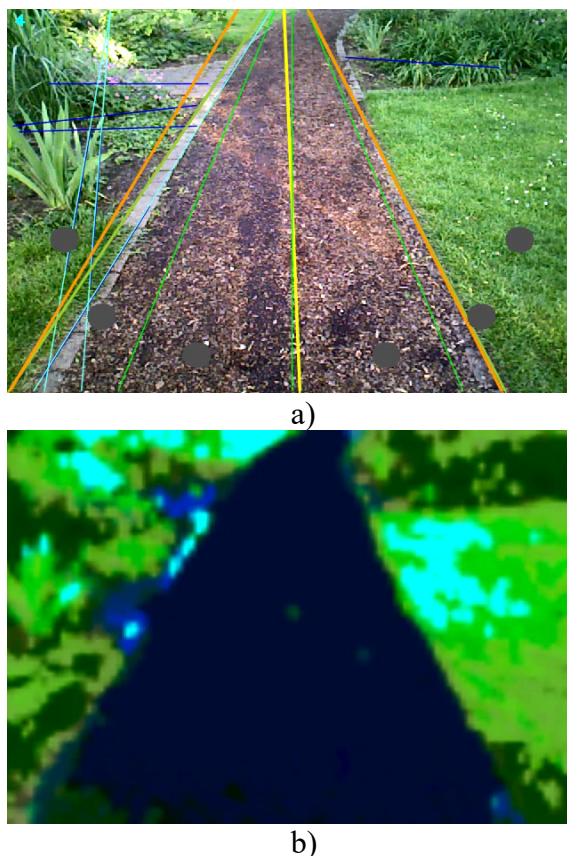


Figure 2: Processed images for path detection. a) Image of the path with detected boundary lines and the calculated movement direction. b) Pre-processed image

A system based on a camera sensor was introduced by [Man18]. The 2D camera was integrated into a backpack. With the help of various image processing algorithms, the boundary lines of fixed running tracks were able to be detected. The processing unit communicated with gloves providing vibrotactile feedback [Man18].

Both approaches proved the feasibility to navigate the visually impaired. Nevertheless, the navigation principles rely on certain infrastructure like fixed running tracks or even a radio based localization system. To overcome this issue our approach aims to work in various environments without the need of certain infrastructure.

2.2 Artificial Neural Networks for Path Detection

Recently ANN proved to overcome traditional image processing approaches in a large variety

of applications. Therefore, we introduce a path detection method based on ANN.

The first significant ANN was developed by Rosenblatt *et al.* in 1957. After being put on hold for years the ANN was rediscovered in the early 1980's. With improvements of hardware this technology was then more effective than it had been before and should soon show an even better performance, e.g. in image processing [Yad15].

ANN approaches today dominate pattern-recognition contests like the ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) [Sta18]. ANN are predestined for vision tasks that require real time capabilities and the ability to generalize certain patterns in varying applications under challenging conditions. Certain algorithms even outperform the object recognition capabilities of humans [Bib13].

Related research has not only proven the suitability of ANN for path recognition tasks but the superiority of ANN compared to conventional image-processing methods. [Nar17] compared the performances of two different ANN architectures with varying depth to the performance of a contrast-difference based path detection algorithm. The ANN's task was to estimate the exact location of the path in the received images by returning a location-coordinate and the path's width. The results proved the superiority of ANN architectures for such tasks showing better performance compared to conventional image-processing methods. This approach was tested on a robot following a certain path. The robot reached the end of the path in 23 of 25 cases.

[Nar17] implemented a similar approach for self-driving cars. Using a standard ANN architecture, the authors determined the road's exact position and its further course out of single images. This approach delivers a proper working road-detection when it comes to straight or non-sharp-turned roads such as highways.

Another research by [Giu16] used the path detection via ANN for multicopter navigation along hiking paths. Instead of estimating the path's shape in the image, they simply deter-

mined the path's direction towards the camera's view. For this purpose, they created an ANN that differentiates between three classes: the camera is facing towards the path, facing to the left or the right of the path. The probability of the class facing towards the path sets the velocity of the multicopter while the difference of the side-classes' probabilities determines its steering. The evaluated ANN turned out working properly on navigating the multicopter even along small and overgrown paths in practical tests while reaching an evaluation accuracy of about 85 %.

The presented publications show promising results of using ANN for path detection. Nevertheless, the ANN in the referenced publications are either trained to detect structured paths (e.g. paved roads) or less structured paths. The usage in an assistive system for visually impaired requires a high accuracy (> 95 %) and a sufficient framerate (> 15 fps). To ensure a safe navigation on all kind of paths and environments, the dataset contains images from a variety of environments under varying conditions. The following chapters describe the creation of a classifier, based on [Giu16].

3 Dataset Generation

To train and evaluate ANN as effective as possible, an appropriate dataset must first be generated. The dataset generation method follows the method used in [Giu16] and divides the recorded images into three classes: the path on its right, straight in the middle and the path on its left. We use a self-constructed camera mount plugged on a laptop holding three 3D cameras (Intel Realsense R200). The setup is able to generate images for each class simultaneously. The laptop allows a real time quality assurance of the captured images. To capture the dataset, a person walks along the paths carrying the laptop in front of him. All cameras are tilted towards the ground with an angle of 35°, based on the gimbal setup (see Figure). The two side cameras are additionally turned sideward with an angle of 45°. Figure 3 demonstrates the setup.

A high-quality dataset contains a large amount of data with high variation. [Raj18] Therefore,

the final dataset counts 100.000 images of the size 100x100 pixel recorded with a frequency of two images per second. To ensure proper classification in any kind of area, the images are recorded at different locations with different kinds of paths. Figure 4 shows some example images of different paths. The paths vary from unstructured forest trails to urban sidewalks. Furthermore, the dataset also includes a variety of other influences like weather- and lighting conditions. The dataset is used to train and evaluate different ANN setups. Therefore, 60.000 images are used for training, 20.000 images for evaluation and the final performance is tested with the remaining 20.000 images. To prove the generalization capabilities the image sets show different paths with varying circumstances.

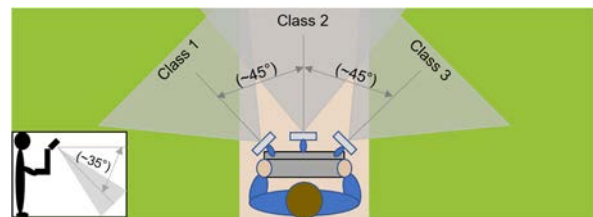


Figure 3: Setup for our dataset generation

4 Implementation of different ANN architectures

As Graphic Processing Units (GPU) generally deliver much faster ANN training performances than CPU, we train and evaluate the ANN using a NVIDIA Quadro K2200 GPU with 4 GB (GDDR5) memory.

In terms of software, we use Python 3.5 in combination with the open-source ANN library Keras 2.2.0 and Tensorflow-GPU as backend. Keras enables an easy adaption of the architecture and parameters such as activation function or optimizer and provides state of the art algorithms. A detailed introduction to ANN and its parameters can be found in [Bib13].

To investigate the influence of different ANN architectures a variety of setups is evaluated. Starting with an established, so called VGG architecture (Figure 5) based on [Sim14], first the impact of the quantity and the order of the convolutional layers are evaluated.



Figure 4: Examples images from the dataset

Using the best performing ANN of the previous section as architecture, the convolutional layers' amount of filters is modified in the second section. The filter size always remains 3x3 pixel. Subsequent, the number of dense units in the first dense layer is reduced from 100 to 50. The following section deals with the impact of replacing the default activation function (Rectified Linear Unit - Relu) by Exponential Linar Unit (ELU) and Scaled Exponential Linar Unit (SELU). The last section evaluates the impact of using some alternative optimizers such as Adadelata, RMSprop, etc. The specific modifications, their results concerning the accuracy and the classification-time are summarized in Table 1. The best performing setups of each parameter variation are marked.

All ANN architectures show very promising results having accuracies over 99 %. When it comes to choosing a section's best ANN the primary criterion must be the accuracy due to safety reasons. In case of a draw, the ANN

with shorter processing time is chosen. Therefore, the best ANN for our path-detection system reaches a validation accuracy of 99.9 %, while classifying the image within 27 ms on the training computer using the NVIDIA Quadro K2200. It consists of two convolutional layers alternating with one max pooling layer. Each convolutional layer includes 32 filters of the size 3x3 pixels. Two dense layers, one with 100 dense units and the other one with three dense units (representing the three possible classes), follow the convolutional layers. Furthermore, Relu is chosen as activation. By using a dropout rate of 25 % we prevent the ANN from overfitting. As optimization function RMSprop is chosen.

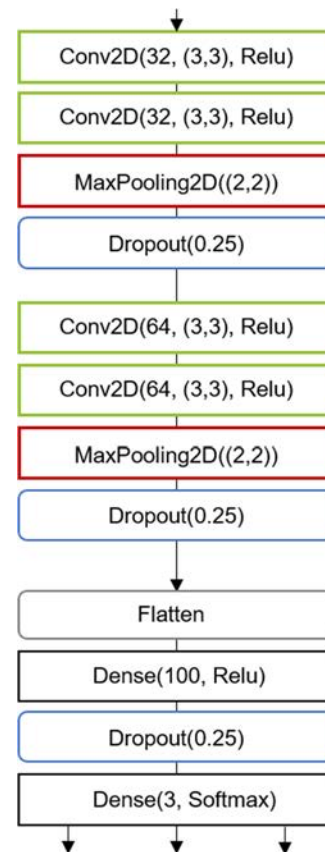


Figure 5: Initial VGG architecture

Table 1: Evaluation of different ANN architectures. Best performing setups are marked

Convolution-Architecture	Filter	Dense Units	Activation	Optimizer	Accuracy	Time per image
2x [2x conv, max]	[32], [64]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	48 ms
1x [conv, max]	[32]	100, 3	Relu	Adam	99.6 %	27 ms
1x [conv, conv, max]	[32, 32]	100, 3	Relu	Adam	99.4 %	40 ms
2x [conv, max]	[32], [64]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	36 ms
2x [3xconv, max]	[3x32], [3x63]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	53 ms
3x [conv, max]	[32], [64], [64]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	50 ms
Best of previous	[32], [32]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	33 ms
Best of previous	[64], [64]	100, 3	Relu	Adam	99.9 %	38 ms
Best of previous	Best of previous	50, 3	Relu	Adam	99.9 %	41 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	ELU	Adam	99.8 %	39 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	SELU	Adam	99.7 %	41 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	SGD (Nesterov)	99.9 %	29 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	RMSprop	99.9 %	27 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	Adadelata	99.9 %	29 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	Adamax	99.9 %	32 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	Adam (AMSgrad)	99.9 %	35 ms
Best of previous	Best of previous	Best of previous	Best of previous	Nadam	99.9 %	32 ms

To validate the results, the optimized ANN is additionally tested using the testing set containing 20.000 images with completely different paths and locations than the images used for training and validation. This guarantees unbiased results. In this case, the ANN achieves an accuracy of 99.9 % and a classification time of 30 ms. The results fulfil the stated requirements and prove the feasibility of our approach.

5 Evaluation the ANN in Field Tests

Finally, the performance of the trained ANN is validated in several field tests. The overall

system is simulated by plugging a camera (Intel Realsense R200) into a laptop (NVIDIA Geforce 840M 4 GB, Intel Core i7-5600U 2.60 GHz, RAM 16 GB) and the navigation is implemented by displaying arrows showing the direction of the path. This setup allows a direct visualization of the provided image and the ANN's output.

To improve the robustness of the feedback signal, 15 images are classified in a row, the mean value is calculated and a corresponding feedback signal is generated. Considering that the ANN takes 30 ms per image the feedback is generated with a sufficient frequency of approximately 2 Hz. Furthermore, the feedback is differentiated between five directions: left, half-left, straight, half-right and right. To implement the half-left and half-right classes, the advantage of proportionality between the three probabilities of the confusion matrix is taken into account. If the sum's mean value classifies the path to be straight and the highest of the side-probabilities (the maximum between the left- and right-probability) exceeds a threshold, the feedback value is supposed to be half-left or half-right.

The tests took place in four different kinds of environments: on forest trails, on rural cart ways, in urban parks and on urban sidewalks. The weather conditions varied, too.

Figure 6 shows examples of correct and false classification of the tested areas. In most cases, the navigation works very well. Even false classifications are only sporadic and from short duration, thus the system still keeps

the user on his way. The most frequent reasons for a failed classification were high-contrast shadows. Furthermore, the system appears to have problems while navigating on rutty cart ways because it cannot decide whether the lanes or the area between them is the actual path. The most frequent misclassification appears on urban sidewalks. There are many distracting influences that are not covered by the dataset (e.g. different road markings, differently textured road markings, etc.), which cause false navigation. In these areas a colour-based navigation without additional navigation approaches (e.g. GPS) is quite challenging. Nevertheless, the tests prove the feasibility of our setup in different environments.

6 Summary and Outlook

A path detection system for the navigation of visually impaired based on ANN was developed. A generated dataset consisting of 100.000 images was used and divided into training set (60.000 images), validation set (20.000 images) and testing set (20.000 images). The image sets contained different paths to ensure the ANN's generalization capabilities. Based on the dataset different

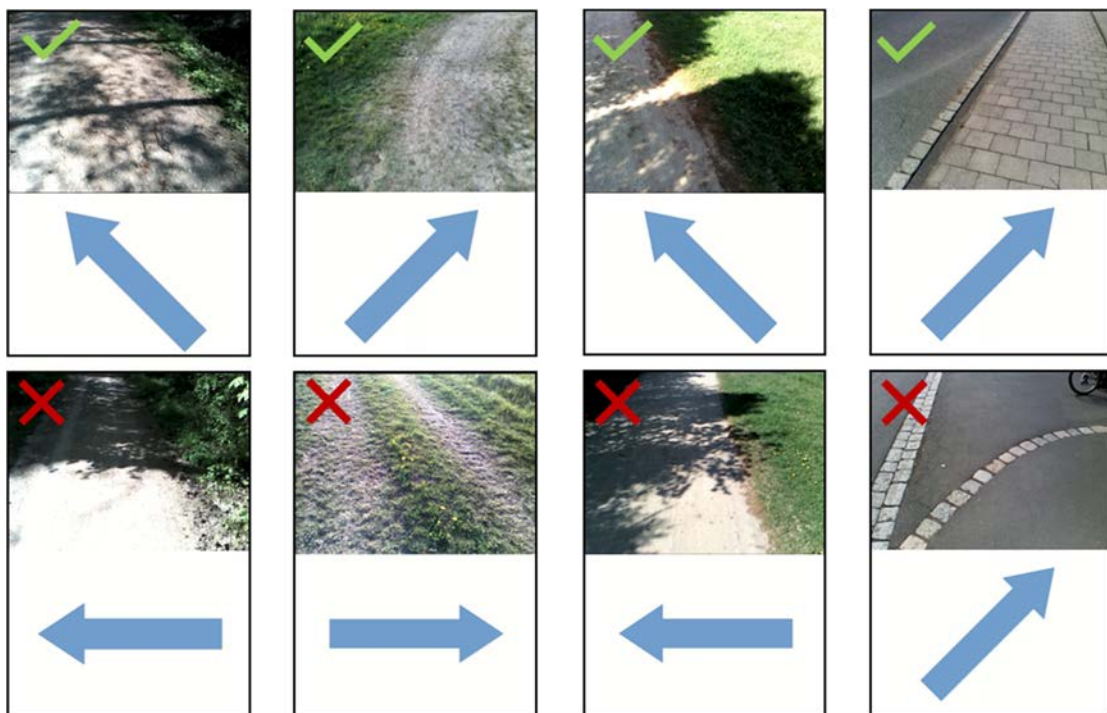


Figure 6: Examples of correct and false predicted images. The arrows show the predicted direction.

ANN-architectures were trained to identify the best operating ANN for path-detection. The best ANN reached a validation accuracy of 99.9 % with a inference time of 27 ms per image. Validating this performance using the test set showed similar results. The ANN proved in practical tests that the system indeed works fast and robust in most of the realistic cases. Only high-contrast shadows and the high number of different influences in rural environments lead to sporadic and short-term false navigation signals. The approach delivers a good basis for further research as a navigation system for visually impaired.

The vibrotactile feedback is currently evaluated with multiple blindfolded subjects in a Wizard of Oz experiment to prove its feasibility during jogging. First tests have shown promising results. Once all system-components are evaluated, the performance will be evaluated with blind test persons. Figure 7 shows an image of the experiment setup with a blind folded subject and a second person guiding the subject with a remote control.

The robustness of the ANN will be increased furthermore by increasing the variety of the dataset. Initial tests with an embedded, portable GPU (Nvidia Jetson TX2) have shown promising results concerning framerate and energy consumption. With an increasing processing power, the usage of sophisticated pre-processing algorithms is possible and could reduce the impact of high-contrast shadows.

Additionally, the usage of GPS for global route planning in combination with the local path detection is intended. Currently a smartphone application is developed that provides GPS data and functions as human-machine interface. Besides the path planning the obstacle detection is crucial for a successful navigation. Therefore, the camera's depth data is used to detect potential obstacles and integrate the data into the navigation process.



Figure 7: Wizard of Oz experiment evaluating the vibrotactile feedback with blindfolded subjects

Acknowledgment

The authors would like to thank the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology for funding the research in the framework of the Embedded Systems Initiative (ESI) application centre and Fitness Lab.

Literature

- [Bib13] W. Bibel, A. Scherer and R. Kruse: Neuronale Netze. Grundlagen und Anwendungen. Vieweg+Teubner Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 2013.
- [Bou17] R. R. A. Bourne, S. R. Flaxman, T. Braithwaite, M. V. Cicinelli, A. Das and J. B. Jonas, J. Keeffee, J. H. Kempen, J. Leasher, H. Limburg, K. Naidoo, K. Pesudovs, S. Resnikoff, A. Silvester, G. A. Stevens, N. Tahhan, T. Y. Wong and H. R. Taylor: Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. In: The Lancet Global Health, pp. e888-e897, 2017.
- [Giu16] A. Giusti, J. Guzzi, D. C. Ciresan, F.-L. He, J. P. Rodriguez, F. Fontana, M. Faessler, C. Forster, J. Schmidhuber, G. di Caro, D. Scaramuzza and L. M. Gambardella: A Machine Learning Approach to Visual Perception of Forest Trails for Mobile Robots. In: IEEE Robotics and Automation Letters, pp. 661-667, 2016.

- [Kem15] F. Kemeth, S. Hafenecker, Á. Jakab, M. Varga, T. Csielka and S. Couronné: Guiding System for Visually Impaired Running on a Track. In J. Cabri, J. Barreiros, C. P. Pezarat (eds): Sports science research and technology support. icSPORTS 2014, Springer, Heidelberg, pp. 71-84, 2015.
- [Man18] A. Mancini, E. Frontoni and P. Zingaretti: Mechatronic System to Help Visually Impaired Users During Walking and Running. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp. 649-660, 2018.
- [Mar13] A. Maritzen and N. Kamps: Rehabilitation bei Sehbehinderung und Blindheit. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [Nar17] A. Narayan, E. Tuci, F. Labrosse and M. H. M. Alkilabi: Road Detection using Convolutional Neural Networks. http://cognet.mit.edu/pdfviewer/journal/ecal_a_053, [Accessed: 12 Mar. 2018].
- [Nug17] B. T. Nugraha, S.-F. Su and Fahmizal: Towards self-driving car using convolutional neural network and road lane detector. In: ICACOMIT 2017. Proceedings of the 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology October 23rd, 2017, Jakarta, Indonesia. IEEE, Piscataway, New Jersey, pp. 65-69, 2017
- [Raj18] B. Raj: Data Augmentation | How to use Deep Learning when you have Limited Data - Part 2. <https://medium.com/nanonets/how-to-use-deep-learning-when-you-have-limited-data-part-2-data-augmentation-c26971dc8ced>, [Accessed: 15 Jul 2018].
- [Ram16] C. Ramer, T. Lichtenegger, J. Sessner, M. Landgraf and J. Franke: An adaptive, color based lane detection of a wearable jogging navigation system for visually impaired on less structured paths. In: 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), pp. 741-746, 2016.
- [Sim 14] K. Simonyan und A. Zisserman: Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. 2014.
- [Sta18] Stanford Vision Lab: ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition (ILSVRC). <http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/>, [Accessed: 15 Jul. 2018].
- [Yad15] N. Yadav, M. Kumar, A. Yadav (eds): An introduction to neural network methods for differential equations. Springer, Dordrecht, 2015.

Improving Kinect-2 based User-Interface Interaction

A. F. Krause¹, K. Essig^{1,2,4} und T. Schack^{3,4}

¹ Mediablix-IIT GmbH, Bielefeld

² Rhine-Waal University of Applied Sciences, Kamp Lintfort

³ Faculty of Psychology and Sport Sciences, Bielefeld University

⁴ Cognitive Interaction Technology, Center of Excellence, Bielefeld University
post@andre-krause.net, kai.essig@hochschule-rhein-waal.de,
thomas.schack@uni-bielefeld.de

Abstract

Tracking hand movements using the Kinect-2 enables intuitive and natural interaction with electronic devices. However, the default interaction model provided by the Kinect-2 SDK has a rather small physical interaction zone (PHIZ), posing on-screen cursor control difficult for average users. We show that a substantially larger PHIZ combined with a mirror image of the user improves interaction times for a targeting task (default model, median: $35.3s \pm 3.3s$ median absolute deviation; improved model: $27.9s \pm 3.8s$). Our improved interaction model was successfully implemented in a gesture controlled smart home component.

Kurzzusammenfassung

Verbesserte Kinect-2 Nutzbarkeit mittels adaptiver Interaktionszone

Tiefenkameras wie die Kinect-2 ermöglichen markerfreies Ganzkörpertracking. Über Handbewegungen kann so natürlich und intuitiv mit elektronischen Geräten interagiert werden. Allerdings ist das Standardinteraktionsmodell des Microsoft Kinect-2 SDK nur schwer für normale, „non-gamer“ Personen zu benutzen. Der Grund dafür ist eine sehr klein gewählte, nicht änderbare physische Interaktionszone (PHIZ). Hier zeigen wir, daß eine deutlich vergrößerte PHIZ zusammen mit dem Spiegelbild des Nutzers die Interaktion verbessert. In einer Zeigeaufgabe reduzierte sich die Zeit bei Benutzung des Standardmodells von $35.3s$ (Median) $\pm 3.3s$ Medianabsolutabweichung auf $27.9s \pm 3.8s$ mit unserem optimierten Modell. Unser Modell wurde u.a. erfolgreich in eine gestengesteuerte Smarthome-Komponente integriert.

Keywords

human computer interaction, gesture controlled interface, motion tracking, Kinect-2, physical interaction zone

1 Introduction

Pointing gestures are an intuitive and natural way of interacting with electronic devices [Mit07, Rau15]. In the last decade, several types of affordable sensors emerged that enable such a natural interaction and provide the basis for Natural User Interfaces (NUIs). [Bac18] reviews the state of the art in natural interaction devices. Such an affordable sensor

is the depth-camera [Fre12, Gok04] based Microsoft Kinect-2 [Zha12] that enables the tracking of human whole-body movements. Tracking of the hand location relative to a user centered physical interaction zone (PHIZ, see fig. 1) allows to interact with 2D or 3D interfaces, for example presented on a TV-screen. The Kinect-2 SDK provides a default interaction model for gesture based cursor control and GUI interaction. However, it was reported

that around 80% of users with no prior Kinect experience can not engage with on screen controls without external help: „However the KinectRegion as it stands is extremely un-intuitive for most non-technical users to operate. In our experience approximately 80% of users were not able to engage with the onscreen controls without significant prompting.“ [Max15]. The size of the PHIZ provided by the Kinect-2 SDK is fixed, not parameterizable and quite small. Thus, small hand movements lead to large cursor movements. Cursor control appears to be difficult for non-gamers and users with no experience using gesture based interaction devices.

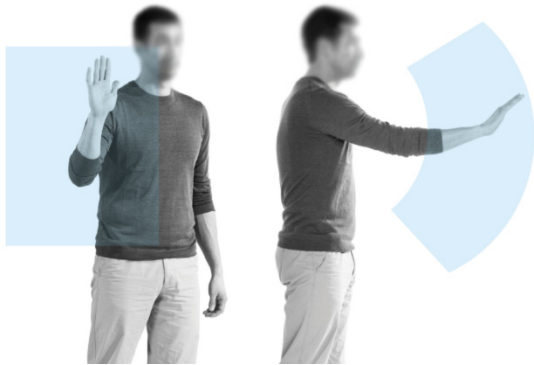


Figure 1: The physical interaction zone is the volume inside which hand movements lead to meaningful interactions (Fig. modified from [Mic14])

Because Microsoft does not yet fully embrace the principles of free, open source software [Sta02], the closed source Kinect-2 SDK cannot be adapted to custom requirements. The only choice was to implement our own interaction model with a substantially larger PHIZ, scaled according to the user's arm length (for a comparison of PHIZ sizes, see fig. 5). Contrary to intuition, this resulted in improved task times (see section 3). On top, a semitransparent mirror image was overlaid to help users accommodate to gesture based cursor control.

2 Materials and Methods

This experiment was performed with human participants. Therefore, it was evaluated by the

ethics commission of the university of Bielefeld. The experiment was positively evaluated and classified to be non-hazardous to health. Only participants with no prior experience with Kinect - based interfaces or games were selected for this study. Hence, they were naive to this type of interface interaction. Three separate groups were tested on a) the default Microsoft interaction model; b) our model without the mirror image and c) our model with a mirror image of the user.

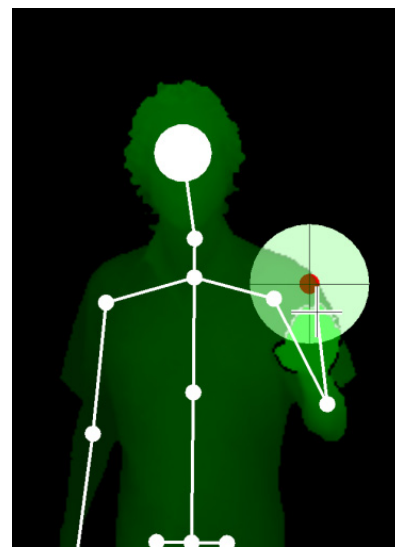


Figure 2: Gesture based cursor control. Task: the user moves the on-screen cursor to the target

The task was to move a cursor into the center of 20 target discs arranged in a 5×4 grid. The discs appeared sequentially in the same, fixed random order for all participants, see fig. 3. Participants were instructed to move the handattached cursor as „fast as possible directly into the center of the target disc“ (see fig. 2). The instruction was given in german language: „Bewege das Fadenkreuz so schnell und genau wie möglich in die Mitte der Zielscheibe.“ As soon as a participant placed the cursor inside the inner circle of the target disc, this disc disappeared and a new disc was displayed. After finishing the pointing task, each participant had to repeat the same task, but this time seated using a standard computer mouse.

The average task time using a mouse is a good performance base-line.

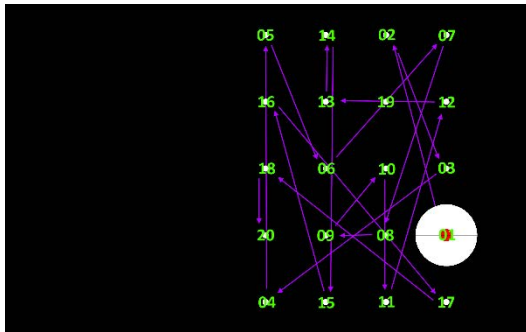


Figure 3: Target disc location and order of appearance

Setup. The discs (inner diameter of target area = 46px, red area in fig. 2) were displayed on a 24“, 1920×1200px Monitor placed at 1.4m distance to the participant. The Kinect-2 was mounted above the monitor with a distance of 1.45m to the floor and tilted 10° downwards. A sketch of the setup is displayed in figure 4. Within our own interaction model, the physical interaction zone was scaled according to the users arm length. Prior to the start of the experiment, participants had to stand in a „T-pose“, stretching out both arms at an angle of 90° to the body and holding this pose for two seconds. This allowed the system to measure the arm length using the skeletal data provided by the Kinect-2. Figure 5 gives a comparison of interaction zone sizes for a participant with 1.78m body-height. The interaction zone of our model is approximately five times larger.

Implementation. The program for testing the Microsoft interaction model was implemented as a windows app using the Kinect-2 SDK for C# with the default XAML - KinectRegion controls. The target discs and the cursor were drawn using functionality provided by the

XAML Canvas class. We implemented our own interaction model in C++, directly using the SDK-provided depth-stream for the mirror image and skeletal tracking to scale and calculate cursor movements. The graphical output was implemented using the free and open source C++ library Cinder [Rij13]. It was verified that target discs had the exact same on-screen location in all implementations.

Statistical analysis was performed with Mathworks Matlab 2018a using the Statistics- and Machine - Learning Toolbox. Considering multiple testing, the significance level was adjusted from 0.05 to 0.025 (Bonferroni correction). All tests were calculated using the Wilcoxon rank-sum test.

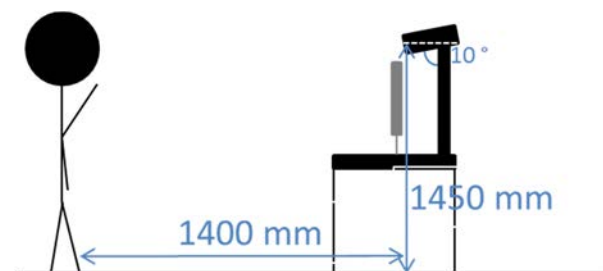


Figure 4: Setup. The subject is standing in front of the monitor and Kinect-2 at a distance of 1.4 m



Figure 5: Size of interaction zones. a) Default model. b) Our model for a user with 178 cm body height

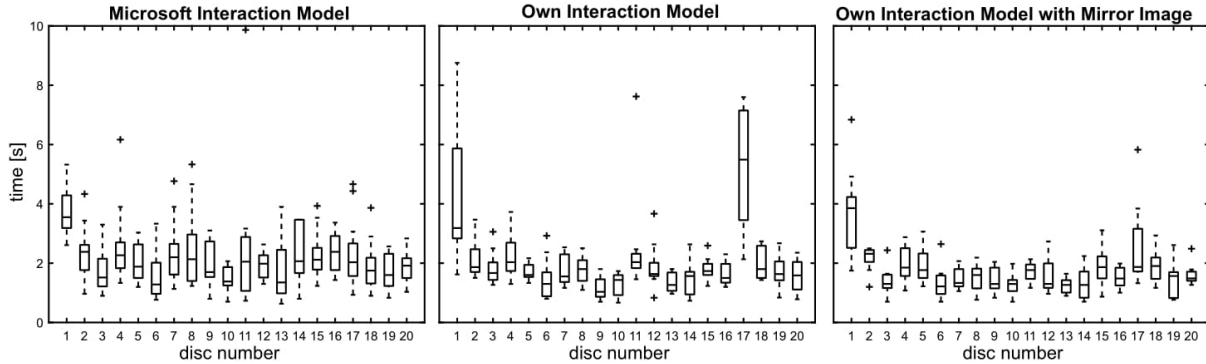


Figure 6: Disc-to-disc times for all tested interaction models. Reaching the first disc needs extra familiarization time. Times for disc 17 in the middle column represents an artifact caused by perspective shortening, see text for more details

3 Results

Figure 6 shows that the participants in all three groups needed substantially more time to reach the first disc. For further analysis, we separated this habituation / familiarization time from the task time to reach the remaining discs. Comparing the familiarization time of our own interaction model with and without the mirror image shows a reduced spread of values, indicating that the mirror image might help a user to familiarize with the system. Unfortunately, the sample size of this experiment is too small to draw conclusive results for the effects of the mirror image.

Next, we observed that some participants had problems reaching disc 17 (Fig. 6, middle column), the most distant disc. It was observed that these participants tried to reach the disc by moving their hands out of the frontal body plane further to the back. This resulted in a camera related perspective shortening of the arm, such that the disc became out-of-reach on-screen. For a fair comparison of all three models, we therefore excluded disc 17 from further analysis. In follow-up experiments, this effect should be accounted for and the PHIZ should be scaled a bit smaller relative to the user's arm length.

Task times (fig. 7) were found to be significantly shorter for our model with (27.9s, $p=0.003$) and without (31.1s, $p=0.025$) the

mirror image, compared to 35.3s for the Microsoft system. For reference, the baseline performance using a standard computer mouse was 18.3s.

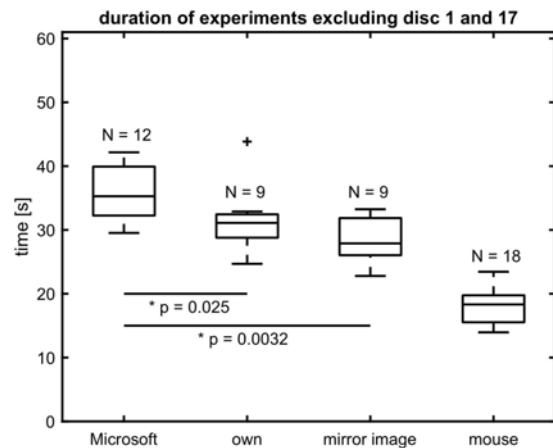


Figure 7: Task times for the three different interaction models

Because of the small PHIZ and the limited resolution of the depth camera, the Microsoft Kinect-2 SDK employs filtering to remove jitter from the on-screen cursor. The filtering method is undocumented, but presumably the Holt double exponential smoothing filter [Azi12] is used. Substantial trajectory filtering often results in delay times that can cause feedback systems to oscillate or show similar effects to an under-critically damped system. We hypothesize that inexperienced users heavily rely on a visual sensorimotor feedback loop to move the hand-attached cursor

into the target, until they have learned the intrinsic dynamics of the task. As such, they might struggle with delays in the system. Indeed, fig. 9 shows an example trajectory of a user trying to reach a disc using the Microsoft model. Due to strong filtering and a small

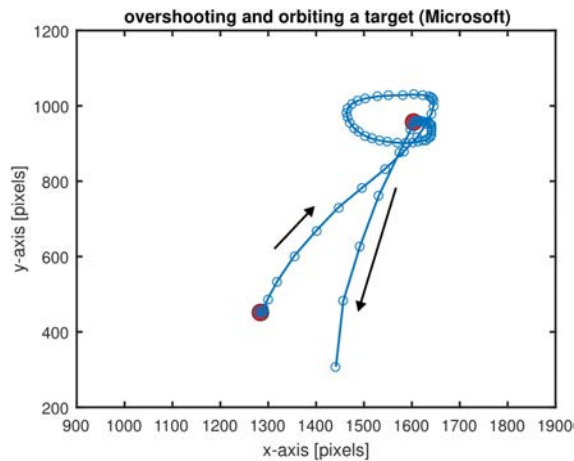


Figure 8: Microsoft model: exemplary trial of a hand trajectory, overshooting and orbiting a target

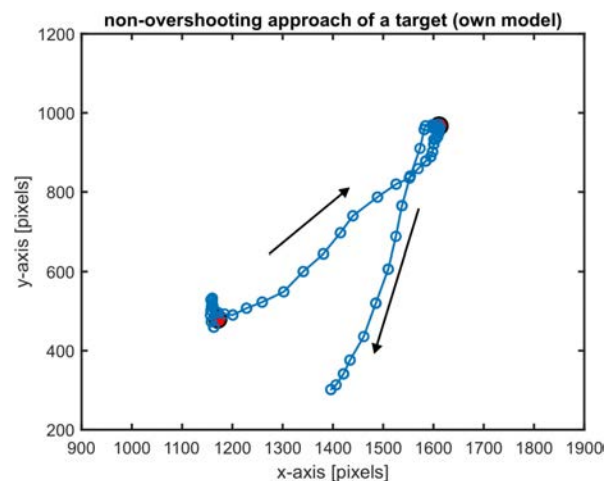


Figure 9: Own model with mirror image: exemplary trial of a hand trajectory without overshooting

PHIZ, the user overshoots the target, resulting in an orbiting motion around the target until the center is reached. Results indicate that it is better to accept a bit of jitter instead of over-filtering.

interaction model	task time			
	median	MAD	mean	std. dev.
Microsoft (N=12)	35.3	3.3	38.8	12.8
own model (N=9)	31.1	2.0	31.4	5.0
own + mirror image (N=9)	27.9	3.8	28.6	3.7
mouse (N=18)	18.3	2.0	18.3	2.7

Figure 10: Summary table with task times (in seconds) for each interaction model. Median, median absolute deviation (MAD), mean and standard deviation values are listed

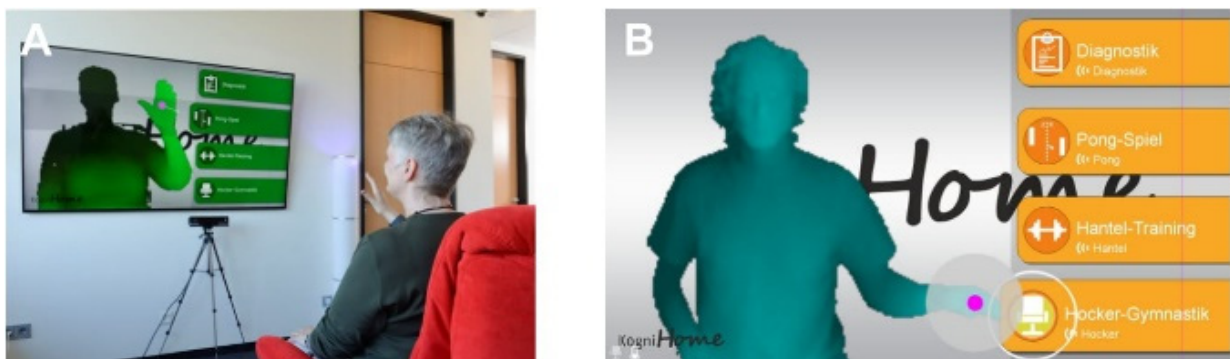


Figure 11: Gesture based application interface. A) Example setup in a living room. B) Interface design. The gray circle represents a no-selection area (see text for details)

4 Application

Experimental results informed the design of a user interface that should be as easy and reliable to use for all age-groups and levels of expertise. No more than five selectable, large widgets are arranged vertically into a menu (fig. 11). Here, widgets are implemented as fuse-buttons: moving the hand-cursor over a fuse-button and holding it there for a predefined time triggers this button. We observed that inexperienced first time users of the interface kept their hand at the same place after they selected and triggered a button. This often resulted in unintended triggering of the next button from the follow-up sub-menu. To avoid this potentially confusing behavior, we implemented a „no-selection area“ that appears directly after button-activation. Inside this area buttons cannot be selected or triggered (gray circle in fig. 11B). This no-selection area stays there for a reasonable amount of time until it fades away or until the user voluntarily moves the handcursor out of this area

5 Conclusion and Outlook

Machine learning techniques exist [Fan14] to replace medium priced depth cameras with very cheap infrared cameras. Hence, we predict that gesture based natural interaction will

become ubiquitous. Gesture based interfaces can work fast and reliable if done properly. We implemented the system in the context of a smart home scenario (project KogniHome, [Kog17, Hes17, Hes18]) and got positive feedback regarding usability from an important target group of elderly people (fig. 11). This usability test revealed that a larger physical interaction zone results in better task times for the tested groups of novice users. We conclude that the interaction zone should be adjusted to the target group and ideally should automatically adapt to the user, for example by shrinking it's size over time. Displaying the mirror image of the user together with the cursor might have a positive effect at least on the familiarization time and is worth taking a closer look.

6 Acknowledgments

This work was supported by the Federal Ministry of Education and Research Germany (BMBF) as part of the project „KogniHome“. We thank Sebastian Klemme for collecting additional datasets. The authors are responsible for the contents of this publication.

References

- [Azi12] M. Azimi: Skeletal joint smoothing white paper. In: MSDN digital library, 2012.
- [Bac18] D. Bachmann, F. Weichert and G. Rinkenauer: Review of ThreeDimensional Human-Computer Interaction with Focus on the Leap Motion Controller. In: Sensors 18.7, p. 2194, 2018.
- [Fan14] S. R. Fanello, C. Keskin, S. Izadi, P. Kohli, D. Kim D. Sweeney, A. Criminisi, J. Shotton, S. B. Kang and T. Peak: Learning to be a depth camera for close-range human capture and interaction. In: ACM Transactions on Graphics (TOG), 2014.
- [Fre12] B. Freedman, A. Shpunt, M. Machline, Y. Arieli: Depth mapping using projected patterns. U.S. Patent No. 8,150,142, 2012.
- [Gok04] S. B. Gokturk, H. Yalcin and C. Bamji: A time-of-flight depth sensorsystem description, issues and solutions. In: Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW'04, Conference on, IEEE, pp. 35-35, 2004.
- [Hes17] M. Hesse, A. F. Krause, L. Vogel, B. Chamadiya, M. Schilling, T. Schack and T. Jungblut: A connected chair as part of a smart home environment. In: Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2017 IEEE 14th International Conference on. IEEE, pp. 47-50, 2017.

- [Hes18] M. Hesse, A. F. Krause, L. Vogel, T. Schack und T. Jungeblut: KogniCoach: Entwicklung und Evaluierung eines in das Wohnumfeld integrierten persönlichen Trainers mit vernetztem Sessel. In: Smart ASSIST: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 3. Transdisziplinäre Konferenz, 2018.
- [Kog17] KogniHome Homepage: www.kognihome.de, [Accessed: 20 Aug. 2018].
- [Max15] G. Maxim: The KinectRegion as currently implemented is broken and unusable. <https://social.msdn.microsoft.com/Forums/en-US/5e4be934-4299-4131-be5a-d83c81d89ace/the-kinectregion-as-currently-implemented-is-broken-and-unusable>, [Accessed: 20 Aug. 2018].
- [Mit07] S. Mitra and T. Acharya: Gesture recognition: A survey. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) 37.3 (2007), pp. 311-324.
- [Mic14] Microsoft Corporation: Kinect for Windows: Human Interface Guidelines v2.0. Tech. rep. 2014.
- [Rau15] S. S. Rautaray and A. Agrawal: Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. In: Artificial Intelligence Review 43.1, pp. 1-54, 2015.
- [Rij13] K. Rijnieks: Cinder-Begin Creative Coding. Packt Publishing Ltd, 2013.
- [Sta02] R. Stallman: Free software, free society: Selected essays of Richard M. Stallman. Lulu. com, 2002.
- [Zha12] Z. Zhang: Microsoft kinect sensor and its effect. In: IEEE multimedia 19.2, pp. 4-10, 2012.

ELSI in Serious Games für die technikunterstützte medizinische Ausbildung Das Beispiel HaptiVisT

U. Scorna, K. Weber und S. Haug

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Institut für Sozialforschung und
Technikfolgenabschätzung
Ulrike.Scorna@oth-regensburg.de, Karsten.Weber@oth-regensburg.de,
Sonja.Haug@oth-regensburg.de

Kurzzusammenfassung

Das haptisch-visuelle Trainingssystem HaptiVisT zur Unterstützung der chirurgischen Ausbildung für zwei chirurgische Anwendungsfelder (Cochlea-Implantationen und minimalinvasive Handchirurgie) im Rahmen eines Serious Games berührt zentrale medizinethische Prinzipien (Autonomie, Nichtschaden, Wohltun, Gerechtigkeit) sowie rechtliche und soziale Fragen. Bei der Entwicklung ist von Projektbeginn an eine Begleitforschung zu ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen (ELSI) vorgesehen, deren Methodik und erste Ergebnisse vorgestellt werden. Die Ergebnisse stützen sich auf eine empirisch basierte Anforderungsanalyse aus Anwender- und Entwicklersicht.

Abstract

ELSI in serious games for technology supported training: the example HaptiVisT

The haptic-visual training system HaptiVisT serves to support the surgical training of two surgical fields of application (cochlear implantation and minimally invasive hand surgery). The serious game which is planned within the project affects core principles of medical ethics (respect for autonomy, non-maleficence, beneficence, justice) as well as legal and social questions. Right from the start the development of the serious game is accompanied by a team which focuses the ethical, legal and social implications (ELSI). The method (an empirically based requirements analysis of users and developers) and first results are presented here.

Keywords

HaptiVisT, ELSI-Begleitstudie, Serious Game

1 Serious Games in der Medizin

Schon seit einigen Jahren werden Serious Games und Gamification intensiv im Zusammenhang mit medizinischen Anwendungen diskutiert. Dabei standen zunächst die Patienten im Vordergrund; die Nutzung von Serious Games und/oder Gamification sollte meist dazu beitragen, um Gesundheitsinformationen spielerisch zu vermitteln (bspw. [Pro10]), ältere Menschen fit zu halten [Zah12], Rehabilitationsschritte zu fördern (bspw. [Reg14]) oder den Umgang mit chronischen Krankheiten zu unterstützen (z.B. [Mil14]). Ärzte oder Studierende der Humanmedizin selbst standen am

Anfang dieser Entwicklung noch nicht im Zentrum der Diskussion.

Dies hat sich in den letzten Jahren allerdings geändert. In verschiedenen Sammelbänden oder Proceedings (bspw. [Bro14, Ma14, Sch13]) finden sich Diskussionsbeiträge, die zeigen, dass Serious Games und Gamification auch in der ärztlichen Ausbildung sinnvolle Anwendungen finden können. So findet sich bspw. in dem Sammelband „Games for Health“ [Sch13] ein Beitrag über ein Serious Games zur Übung einer Laparoskopie [Gra13]

andere Autoren berichten ebenfalls von ähnlichen Nutzungsweisen von Serious Games (bspw. [Dep13, Dep14, Kow17]).

Im Folgenden soll nun HaptiVisT, ein Projekt zur Entwicklung eines haptisch-visuellen Trainingssystems zur Unterstützung der chirurgischen Ausbildung für zwei chirurgische Anwendungsfelder (Cochlea Implantationen und minimalinvasive Handchirurgie) unter Nutzung klinischer Volumendaten (CT), vorgestellt werden [Fra16]. Das virtuelle Trainingssystem besteht aus Simulation, 3D-Bildschirm sowie Feedback über einen Haptik-Arm, das als Serious Game mit immersiver Didaktik auf verschiedene Anwendungsfälle und Schwierigkeitslevels gestaltet wird. Es bildet damit eine Ergänzung von vorhandenen Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten an Tiermodellen und füllt die Lücke zwischen ‚Üben an Patienten‘ und realitätsnaher virtueller Interaktion durch ein haptisches und visuelles Lernerlebnis.

Veränderungen der medizinischen Ausbildung können stets auch medizinethische Fragen aufwerfen. Da solche Änderungen wichtige medizinethische Prinzipien wie Autonomie, Nichtschaden, Wohltun und Gerechtigkeit [Bea09] betreffen können, werden im Projekt HaptiVisT im Rahmen einer Begleitstudie ethische, rechtliche (legale) und soziale Implikationen (ELSI) untersucht, die bei der technischen Entwicklung des Serious Games auftreten. Dies soll sicherstellen, dass nicht erst am Ende der technischen Entwicklung solche Implikationen mehr oder minder zufällig aufgedeckt werden oder gar erst während des Einsatzes in der medizinischen Aus- und Weiterbildung. Stattdessen soll durch die Untersuchung solcher Implikationen von Beginn des Projekts an auf die technische Gestaltung des Serious Games Einfluss genommen werden.

2 Methode der ELSI-Erhebung

In einer umfangreichen Literaturrecherche wurden jene ethischen, sozialen und rechtlichen Implikationen identifiziert, die es im Rahmen der Entwicklung von HaptiVisT, d.h. eines Serious Games für die medizinische Aus- und Weiterbildung, zu berücksichtigen

gilt. Eine anschließende ‚Experten-zentrierte Anforderungsanalyse‘ in Form von Action Sheets [vgl. Kun16], die sich an Anwender des Serious Games einerseits und Entwickler andererseits wendet und Aspekte des Trainings-systems- und Konzepts (Einsatzbedingungen, Mehrwert, Lernziele, Spiel Aufbau, Gestaltung des Level-Editors und der Feedbacks, Praxis-transfer, Datenspeicherung, Spaßfaktor, GUI für Lehrer-Lerner, unterstützende Komponenten) sowie der Simulation und Interaktion (Segmentierung des Gewebes und der Werkzeuge, Realitätsnähe, Instrumente) als auch Hardware-Komponenten (Computer, Display, Werkzeuge und haptische Phantome) abfragt, diene der Vergegenwärtigung der ethischen, sozialen, rechtlichen, didaktischen und technischen Aspekte des Projektes HaptiVisT.

Zur Frage der Einsatzbedingungen soll beispielsweise angegeben werden:

- Wer ist die potentielle Zielgruppe?
- Welche Voraussetzungen müssen die potentiellen User haben?
- Wo wird der Prototyp stehen, wenn er eingesetzt wird? (Raum/ Zugänglichkeit/ etc.)

Das Action Sheet beinhaltet jeweils Felder zur Angabe von

- Kommentaren,
- Möglichen Problemen/ Gefahren/ Herausforderungen/ Schwierigkeiten,
- Alternativen Vorgehensweisen/ Vorschlägen und
- Sonstigen Anmerkungen/ Hinweise.

Man könnte gegen diese Vorgehensweise einwenden, dass es zwar adäquat sei, Gebrauchstauglichkeits- und ergonomische Aspekte auf empirischem Wege zu evaluieren, dies aber im Fall von normativen Aspekten unangemessen sei, da man so einem Sein-Sollen-Fehlschluss unterläge. Diesem Einwand kann allerdings entgegengehalten werden, dass die normativen Implikationen mithilfe des Fragebogens abgefragt wurden, aus der Literatur, die sich aus (medizin-) ethischer Sicht mit Serious Games und/ oder Gamification beschäftigt, gewonnen wurde. Dort wurden entsprechende normative Überlegungen durch Ableitung aus allgemeinethischen Grundsätzen entwickelt.

Die Vorgehensweise entspricht einem deduktiven Verfahren. Im ersten Arbeitsschritt wurden aus der Fachliteratur Kriterien für die ethische Bewertung von Implikationen abgeleitet. Im zweiten Schritt wurde deren tatsächliche Berücksichtigung durch eine empirische Abfrage mittels Fragebogen in Form von Action Sheets ermittelt. Die Ergebnisse der Expertenbefragung mittels Action Sheets waren im dritten Schritt grundlegend für die Entwicklung eines ersten Pflichtenhefts, welches die zu berücksichtigenden ethischen, sozialen und rechtlichen Kriterien von HaptiVisT auflistet und Handlungsempfehlungen zu deren Umsetzung im Projekt gibt. Diese ersten Empfehlungen zur Umsetzung der ELSI-Implikationen wurden bei einem darauffolgenden Projekttreffen den anderen Projektteilnehmern vorgestellt. Im Weiterverlauf des Projektes HaptiVisT wurden im vierten Schritt in verschiedenen bilateralen Gesprächen mit den Projektpartnern der aktuelle technische Entwicklungsstand sowie die tatsächliche Umsetzung der ELSI-Implikationen abgefragt, woraufhin im fünften Schritt eine zweite, überarbeitete Version des Pflichtenhefts erstellt wurde, welche neben den zu berücksichtigenden ethischen, sozialen und rechtlichen Kriterien auch die tatsächliche, konkrete Umsetzung im Projekt beinhaltet.

3 ELSI-Aspekte des Serious Games

Im Rahmen der ELSI-Begleitstudie wurden zehn Kriterien für die Bewertung der wesentlichen Implikationen bei der Entwicklung und Umsetzung des Serious Games im Projekt HaptiVisT identifiziert.

Zu den ethischen Kriterien zählen die Entwicklung von Handlungskompetenzen, die Förderung von Entscheidungsautonomie und die Verbesserung von Mortalität, Morbidität und Lebensqualität. Wesentliche soziale Kriterien sind die Gewährleistung eines erfolgreichen Wissenstransfers, die Vermeidung gesundheitlicher Risiken sowie aggressiven und gewaltbereiten Verhaltens, die Gewährleistung gleicher Zugangsmöglichkeiten und die Wahrung der Integrität der Arzt-Patienten-Beziehung. Zu den rechtlichen Kriterien gehören

die Aufklärung über Zweck, Umfang und Dauer der Datennutzung, der Schutz der Daten vor der unautorisierten Nutzung und einem systembedingten Verlust und die Klärung bezüglich der Verantwortungszuschreibung bzw. des Haftungsausschluss.

Im Folgenden werden diese zehn, für Serious Games in der medizinischen Aus- und Weiterbildung relevanten ethischen, sozialen und rechtlichen Kriterien geschildert und deren konkrete Umsetzung im Projekt HaptiVisT erläutert.

3.1 Ethische Kriterien

Der Mehrwert von Serious Games besteht in dem Erwerb von situationsspezifischen, prozeduralen Wissen [Ker09], dem Einüben praktischer und theoretischer Fertigkeiten [Tol13], der Förderung strategischen und problemorientierten Denkens bzw. dem Prozess der Entscheidungsfindung [Mar10] sowie der Erprobung alternativer Handlungsszenarien [Mar10]. Durch das im Spiel folgenlose Aus testen unterschiedlicher Handlungsstrategien sowie Denk- und Verhaltensweisen [Mar10] wird der User in seiner Entscheidungsautonomie bestärkt. Serious Games sind somit eine sinnvolle Methode zur Vorbereitung, Erprobung, Vertiefung und Festigung von Grundlagen, generischen Strategien und metakognitiven Fähigkeiten [Mar10, Ker09] sowie zur Stärkung der ärztlichen Entscheidungsautonomie [Mar16].

Das Serious Game HaptiVisT schult durch das Angebot an unterschiedlichen Spielarten (Geschicklichkeitsspiel, Wissensspiel, Strategiespiel) die manuelle Geschicklichkeit, die Hand-Augen-Koordination sowie das visuelle Gedächtnis. Es fördert speziell die Entwicklung von Handlungskompetenzen in Bezug auf die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der OP in der Hand- und Ohrchirurgie. Die Verinnerlichung einzelner OP Schritte erhöhen den sicheren Umgang mit den Instrumenten und ermöglichen das Erfassen der räumlichen Lagebeziehung der Risikostrukturen, die es zu schützen gilt sowie deren anatomische Varianten.

HaptiVisT beinhaltet drei Level mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad der chirurgischen Fragestellung bei gleichzeitiger Abnahme der technischen Hilfestellungen, wodurch das strategische und problemorientierte Denken trainiert wird. Auf Basis der Wichtung und Beurteilung von Hinweisen und der Analyse von Situationen fördert HaptiVisT somit die Entscheidungsfindung des Users und begünstigt die Entwicklung und Wahrung einer ärztlichen Entscheidungsautonomie. Inhaltlich ist HaptiVisT so konzipiert, dass es den medizinischen Prinzipien Nichtschaden und Wohltun entspricht.

Im Vergleich zu herkömmlichen Ausbildungsmethoden (Präparation an Humanspenden und Tierkadavern, Hospitation bei realen Operationen sowie erste Praxisübungen unter fachlicher Aufsicht) besteht der Mehrwert von HaptiVisT im Rahmen der medizinischen Aus- und Weiterbildung in der Reproduzierbarkeit der Übungen und der sicheren, weil für den Patienten risikoarmen Erprobung von Handlungsalternativen. Allerdings handelt es sich bei den Spielszenarien um idealtypische Szenarien. Sowohl die digitale Simulation als auch die Handlungsabläufe können nur annäherungsweise widergegeben werden. Abweichungen zur Realität sind möglich [Mar10]. Es ist daher aus ELSI-Perspektive nicht zu empfehlen, dass die Anwendung von HaptiVisT herkömmliche Ausbildungsmethoden ersetzt, besonders da die im Spiel sonst folgenlosen Handlungsfehler in der realen OP-Situation gravierende Folgen haben könnten. Ein Hinweis diesbezüglich soll beim Start von HaptiVisT erscheinen.

3.2 Soziale Kriterien

Die Anwendung von Serious Games muss ein anwendungsbezogenes Lernen der Spielinhalte gewährleisten, bei dem das im Spiel gelernte Wissen auch erfolgreich in die Praxis transferiert und integriert werden kann [Mar10, Sos10, Viv13]. Die Lernszenarien, v.a. die Spielelemente, müssen daher möglichst realistisch gestaltet und auf eine reale Situation übertragbar sein [Mar10, Viv13]. Je re-

aler die Darstellungen der akustischen, haptischen und visuellen Elemente in den Lernszenarien sind, desto höher ist der Lerntransfer in die Praxis [Ker09]. Neben einer authentischen Wiedergabe der Darstellungen sollte auch ein fehlerfreier Spielablauf ohne erhöhte Verzögerungszeiten (Lag) oder Logikfehler im Handlungsablauf angestrebt werden [Mar10]. Um eine erfolgreiche Übertragung des theoretischen Wissens in die Praxis zu gewährleisten, sind daher bei HaptiVisT die akustischen, haptischen und visuellen Spielelemente authentisch gestaltet, wie die Darstellung der anatomischen Strukturen und Instrumente, die Haptik der Fräse und des Bohrers (v.a. die Handhabung und Widerstand der Instrumente am Knochen) sowie zusätzliche Nebengeräusche (Bohr- und Absauggeräusch) und Effekte (Wasserspülung, Knochenmehl, Beweglichkeit der anatomischen Strukturen). Zudem weist der Spielablauf keine erhöhten Verzögerungszeiten (Lag) oder Logikfehler beim Handlungsablauf auf und die Lernszenarien berücksichtigen mögliche Schwierigkeiten, Nebenbedingungen und Variationen, die in der Realität möglich sind.

Die Anwendung von Serious Games muss im Sinne des medizin-ethischen Prinzips Nichtschaden sicher sein und darf beim User keine gesundheitlichen Risiken verursachen [Mar16], weder aggressives oder gewaltbereites Verhalten fördern [Mar10], noch zu einer sozialen Isolation der User führen [Mar10]. Des Weiteren ist es wichtig, dem User ein Feedback zu geben, aus welchem er Rückschlüsse für zukünftige Handlungsentscheidungen ableiten kann. Je effektiver dabei die Rückmeldung ist, desto motivierter ist der User und desto höher ist sein Lernerfolg [Mar10, Viv13, Ker09]. HaptiVisT verfügt über ein effektives Feedback, welches bei den technischen Schwierigkeitsstufen 1 und 2 jeweils nach den einzelnen Operationsschritten und bei der Schwierigkeitsstufe 3 erst nach der gesamten Operation erfolgt. Dadurch erhält der User u.a. Rückmeldung über den Verlauf der Operation, erfolgreiche Handlungsschritte, Handlungsfehler/ fehlende Operationsschritte, Verletzung von Risikostrukturen.

Der User wird somit in die Lage versetzt, seine Handlungsschritte realistisch einzuschätzen und nachvollziehen zu können. Das Feedback ermöglicht ihm die Situation neu bewerten und aus den begangenen Fehlern lernen zu können (vgl. [Ker09] nach dem Prinzip der „operanten Konditionierung“), was das Frustrations- und das Aggressionspotential des Users nachhaltig senkt. Bei HaptiVisT ist zudem eine unbegrenzte Anzahl an Wiederholungsmöglichkeiten, die freie Auswahl des Users zwischen den einzelnen Spielszenarien und deren Schwierigkeitsgrad sowie weitere Motivationshilfen (Tutorials, Hilfestellungen, Belohnungs- und Punktesysteme) vorgesehen, was zusätzlich zur Senkung des Frustrations- und Aggressionspotentials beiträgt und Motivation sowie potentiellen Lernerfolg steigert. Bei der Ausgestaltung der Belohnungs- und Punktesysteme ist es aus ELSI-Perspektive erforderlich, dass diese den medizin-ethischen Prinzipien Nichtschaden und Wohltun entsprechen, bzw. diese fördern und der Wissenstransfer im Rahmen des Gamification-Ansatzes nicht unterminiert wird.

Um auch bei Handlungsfehlern einen Lernerfolg sicherzustellen, ist es notwendig, dem User eine Rückmeldung über den Erfolg bzw. Misserfolg der Handlung zu geben, da er nur so aus dem Fehler lernen kann [Mar10]. Bei HaptiVisT wird daher bei Handlungsfehlern der aktuelle Operationsschritt unterbrochen und der User anschließend mit einer Multiple-Choice-Frage „Warum wurde die Operation abgebrochen?“ konfrontiert. Aus einem Antworten-Pool an Fehlerquellen muss der User seinen eigenen Fehler identifizieren. Dadurch wird er veranlasst, sein Handeln selbstständig zu reflektieren. Nach Beantwortung der „Fehlerfrage“ kann der User den Operationsschritt von vorn beginnen. Um den Lerneffekt dauerhaft zu sichern und Spielerfahrungen reflektieren und auswerten zu können, soll HaptiVisT im Rahmen der medizinischen Ausbildung im Curriculum implementiert werden. Bezüglich des Immersions-Effekts sollte darauf geachtet werden, dass eine zu starke emotionale Ansprache vermieden wird, da diese den User von den eigentlichen Lerninhalten ablenkt und

einen erfolgreichen Wissenstransfer verhindert [Ker09, Viv13]. So ist es zwar wichtig Handlungsfehler realistisch dazustellen, sind die Folgen aber irreparabel, genügt diesbezüglich ein Hinweis. Eine zu realistische Darstellung der Folgen des Handlungsfehlers könnte den User nachhaltig traumatisieren und ein Lernen aus dem Fehler verhindern.

Aus ELSI-Perspektive muss zusätzlich gewährleistet sein, dass alle User die gleichen Zugangsmöglichkeiten haben, keine Personengruppe vorsätzlich von der Nutzung ausgeschlossen ist und die auf Respekt vor der Autonomie basierende Arzt-Patienten-Beziehung nicht negativ beeinflusst wird [Mar16].

Um möglichst viele Personengruppen den Zugang zu ermöglichen und keine vorsätzlich auszuschließen, bietet HaptiVisT verschiedene Möglichkeiten zur Anpassung an Diversity-Aspekte. Um die Anpassung an unterschiedliche Körpergrößen zu ermöglichen, sind der Monitor und Tisch höhenverstellbar und der Manipulator (Reflexionsarm) frei positionierbar. Auch können der Monitor und Manipulator so angeordnet werden, dass die Nutzung sowohl für Rechts- als auch Linkshänder gewährleistet ist. Des Weiteren gibt es Anpassungsmöglichkeiten für User mit Farbsinnstörungen. Bezüglich der Bediensprache kann bei dem Prototyp von HaptiVisT zwischen Deutsch und Englisch gewählt werden. Weitere Sprachen sind in den nächsten Versionen von HaptiVisT geplant.

Obwohl die eigentliche Arzt-Patienten-Beziehung nicht Gegenstand von HaptiVisT ist, muss sichergestellt sein, dass die Anwendung des Serious Game keine negativen Folgen auf diese hat. Ein Hinweis, dass die Beziehung zwischen Arzt und Patienten auf den medizin-ethischen Prinzipien „Respekt vor der Autonomie“ und „Wohltun“ basieren sollte, erscheint beim Start von HaptiVisT.

3.3 Rechtliche Kriterien

Sobald im Rahmen eines Serious Games Daten gesammelt werden, bedarf es nicht nur der Einwilligung sondern auch der Aufklärung der User über den Grund und Umfang der Daten-

nutzung und Speicherung [Viv13]. Aus normativer Sicht ist daher sicherzustellen, dass die im Spiel verwendeten Daten nur mit der ausdrücklichen Einwilligung/ Kenntnisnahme der User [Mar16, Viv13] und auch nur zu den genannten Zwecken genutzt werden [Viv13]. Eine Verwendung der Daten für einen anderen, als den angegebenen Zweck ist aus ELSI-Perspektive zu unterlassen. Zusätzlich muss garantiert sein, dass die verwendeten Daten vor einem systembedingten Verlust oder dem Zugriff unautorisierter Dritter geschützt sind [Mar16]. Da Serious Games die Wirklichkeit nur annäherungsweise wiedergeben, können die Simulationen fehlerhaft sein. Ein Hinweis darauf, wer aus juristischer Sicht für Anwendungsfehler haftbar gemacht werden kann, die aufgrund einer mangelnden Darstellung der Simulation entstanden sind, ist daher erforderlich.

Ein Hinweis zum Grund, Umfang und Dauer der Datennutzung und Speicherung sowie die Möglichkeit zur Einwilligung dieser Datennutzung erfolgt beim Start von HaptiVisT. Um die Daten vor dem unautorisierten Zugriff Dritter zu schützen, erfolgt die Sicherung der Daten über ein Benutzerkonto mit Benutzernamen und Passwort. Die Datenspeicherung findet bei dem Prototyp von HaptiVisT nur lokal statt; ein Export der Daten ist jedoch möglich. Auf die Daten hat nur der User Zugriff, bzw. er kann Zugriffsberechtigungen erteilen. Im Rahmen der Nutzung von HaptiVisT als Ausbildungsmethode ist vorgesehen, dass neben dem eigentlichen User ggf. auch der ausbildende Oberarzt Zugriff auf die Daten hat. Ein Hinweis bezüglich des Schutzes der Daten vor der unautorisierten Nutzung Dritter und einem systembedingten Verlust erfolgt beim Start von HaptiVisT. Es erfolgt zu Beginn zusätzlich ein Hinweis, dass es sich bei HaptiVisT um eine Simulation der Wirklichkeit

handelt, welche Abweichungen in der Darstellung nicht ausschließen kann und das HaptiVisT-Team für Anwendungsfehler nicht haftbar gemacht werden kann.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Projekt HaptiVisT hat die frühe Erhebung ethischer, sozialer und rechtlicher Implikationen und die Evaluation von Gebrauchstauglichkeits- und ergonomischen Aspekten von Beginn an einen Einfluss auf die weitere technische Gestaltung des Systems. Methodisch haben sich Action Sheets als ein adäquates Mittel zur Erhebung solcher Aspekte erwiesen – man könnte deren Anwendung auch als ELSI Requirements Engineering bezeichnen. Insgesamt wird HaptiVisT durch die frühzeitige Evaluierung und ELSI-Berücksichtigung dem Grundgedanken eines wertebasierten Designs und dem in der EU-Förderpolitik verankerten Prinzips des Responsible Research and Innovation (RRI) gerecht. Das HaptiVisT-Team ist der Überzeugung, auf diese Weise am Ende ein besseres Ergebnis erzielen zu können.

Anmerkung und Danksagung

HaptiVisT-Projektpartner sind neben dem Verbundkoordinator szenaris GmbH Bremen die Universitätskliniken Regensburg und Leipzig, das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) und die Arbeitsgruppe für Supply Chain Services (SCS) Erlangen, see-Fromt GmbH Hamburg und das Regensburg Medical Image Computing (ReMIC) sowie das Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) der OTH Regensburg. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderschwerpunktes „IKT 2020 - Forschung für Innovationen“ gefördert (Förderkennzeichen 16SV7560).

Literatur

- [Bea09] T. L. Beauchamp und J. F. Childress: Principles of biomedical ethics. New York: Oxford University Press, 6th edition, 2009.
- [Bro14] A. L. Brooks, S. Brahmam und L.C. Jain: Technologies of Inclusive Well-Being. Studies in Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014.

- [Dep13] L. T. De Paolis: Training on Laparoscopic Suturing by Means of a Serious Game. In: B. Murgante, S. Misra, M. Carlini, C. M. Torre, H.-Q. Nguyen, D. Tanar, B. O. Apduhan und O. Gervasi (eds.): Computational Science and Its Applications – IC-
CSA 2013: 13th International Conference, Ho Chi Minh City, Vietnam, June 24-
27, Proceedings, Part I. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 622-631, 2013.
- [Dep14] L. T. De Paolis, F. Ricciardi und F. Giuliani: Development of a Serious Game for
Laparoscopic Suture Training. In: L. T. De Paolis und A. Mongelli (eds.): Aug-
mented and Virtual Reality: First International Conference, AVR 2014, Lecce, It-
aly, September 17-20, Revised Selected Papers. Cham: Springer, S. 90-102, 2014.
- [Fra16] D. Franz, U. Katzky, S. Neumann, J. Peret, M. Hofer, M. Huber, S. Schmitt-Rüth,
S. Haug, K. Weber, M. Prinzen, C. Palm und T. Wittenberg: Haptisches Lernen für
Cochlea Implantationen, Konzept - HaptiVisT Projekt. In: J. Ansò et al. (eds.): Ta-
gungsband der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Robo-
terassistierte Chirurgie (CURAC), Friedrichstadt: Der Andere Verlag, S. 21-26,
2016.
- [Gra13] M. Graafland und M. P. Schijven: A serious game to improve situation awareness
in laparoscopic surgery. In: B. Schouten, S. Fedtke, T. Bekker, M. Schijven und A.
Gekker (eds.): Games for Health: Proceedings of the 3rd European Conference on
Gaming and Playful Interaction in Health Care. Wiesbaden: Springer, S. 173-182,
2013.
- [Ker09] M. Kerres, M. Bormann und M. Vervenne: Didaktische Konzeptionen von Serious
Games. Zur Verknüpfung von Spiel- und Lernangeboten. In: Medienpädagogik.
Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 25.08.2009, S. 1-16,
<http://www.medienpaed.com/article/view/194/194>, zuletzt besucht am 30.03.2017.
- [Kow17] K.-F. Kowalewski, J. D. Hendrie, M. W. Schmidt, T. Proctor, S. Paul, C. R. Garrow,
H. G. Kenngott, B. P. Müller-Stich und F. Nickel: Validation of the mobile serious
game application Touch Surgery™ for cognitive training and assessment of lapa-
roscopic cholecystectomy. Surgical Endoscopy, Online First, S. 1-9, 2017.
- [Kun16] A. Kunz, S. Pohlmann, O. Heinze, A. Brandner, C. Reiß, M. Kamradt, J. Szecsenyi
und D. Ose: Strengthening Interprofessional Requirements Engineering Through
Action Sheets: A Pilot Study. JMIR Human Factors, 3(2), e25:1-11, 2016.
- [Ma14] M. Ma, L. C. Jain und P. Anderson: Virtual, Augmented Reality and Serious Games
for Healthcare 1. Intelligent Systems Reference Library, Vol. 68. Berlin, Heidel-
berg: Springer, 2014.
- [Mar10] A. C. Marr: Serious Games für die Informations- und Wissensvermittlung. Biblio-
theken auf neuen Wegen. Wiesbaden: Dinges & Frick, 2010.
- [Mar16] G. Marckmann: Ethische Aspekte von eHealth. In: F. Fischer und A. Krämer
(Hrsg.): eHealth in Deutschland. Anforderungen und Potentiale innovativer Ver-
sorgungsstrukturen. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 83-99, 2016.
- [Mil14] A. S. Miller, J. A. Cafazzo und E. Seto: A game plan: Gamification design princip-
les in mHealth applications for chronic disease management. Health Informatics
Journal, 22(2), S. 184-193, 2014.
- [Pro10] A. Protopsaltis, D. Panzoli, I. Dunwell und S. de Freitas: Repurposing Serious
Games in Health Care Education. In: P. D. Bamidis und Pallikarakis (eds.): XII
Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing
2010. IFMBE Proceedings 29., Berlin, Heidelberg: Springer, S. 963-966, 2010.
- [Reg14] P. A. Rego, P. M. Moreira und L. P. Reis: Architecture for Serious Games in Health
Rehabilitation. In: A. Rocha, A. M. Correia, F. B. Tan und K. A. Stroetmann (eds.):

- New Perspectives in Information Systems and Technologies, Vol. 2. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 276. Cham: Springer, S. 307-317, 2014.
- [Sch13] B. Schouten, S. Fedtke, T. Bekker, M. Schijven und A. Gekker: Games for Health: Proceedings of the 3rd European Conference on Gaming and Playful Interaction in Health Care. Wiesbaden: Springer, 2013.
- [Sos10] K. Sostmann, D. Tolks, M. Fischer und S. Buron: Serious Games for Health. Spielend lernen und heilen mit Computerspielen? GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, 6(2), S. 1-8, 2010.
- [Tol13] D. Tolks und M. R. Fischer: Serious Games for Health – ernstzunehmende didaktische Konzepte in der medizinischen Ausbildung. GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, 9(1), S. 1-4, 2013.
- [Viv13] P. Vivekananda-Schmidt: Ethics in the Design of Serious Games for Healthcare and Medicine. In: A. Arnab, I. Dunwell und K. Debattista (eds.): Serious Games for Healthcare. Applications and Implications. Hershey: IGI Global, S. 91-106, 2013.
- [Zah12] Fr. A. Zahn und J. Senger: Dreimal täglich spielen – Wie Serious Games die Gesundheit älterer Menschen fördern können. In: B. Kampmann, B. Keller, M. Knipplmeyer und F. Wagner (Hrsg.): Die Alten und das Netz. Wiesbaden: Gabler, S. 143-156, 2012.

Robotik in der Medizin

Gesellschaftliche Aspekte als Basis der rechtlichen Herausforderungen

D. Sprengel

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Lehrstuhl für Strafrecht, Strafprozessrecht,
Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie
Daniela.Sprengel@Jura.Uni-Hannover.de

Kurzzusammenfassung

Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen - gibt es dazu überhaupt einen einheitlichen Willen? Verändert er sich mit dem Fortschreiten der Robotik? Was für Neuerungen ergeben sich etwa für die Anwender und wie wirken diese sich in der Rechtswissenschaft aus? Das Recht soll zwar das gesellschaftlich Gewünschte abbilden, ist aber auf diese neue Technologie noch nicht vorbereitet. Trotzdem müssen Rechtsstreitigkeiten zeitnah beigelegt und Interessen angemessen ausgeglichen werden. Hierzu werden aktuelle Haftungsprobleme im Zusammenhang mit der Robotik im Medizinbereich dargestellt.

Abstract

Robotics in medicine – Societal aspects as the basis of legal challenges

German law is not equipped for machines acting and deciding instead of people. Both in criminal and civil law a human controllable act is presupposed in different places. This can certainly be supported by technical equipment. For example, a physician decides and acts on his own if he uses assistive technology in the broader sense of the word like classic surgical instruments. By contrast, a robotics decides on the operation "independently" and without the confirmation of the responsible doctor in the individual case and perform them directly. Whether the society already formed a uniform will on this topic is unclear.

Keywords: Rechtswissenschaften, Gesellschaft, Risiko, Verantwortung, Haftung

1 Einleitung

Was für Technik wollen „die Menschen“? Muss sie besonders verlässlich, effizient oder sicher sein? Wie viel Risiko sind wir bereit einzugehen? Ist eine gewollte Technik „sinnvoll“ und eine Ablehnung nur der Ausdruck irrationaler Ängste? Unterscheiden wir hierbei auch nach den Einsatzgebieten? Gerade die Bereiche Medizin und Pflege werden besonders wahrgenommen.

Absolute Sicherheit gibt es nicht – in der Rechtswissenschaft zeigen die Begriffe „erlaubtes“ und „sozial-adäquates“ Risiko schon auf den ersten Blick, dass gewisse Risiken akzeptabel sind und hingenommen werden müssen. Was damit aber im Einzelfall gemeint ist, bleibt erst einmal unklar. Zudem: Je neuer die Technik, desto weniger konkret ist der Umfang des Erlaubten [im Zusammenhang mit

dem autonomen Fahren Bec17, S. 44]. Was wir an Risiken bewusst oder unbewusst akzeptieren, hängt von vielen Faktoren ab und ist nicht (nur) rational zu erklären. Es soll kurz beleuchtet werden, wie sich solche Wünschenformen und wodurch sie beeinflusst werden könnten.

Der folgende Text soll aufzeigen, wie sich das gesellschaftlich Gewollte im juristischen Kontext wiederfindet. Im Zivilrecht müssen Vertragsparteien etwa Schadenersatz zahlen, wenn sie sich nicht so verhalten haben, wie der Vertragspartner dies erwarten durfte. Strafbare ist, was die Gesellschaft an menschlichem Verhalten nicht toleriert („Du sollst nicht töten!“).

Diese juristischen Grundsätze werden mit kleinen Beispielen aus dem medizinischen

Alltag anschaulich erklärt. Als Ausgangspunkt werden die Voraussetzungen der Haftung und der Strafbarkeit von Ärzten dargestellt. Im ersten Schritt bezieht sich die Darstellung jeweils auf ein Beispiel mit herkömmlichen Hilfsmitteln, etwa eine Operation mittels chirurgischer Geräte. Im zweiten Schritt wird konkret herausgestellt, welche Besonderheiten sich im Zusammenhang mit neuen Technologien ergeben. Im Fokus steht hierbei etwa der Umgang mit unklaren Risiken bei dem Einsatz von Robotik. Im Fazit wird ein Rückbezug auf die Gesellschaft insgesamt vorgenommen.

2 Gesellschaftliche Wahrnehmung

Oft wird sich der Einzelne seiner Wünsche bei einem eher abstrakten Thema wie „Technik der Zukunft“ gar nicht umfassend bewusst sein. Den meisten Menschen fehlt ein tiefergehendes technisches Verständnis, Hintergrundwissen und in einigen Bereichen der konkrete Anlass, sich differenziert mit der Thematik auseinanderzusetzen. Zudem sind Gewohnheiten und Ängste so tief in uns verankert, dass wir sie als Grundlage unserer Entscheidungen gar nicht wahrnehmen. In Deutschland herrscht grundsätzlich weder Technikfeindlichkeit noch Technikeuphorie, sondern eine „skeptische, aber auch erwartungsvolle Grundhaltung“ – gleichzeitig glaubt aber nur ein Viertel der Befragten, dass Technik mehr Probleme löst, als sie schafft. Im medizinischen Bereich können sich 40,3 % der Befragten Robotik in Alten- und Pflegeheimen vorstellen, dennoch besteht bei 81 % die Angst, dass dadurch die menschliche Zuwendung abnimmt [Tr18]. Doch ist dies auch begründet? Oder ergibt sich bei genauerem Hinsehen vielleicht ein entgegengesetztes Bild: Können uns Physiotherapeuten/-innen oder Pfleger/-innen zukünftig vielleicht sogar besser betreuen und unterstützen, wenn ihre tägliche Arbeit durch den technischen Fortschritt entlastet wird? Dann wäre die Ablehnung der Technik durch den Einzelnen und damit auch durch die Gesellschaft konträr zu dem gewünschten Ergebnis, also (unbewusst) in sich widersprüchlich.

Der demografische Wandel sorgt bereits spürbar dafür, dass die Gesellschaft altert; ein Trend, der weiter anhalten wird. Unabhängig davon sind Angehörige der Pflegeberufe bereits heute stark beansprucht: der Begriff „Pflegenotstand“ ist aktuell wie nie und tatsächlich nimmt der Einsatz von Vollkräften im Pflegedienst kontinuierlich ab (im Zeitraum von 1996 - 2016: Rückgang um 8,42 % in allgemeinen Krankenhäusern; s. Gesundheitsberichterstattung des Bundes). Einerseits sind die Berufsgruppen für die Gesellschaft unerlässlich, schließlich möchte jedermann im Alter oder bei Krankheit gut betreut und versorgt sein und dies auch für Angehörige sichergestellt wissen. Andererseits sind diese Berufsgruppen bereits jetzt so beansprucht, dass sie den Spitzenwert bei den Berufsabbrechern belegen. 54 % der befragten Pflegekräfte denken darüber nach, aus dem Beruf auszusteigen; 43 % würden den Pflegeberuf nicht wiederwählen [Pm18]. Das ist auch offensichtlich vielen bewusst, es befürworten 60 % der Befragten die Robotik, soweit sie die Pflege entlastet und intensivere Zuwendung ermöglicht [Tr18].

Das gesellschaftlich Gewollte wird neben allgemeinen Entwicklungen auch von dem Faktor „Risiko“ beeinflusst. So werden groß- und Risikotechnologien generell anders bewertet, weil deren Risiken etwa aufgezwungen, ungleich verteilt und nur unzureichend kontrollierbar wirken [Idw97]. Die heutige Technik ist so differenziert und speziell, dass kaum jemand sie wirklich versteht. Während die mechanische Funktionsweise eines Fahrrades gut sichtbar und nachvollziehbar ist, wirken viele elektronische oder robotische Komponenten wie eine „Black Box“. Zwar ist die sich ständig weiterentwickelnde Elektronik teils schon im Alltag der durchschnittlichen Bevölkerung integriert wie traditionelle Geräte. Dies gilt jedoch kaum für selbstständig entscheidende und weiterlernende Robotik. Das Fahrrad wurde etwa seit dem 19. Jahrhundert in seiner Funktionsweise nur gering modifiziert, ist weit verbreitet und die Risiken eines muskelkraftbetriebenen Rades sind (vermeintlich) überschaubar: Einerseits stellt der Radfahrer

ein Risiko für andere Straßenverkehrsteilnehmer dar, andererseits ist er gerade in Großstädten den Gefahren des motorisierten Verkehrs ausgesetzt. Die Entscheidung über den Einsatz des Fahrrads trifft jeder Nutzer selbst; aber schon in diesem trivialen Beispiel sind die Gefahren für Radfahrer weit höher und weniger beherrschbar, als wir uns im Alltag bewusst machen. Radunfälle mit Personenschaden werden zu 65 % von Kraftfahrern verursacht; verletzte und getötete Personen sind fast ausschließlich Radfahrer. Die Hauptverursacher von Radunfällen mit Todesfolge sind Berufskraftfahrer in schweren Lkw [Adf18].

Trotzdem ist das Radfahren tendenziell gesellschaftlich akzeptiert und als umweltschonend, gesund und unkompliziert oft ausdrücklich erwünscht. Es muss sich niemand für das eingegangene Risiko einer Fahrradfahrt rechtfertigen; im Gegenteil beispielsweise zu dem eher verrufenen, als „gefährlich“ eingestuften Extremsport Bungeejumping, der für gesunde Erwachsene ein kaum vorhandenes Risiko darstellt [Völ10].

Eine Risikobewertung vorhandener, bereits eingesetzter Technik stützt sich auf Daten und Statistiken. Die Wissenschaft, Politik oder Verwaltung versuchen etwa für Dritte nachvollziehbar zu prognostizieren, wie sicher der Einsatz einer bestimmten Technik für die Beteiligten ist. Ergeben sich im Einzelfall Gefährdungen oder häufen sich (Personen-) Schäden, so kann die zuständige Behörde Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ergreifen, etwa den Einsatz eines Geräts in einer speziellen Situation verbieten. Die Laienöffentlichkeit bewertet Risiken eher subjektiv auf der Basis eigener Erfahrungen, Faustregeln und letztlich individueller Ängste [Idw97].

Ob sich der Einzelne einem Risiko aussetzen möchte, ist davon unabhängig und bleibt ihm grundsätzlich selbst überlassen. Hierbei gibt es nur sehr wenige Grenzen. Jemand anderen an Körper oder Gesundheit zu schädigen ist grundsätzlich strafbar, außer der Geschädigte hat vor der Verletzung ausdrücklich in die ursächliche Handlung eingewilligt. Es darf dabei in alles eingewilligt werden, was nicht sittenwidrig ist (§ 228 StGB). Maßstab für die

Chancen und die Risikobereitschaft des Einzelnen ist damit das Anstandsgefühl „aller billig und gerecht Denkenden“. Hier wird - ebenso wie bei dem Thema dieser Konferenz - vorausgesetzt, dass es einen einheitlichen Willen gibt, der über sämtlichen Gesellschaftsgruppen steht und allgemein verbindlich ist. Die Mehrheit der Rechtswissenschaftler geht mit dem Gesetzgeber davon aus, dass der Wille als Maßstab herangezogen werden kann: er ist zumindest als letzte Grenze der Handlungsfreiheit des Einzelnen so allgemeingültig und verbindlich, dass sich das Individuum diesem unterzuordnen hat. Trotzdem ist das Konzept der Sittenwidrigkeit umstritten [Küh18 Rn. 11]. Problematisch ist in praktischer Hinsicht, dass vom allgemeinen Konsens in konkreten Fällen oft zu wenig bleibt, um zur Problemlösung beizutragen. Die Sittenwidrigkeit liegt bei „objektiv verwerflichen Zwecken“ vor, etwa einer reinen Verstümmelung, nicht aber einer medizinisch indizierten Amputation [Düs97]. Die meisten Praxisfälle lassen sich jedoch nicht leicht kategorisieren. Heutzutage sind Cyborgs eine Vision, doch in Zukunft könnte es Alltag sein, technische Geräte als Ersatz oder Unterstützung für Organe und Körperteile zu implantieren. Wäre die Amputation einer gesunden Hand rein zum Zwecke des Austauschs mit einer Roboterhand momentan wohl eher als Verstümmelung zu werten (und die Operation nach der sittenwidrigen Einwilligung eine Körperverletzung), so könnte das Vorgehen in weiterer Zukunft zur Gewohnheit werden.

3 Haftung: Vom Hilfsgerät zur Robotik

Es zeigt sich, dass Risiken eher irrational betrachtet werden und teils hohe, lange bekannte Gefährdungen im Alltag kaum adäquat Beachtung finden. Im Zusammenhang mit neuen Technologien sind nicht nur keine konkreten Zahlen vorhanden, es ist nicht einmal eine Tendenz sicher: Das autonome Fahren birgt offensichtlich Risiken, es ist aber denkbar, dass der Straßenverkehr ohne den Faktor Mensch deutlich sicherer wird [Bec17, S. 44]. Insgesamt stellt der Einsatz von Robotik die Zurechnungsstrukturen des Rechts vor große

Herausforderungen. Dies liegt neben dem schwer zu prognostizierenden Risiko unter anderem daran, dass noch unklar ist, welche Pflichten die Beteiligten im Einzelfall haben. Für die Haftung und die Strafbarkeit des Handelns sind diese Voraussetzungen jedoch von herausragender Bedeutung. Es sind im Wesentlichen zwei Institutionen vorgesehen: Die handelnde Person kann vorsätzlich oder fahrlässig gehandelt haben. Für die Fahrlässigkeitshaftung muss die handelnde Person etwa das sogenannte „erlaubte Risiko“ überschritten haben, unabhängig davon, welche Hilfsmittel genutzt wurden.

Im medizinischen Alltag handelt es sich bei den aktuell gebräuchlichen Hilfsmitteln meist um rein unterstützende Technik, unabhängig davon, ob es sich um mechanische, elektrische oder elektronische Gerätschaften handelt. Entscheidend ist, dass die Handlung nach wie vor von dem Verantwortlichen ausgeführt und menschlich kontrolliert wird: ein Chirurg führt die Operation mithilfe des Skalpells aus; ein Physiotherapeut modelliert die Bewegungsabläufe mit mechanischen Hilfen.

Die Robotik wird dadurch charakterisiert, dass sie gerade nicht nur unterstützend wirkt, sondern teils autonom Handlungen übernimmt, also in einem bestimmten vorgegebenen Rahmen eigenständige Entscheidungen trifft und direkt ausführt, die sonst allein vom menschlichen Verantwortlichen ausgehen. Der Prozess basiert auf einer enormen Datenmenge, soll sich selbst an neue Situationen anpassen und aus Fehlern „lernen“. Dies ist für die grundlegenden Systeme des deutschen Rechts neu; auch die jeweiligen Anwender stehen vor allgemeinen und berufsbedingten Herausforderungen.

Im Folgenden sollen diese Überlegungen im medizinischen Kontext und mithilfe kleiner Beispiele beleuchtet werden. Hierbei wird jeweils zwischen dem Einsatz eines traditionellen Hilfsmittels und dem Einsatz von Robotik differenziert.

3.1 Das ärztliche Vorgehen

Ärzte handeln grundsätzlich zum Wohle des Patienten, doch gerade durch Operationen entstehen zusätzlich zu der schon vorhandenen Krankheit neue Risiken für die Gesundheit. Es drohen vielseitige Schäden oder auch der Tod des Patienten. In diesem Abschnitt soll erklärt werden, unter welchen Umständen der behandelnde Arzt für einen Schaden einstehen muss. Hierbei wird nach den klassischen Hilfsmitteln und dem Einsatz von Robotik unterschieden.

Traditionelle Technik

Nicht jede Verschlechterung der Gesundheit oder gar Tod eines Patienten kann dem behandelnden Arzt zum Nachteil gereichen, vielmehr muss er einen Fehler begehen, der zu dem eingetretenen Schaden führt, die sogenannte Pflichtverletzung. Sie kann auf verschiedenen Umständen beruhen und bezieht sich immer auf den konkreten Einzelfall. Grundsätzlich entscheidet der Arzt nach einer sorgfältigen Diagnose im ersten Schritt über die funktionelle Operabilität des Patienten und wählt dann sämtliche in Betracht kommende Behandlungen aus, etwa eine Standardoperation und eine alternative, noch nicht hinreichend erprobte Methode. Das neuere Verfahren ist einerseits erfolversprechender, jedoch wesentlich riskanter und (noch) nicht etabliert. Anschließend erfolgt ein angemessenes Informationsgespräch mit dem Patienten über Chancen und Risiken aller Behandlungsmöglichkeiten und der Option, keine der Maßnahmen in Anspruch zu nehmen. Es ist für den behandelnden Arzt schon bei klassischen Eingriffen anspruchsvoll, dem Patienten als medizinischen Laien in individuell angemessener Sprache die verschiedenen Varianten in einer angemessen inhaltlichen Tiefe zu erläutern. Bei noch nicht erprobten Verfahren muss zudem ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich um eine sogenannte Neulandmethode handelt [Bgh06]. Nach einer Bedenkzeit kann sich der Patient entscheiden, ob und in welche Methode er einwilligen möchte; diese wird im Anschluss mit sämtlichen Vor- und Nachuntersuchungen durchgeführt. Hier gibt

es kein „richtig“ oder „falsch“, der Patient hat die Freiheit, ein sehr hohes Risiko einzugehen oder „harmlose“ Eingriffe abzulehnen [Hil16, S. 18]. Als einzige Grenze verbleibt die Sittenwidrigkeit der Einwilligung, s.o.

Führt der Arzt nach einer ordnungsgemäßen Aufklärung die Operation fehlerhaft aus - etwa, weil er sich nicht an Standards hält - so begeht er eine Pflichtverletzung.

Robotik

Übernimmt ein Roboter die Operation teils oder vollständig, sodass der Arzt nur noch überwachend tätig ist - oder letztendlich gar nicht mehr vor Ort - kann sich schon die Aufklärung problematisch gestalten. Der Patient muss über die wesentlichen und vorhersehbaren Schritte informiert werden, um Risiken und Chancen abschätzen zu können. Dies gilt umso mehr, als es sich bei dem Einsatz von Robotik um ein Neulandverfahren handelt. Ist dieser Einsatz sogar sicherer als eine manuelle Operation durch den Chirurgen? Oder ist ein - nicht autonom handelndes - Assistenzsystem wie der „da Vinci Xi“ besser [Rdg18, S. 62]? Bei der autonom agierenden Robotik verbleibt zudem die Unsicherheit des Arztes, die Operationsschritte im Aufklärungsgespräch nicht genau darlegen zu können. Wenn Entscheidungen der Robotik schon Fachleuten nicht nachvollziehbar sind, so ist dies dem medizinischen Laien erst recht nicht möglich. Im Zusammenhang mit den selbst dazulernenden Fähigkeiten ist nicht klar, welche Daten hierfür herangezogen werden oder in welche Richtung sich die Entscheidungsmuster verändern. Technisch könnte hierfür ein gewisser Rahmen vorgegeben werden, der vom Arzt erläutert wird. Jedoch könnte dies die Entwicklungsmöglichkeit und Chancen stark einschränken - etwa die des unüberwachten maschinellen Lernens, die ohne im Voraus bekannte Zielwerte auskommt.

Wenn der Arzt schon nicht richtig über die Risiken und Chancen aufklärt und der Patient aufgrund einer falschen Risikovorstellung in die Operation einwilligt, so hat der Arzt unabhängig von einer fachgerecht ausgeführten Operation eine Pflichtverletzung begangen.

Doch auch wenn das Aufklärungsgespräch ordnungsgemäß durchgeführt wurde, verbleibt als Folgeproblem die Einwilligung des Patienten in den Eingriff. Die robotergestützte Operation darf nicht gegen die guten Sitten verstoßen, also das „Anstandsgefühl aller billig und gerecht Denkenden“ verletzen. Je neuer die eingesetzte Technologie ist, desto weniger wird sich dieser Konsens gebildet haben und bereits ermitteln lassen - wenn es ihn denn grundsätzlich und bei solch komplexen Inhalten gibt. Für den behandelnden Arzt ergibt sich hieraus eine große Unsicherheit, er kann sich etwa nicht gegen eine drohende Strafbarkeit versichern.

3.2 Haftung für eine „Handlung“

Eine Grundvoraussetzung für die Haftung aus Vorsatz und Fahrlässigkeit ist das menschliche Handeln. Hierbei ist die Beherrschbarkeit eines Vorgangs entscheidend.

Traditionelle Technik

Die Beherrschbarkeit ist (noch) gegeben, wenn der Arzt sich eines Geräts bedient, das er jederzeit durch seinen Willen steuert. Das Recht hat zwar noch weitere Instrumente zur Verantwortung von Schäden als die hier dargestellten: die Produkthaftung basiert etwa auf anderen Zurechnungsstrukturen. Sämtliche vorhandenen Haftungssysteme legen aber das menschliche Handeln zugrunde.

Robotik

Bei der Robotik kann die künstliche Intelligenz in dem vorgegebenen Rahmen eigenständige Entscheidungen treffen, die für den Anwender nicht nachvollziehbar sind. Die menschliche „Letztentscheidungskompetenz“ kann zwar technisch ohne weiteres realisiert werden, doch liegt das Potenzial der Robotik unter anderem darin, die „Fehlerquelle Mensch“ zu verringern (zum autonomen Fahren s.o.). Das Recht ist nicht darauf ausgelegt, dass die künstliche Intelligenz „handelt“ [Bor18].

Wenn eine Mobilisationsrobotik während einer manuell gestarteten Therapie eine Fehlfunktion aufweist und der Behandelnde die

Bewegungstherapie nicht beenden kann, so liegt zu diesem Zeitpunkt keine menschliche Handlung mehr vor.

3.3 Exkurs: Vorsatz

Dieser Artikel beschränkt sich auf die Verantwortlichkeit für vorsätzliches Handeln einer natürlichen Person, also etwa den Arzt.

Grundsätzliches

Dem Behandelnden muss etwa für die Verpflichtung zur Schadensersatzzahlung ein schuldhaft begangener Fehler nachgewiesen werden, der etwa den Tod eines Patienten zur Folge hatte: er kann vorsätzlich oder fahrlässig gehandelt haben.

Der Ursprung der Vorwerfbarkeit ist grundlegend verschieden, Vorsatz und Fahrlässigkeit können deshalb nebeneinander existieren. Wirft man dem handelnden Arzt bei Vorsatz etwa vor „Die Schädigung ist durch Ihre Handlung eingetreten, weil Sie den Tod des Patienten gewollt, ganz sicher gewusst oder zumindest billigend in Kauf genommen haben!“, so lautet der Vorwurf bei Fahrlässigkeit vielmehr „Sie haben die Schädigung zwar nicht gewollt oder billigend in Kauf genommen, Sie hätten sie aber verhindern können und müssen!“.

Robotik

Je weniger Kenntnisse der behandelnde Arzt von den Entscheidungen und Abläufen der ständig mit unbekannten Daten selbst weiterlernenden Robotik hat, desto schwieriger lassen sich die verschiedenen Vorsatzformen nachweisen. Was kann der Chirurg überhaupt noch sicher wissen oder billigend in Kauf nehmen? Als technischer Laie ist ihm eine genaue Einschätzung nicht möglich.

3.4 Probleme der Fahrlässigkeit

Typischerweise steht im medizinischen Kontext die Fahrlässigkeitshaftung im Vordergrund, schon ein einmaliger Verstoß kann empfindliche persönliche, berufliche und finanzielle Konsequenzen haben. Die Fahrlässigkeit ist definiert als die Außerachtlassung der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt. Um

dem Handelnden dies zur Last legen zu können, sind die Voraussehbarkeit und die Vermeidbarkeit des eingetretenen Erfolges unerlässlich. Im Zivilrecht, also meist für die Schmerzensgeldzahlung, reicht es, den objektiven Sorgfaltsmaßstab zu bestimmen; für das Strafrecht bedarf es noch einer individuellen Schuldfeststellung [Sta18 Rn. 23].

3.4.1 Zivilrecht

Für die zivilrechtliche Haftung muss ganz konkret herausgestellt werden, wie der behandelnde Arzt gehandelt hat und wie ein mit ihm vergleichbarer Personenkreis (etwa Chefärzte mit einem speziellen Facharzttitle und 20 Jahren Berufserfahrung) stattdessen oder darüber hinaus hätte handeln müssen: Was darf der Patient in der konkreten Situation als objektiven Maßstab erwarten?

Allgemeiner Maßstab

Erstens bezieht sich die im Verkehr erforderliche Sorgfalt allgemein auf die einzelne Situation, beispielsweise die Behandlung als solches: Wie bereits oben erwähnt, ist erst einmal ein Vorgehen nach dem aktuellen medizinischen Stand der Wissenschaft und der damit verbundenen Technik geschuldet. Sämtliche (Facharzt-) Standards, Leitlinien und DIN-Normen sind grundsätzlich zu berücksichtigen. Im Umkehrschluss heißt dies aber nicht, dass das Handeln im Einzelfall auf diese theoretischen Vorgaben beschränkt werden darf. Es kommt vielmehr immer auf den konkreten Einzelfall an. Wenn eine Leitlinie beispielsweise ein allgemeines Monitoring für den operierten Patienten verlangt, so wird der verantwortliche Arzt dieses anordnen bzw. ist dieses in der Routine ohnehin vorgesehen. Sind im Verlauf der Operation aber bereits Komplikationen eingetreten oder konkret zu befürchten, so sind (zusätzlich zu dem allgemeinen Monitoring) besondere Notfallmaßnahmen oder Untersuchungsmethoden angezeigt.

Zweitens kann der Patient objektiv die Einhaltung individuell vereinbarter Leistungen erwarten. Diese können den allgemeinen Standard umfassend erweitern oder auch erheblich einschränken. Hat der Patient etwa in eine

noch nicht erprobte, neue Behandlungsmethode eingewilligt, so schließt dieses Vorgehen ein standardisiertes Verfahren aus. Nachdem er bewusst von der üblichen Therapie abweicht, um seine Heilungschancen zu erhöhen, kann er dem behandelnden Arzt fehlende Standards nicht vorwerfen.

Gerade bei *neuen Technologien* fehlt es an verbindlichen Standards, Leitlinien oder Normen. Wie viel muss überwacht und gewartet werden? Welche autonomen Entscheidungen der künstlichen Intelligenz müssen unter welchen Umständen menschlich bestätigt werden? Zudem: Wenn der technische Fortschritt gewollt ist, so darf er nicht auf den Schultern derer ausgetragen werden, die die entsprechende Technik (teils mit erheblichen tatsächlichen Risiken, Investitionen und Unsicherheiten) einsetzen. Es könnte sich im Laufe der Zeit auch herausstellen, dass es gerade viel gefährlicher und damit fahrlässig ist, eine neue Technik nicht zu nutzen und stattdessen auf menschliche Akteure zu setzen. So sind ca. 85 % aller Unfälle im Straßenverkehr auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen [Bec17, S. 44]. Die Chancen des autonomen Fahrens sind hier enorm - es kann die Sicherheit aller Straßenverkehrsteilnehmer verbessern und Leben retten.

Vorhersehbarkeit

Die Vorhersehbarkeit kann auf zwei Arten realisiert werden: der Handelnde kann die eingetretene Schädigung bereits im Vorfeld vorhersehen, ohne sie jedoch mit der gebotenen Sorgfalt abzuwenden (bewusste Fahrlässigkeit). Alternativ wird die Schadensverwirklichung bereits nicht vorausgesehen und deshalb nicht abgewendet, es hätte aber bereits die Gefahr des Schadenseintritts gesehen werden können und müssen (unbewusste Fahrlässigkeit).

Schon bei den klassischen medizinischen Hilfsmitteln fällt es oft schwer, den Sorgfaltsmaßstab für den konkreten Einzelfall herauszuarbeiten. Es muss besonders beachtet werden, dass das Handeln der Personen aus ihrer Perspektive in dem jeweiligen Moment entscheidend ist und nicht weitere Erkenntnisse

im Nachhinein hinzugezogen werden, die in der Situation nicht verfügbar waren. Zudem droht den Gerichten als fachfremde Instanz grundsätzlich die Gefahr, kaum den Arbeitsalltag oder die gängige Praxis einschätzen zu können. Hierfür betraut es externe Sachverständige mit konkreten Fragen; nach einem schriftlichen Gutachten erläutern sie sämtliche Umstände im Zusammenhang mit dem jeweiligen Einzelfall.

Bezogen auf *robotische Geräte* ist die Unsicherheit enorm: Welche technische Fehlfunktion ist noch vorhersehbar? Diese Frage dürfte selbst für die involvierten Ingenieure und Informatiker schwer zu beantworten sein, weil es sich gerade um ein unvorhergesehenes Ereignis handelt.

Vermeidbarkeit des Schadens

Zudem müsste der eingetretene Schaden vermeidbar gewesen sein. Die Vermeidbarkeit ist hierbei nicht losgelöst zu betrachten, sondern insbesondere im Kontext mit der Erkennbarkeit der Gefährdung zu betrachten. Einen Anhaltspunkt für die Vermeidbarkeit bildet der Verstoß umso mehr, je herausgehobener die jeweilige Regel und je höher die Gefahr ist. Immerhin steigern solche Normen das Bewusstsein sowohl in Bezug auf die Erkennbarkeit, als auch die Vermeidbarkeit. Indizien für die Fahrlässigkeit bilden daher in besonderem Verhältnis Unfallverhütungsvorschriften, etwa DIN-Normen. Mit ihnen wird ein allgemeines Gefahrpotenzial gerade aufgezeigt, zumal an den Adressaten hier professionelle Maßstäbe anzulegen sind. Auch sind gleichermaßen die Dauer der Gefahrenlage und des Verstoßes heranzuziehen: mit der Dauer steigt die Erkennbarkeit der Schädigung, allerdings kann die Vermeidbarkeit dadurch abnehmen. [Gru16, Rn. 97]. Insgesamt sind bei der Beurteilung eine genaue Sachkenntnis und viel „Fingerspitzengefühl“ gefragt.

Die bereits genannten Probleme im Zusammenhang mit der *Robotik* setzen sich auch an diesem Punkt fort: Unfallverhütungsregeln bestehen für neue Technologien noch nicht, die Erkennbarkeit von Schäden ist gering, insbe-

sondere, wenn die Entscheidungen der Roboter insgesamt nicht menschlich nachvollziehbar sind.

Von der Einschätzung als Sorgfaltspflichtverstoß unabhängig kann der Handelnde aus anderen Gründen entschuldigt sein: bei zwei Notfällen kann er unter Umständen (nur) einen Patienten retten. Unabhängig von der Verantwortlichkeit des Einzelnen ist etwa die Frage, ob das Krankenhausmanagement dafür verantwortlich ist, etwa aus Kostengründen zu wenig Fachpersonal eingestellt zu haben (sogenanntes Organisationsverschulden).

3.4.2 Strafrecht

Im Strafrecht gelten die gleichen Anforderungen, hinzu kommt allerdings die individuelle Schuldfeststellung des Angeklagten, die eine essenzielle Grundvoraussetzung der Strafbarkeit darstellt. Es muss also nicht nur der objektive Sorgfaltsmaßstab für eine vergleichbare Berufsgruppe festgelegt werden, sondern auch die individuelle Vorhersehbarkeit und Vermeidbarkeit gegeben sein. Nur weil eine bestimmte Vergleichsgruppe abstrakt anders gehandelt hätte, heißt das nicht, dass der individuelle Mensch für sein davon abweichendes Verhalten strafbar ist. Nicht voraussehbar sind Ereignisse, die so sehr außerhalb aller Lebenserfahrung liegen, dass sie der Angeklagte auch bei den nach den Umständen des Falls gebotenen und ihm nach seinen persönlichen Fähigkeiten und Kenntnissen zuzumutenden sorgfältigen Überlegungen nicht zu berücksichtigen brauchte [Kb14 Rn. 70]. Gut denk-

bar ist hier wieder das Beispiel, dass das anwesende Personal in Notfällen nicht alle Patienten angemessen versorgen kann.

Im medizinischen Kontext wird besonders deutlich, dass der Umgang mit komplexer, *neuer Technologie* rechtlich problematisch ist: Was können Ärzte als technische Laien für Lebenserfahrung mit einer Technik aufweisen, die grundlegend anders funktioniert als bisher?

4 Fazit

Dass die aktuellen Entwicklungen in unmittelbarer Zukunft den Alltag der Menschen verändern werden, steht fest. Das geltende Recht ist jedoch (noch) nicht auf eine solche Vorgehensweise ausgelegt - Entscheidungen künstlicher Intelligenz sind grundlegend anders. Es gibt viele Akteure und Möglichkeiten, hierauf vielfältig zu reagieren, die größtmögliche Sicherheit vermag aber der Gesetzgeber zu schaffen. Nur er kann die Verantwortung mit vorhandenen Haftungssystemen verbindlich regeln oder zusätzlich neue, technikspezifische Normen einführen. Denkbar ist auch, in gewissen Gebieten bewusst auf eine Haftung zu verzichten - mit den Folgen für die gesamte Gesellschaft. Zudem muss intensiv geforscht, diskutiert und gestaltet werden, wie die Sorgfaltsmaßstäbe in der Zukunft aussehen könnten und sollten. Macht man sich bewusst, dass das Recht das gesellschaftlich Gewünschte abbildet, die gewollte Norm, so wird klar, dass die Verantwortung bei der Gesellschaft insgesamt liegt.

Literatur

- [Adf18] Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club Berlin e.V. Fakten-Überblick für Fahrradunfälle, Stand 16.03.2018.
<https://adfc-berlin.de/radverkehr/sicherheit/information-und-analyse/121-fahrrad-unfaelle-in-berlin-unfallstatistik/153-adfc-fakten-ueberblick-fuer-fahrradunfaelle.html>
- [Bec17] S. Beck: Selbstfahrende Kraftfahrzeuge – aktuelle Probleme der strafrechtlichen Fahrlässigkeitshaftung. In: Autonomes Fahren, S. 33-57, 2017.
- [Bor18] G. Borges: Rechtliche Rahmenbedingungen für autonome Systeme. NJW 2018, S. 977-982, 2018.
- [Bgh06] BGH, NJW 2006 S. 277-2479, 2006.
- [Düs97] OLG Düsseldorf, NstZ-RR 1997, S. 325-327, 1996.

- [Gru16] S. Grundmann in: Münchener Kommentar zum BGB, § 276 BGB. München: Beck 2016.
- [Hil16] E. Hilgendorf: Einführung in das Medizinrecht. München: Beck, 2016.
- [Idw97] Informationsdienst Wissenschaft. Pressemitteilung: Sind die Deutschen technikfeindlich. <https://idw-online.de/de/news1564>.
- [Kb14] C. Knauer, J. Brose in: Spickhoff Medizinrecht 2014, § 222 StGB. München: Beck 2014.
- [Küh18] K. Kühl in: Lackner/Kühl Kommentar StGB 2018, § 228. München: Beck 2018.
- [Pm18] Pflexit-Monitor der Paul Hartmann AG, Online Umfrage. <https://hartmann.info/de-de/wissen-und-news/2018/03/14/post-reporting-deutscher-pflegetag>.
- [Rdg18] Meldung: „100. Operation mit „da Vinci Xi“-Robotersystem durchgeführt“ in Rechtsdepesche für das Gesundheitswesen, Heft 2 2018, S. 62.
- [Sta18] A. Stadler in: Jauernig Kommentar des BGB, § 276. München: Beck, 2018.
- [Tr18] Technik Radar 2018. Studie: Was die Deutschen über Technik denken. https://www.koerber-stiftung.de/fileadmin/user_upload/koerber-stiftung/redaktion/technikradar/pdf/2018/Technikradar-2018_Langfassung.pdf
- [Völ10] K. Völker in der Süddeutschen Zeitung: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/bungee-unfall-wie-gefaehrlich-ist-bungee-jumping-1.450228>.

Alle Onlinequellen wurden zuletzt abgerufen am 13.09.2018.

Pitfalls of algorithmic control and their implications for support systems

Algorithmic control as a threat to accountability

C. Huber and T. Scheytt

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg,
Institut für Controlling und Unternehmensrechnung
huber@hsu-hh.de

Abstract

This paper explores the ambiguities of what we call algorithmic control. We review recent literature on the potential to use and abuse big data, machine learning and algorithms for organizational control. While we pay much attention to unintended effects of algorithmic control, our central thesis is that it is not inherently bad or evil. What is, however, specific about algorithmic control is that human influence on organizational control is reduced in favour of automation. Abuse can happen when such automation happens uncontrolled. The problem originates from an ill-considered change of accountability as soon as algorithmic control gains a momentum of its own. Hence we plea for a thorough consideration of the social consequences when designers of technical support systems decide upon the integration of algorithmic control mechanisms into technologies.

Kurzzusammenfassung

Fallstricke algorithmisierter Kontrollformen und ihre Implikationen für technische Unterstützungssysteme: Algorithmisierte Kontrolle als Gefahr für Verantwortungsstrukturen

Dieser Aufsatz setzt sich mit der inhärenten Ambivalenz von algorithmisierten Kontrollformen auseinander. Dazu fassen wir aktuelle sozialwissenschaftliche Literatur über die Möglichkeiten des Missbrauchs von Big Data und maschinellem Lernen zusammen. Obwohl wir hauptsächlich auf unerwünschte Nebenwirkungen von algorithmisierten Kontrollformen eingehen, verstehen wir diese nicht als inhärent böse oder schlecht. Spezifisch für algorithmisierte Kontrollformen ist, dass Kontrolle durch Menschen zugunsten von automatisierter Kontrolle aufgegeben oder durch sie ergänzt wird. Missbrauch ist dann eine Folge, wenn diese Automatisierung unkontrolliert passiert. Dabei ist eine unreflektierte Veränderung von Verantwortungsstrukturen möglich, sobald algorithmisierte Kontrolle eine Eigendynamik entwickelt. Wir plädieren mit diesem Beitrag für eine genaue Betrachtung der sozialen Konsequenzen, wenn entschieden wird, ob technische Unterstützungssysteme zur algorithmisierten Kontrolle genutzt werden sollen.

Keywords

algorithmic control, accountability, pitfalls, big data, machine learning

1 The pitfalls of algorithmic control

Technology can be a two-edged sword. It is empowering people and improving our lives' quality. At the same way, however, countless narratives exemplify that technologies intrude in our lives, can make it controllable and can put it under tough surveillance. Today, critics

highlight that the compelling story of digitalization, mediatization and algorithmisation are somewhat entering a final phase in which the individual as a concept as well as societies' institutions more and more drift into the background [Mau17]. But still, there seems to be a compelling business narrative of how big data,

machine learning, algorithms and organizational control can come together. It is a story which may be especially applicable to technical support systems and goes something like this: machines like a forklift are used in organizational processes such as organizing stocks. The machines can be fitted with data collection software to help the workers optimize workflow. For instance, the forklift can collect data and give its driver feedback about which route to take in the stocks building. Such a system could also know which package is on the forklift at a given moment and flash a red light when the worker attempts to move the package into the wrong space. The German discourse about “*Industrie 4.0*” would suggest that one could then collect the data to automatically calculate the optimal route for each forklift and then calculate the optimal organization of stock – one with no room for error because human intervention is minimized. Such stock management, despite high initial costs, would be the perfect solution for long-term cost minimization. The example is fictional, it relates, however, to a recent system implemented by Amazon [Yeg18, Wei18].

There is a downside to the business narrative of eliminating costs and human errors through big data and machine learning. Employees, subjugated to this ‘support/control’-technology, might experience this as a form of control similar to what “scientific management” has invented already 100 years ago. Around 1910 Frederick W. Taylor [Tay13] had the idea that the optimal workflow can be implemented by an analysis and optimization of every movement of the human body. The idea of the perfect worker was that of an ox – which was also the nickname of Taylor’s exemplar worker. Decades of organizational research have argued that minute optimization is the best approach for routine workflows. However, humans are not oxen and treating people like cogs in a wheel is both unethical and inefficient [Cle08]. Collecting data to optimize forklift pathways also means tracking the driver, each of his/her short breaks, each deviation from rules, each little conversation. And, from the machine’s point of view, there is no

difference between a break out of pure laziness, a break necessary to maintain focus, a break triggered by a talk to a supervisor to address a crucial safety hazard, or a break necessary to talk to colleagues about trouble with the machine’s data collection. Organizational research has however argued for more than three decades that the use of complex technologies depends not only on its understanding by its users, but very much on processes of sense-making among those users [Orr86, Lav91, Wei95].

This is where the new narrative of organizational control and big data, machine learning and algorithms becomes virulent and threatening. While in times of Taylorism, methods of “scientific management” had to be exerted by human beings – the ‘boss’ having an eye on her workers – controlling of employees can nowadays be based on forms of what we call *algorithmic control*. Routine data, like those collected by a ‘smart’ forklift can be used to put tight controls on employees, but also to collect data about their performance and mistakes, and finally to calculate incentives or punishments on that basis. For employees this would transform a nuisance into something endangering entire careers.

To be sure, the novelty of automated control does not lie in a new control model, but in the automatization of such forms of control. Through machine learning, evaluation can be automated, costs can be saved and the potential for human error reduced. At the same time, algorithmic control means a loss of all data which is based on human interaction, all which is not explicitly incorporated in the system design. It also means that control becomes something increasingly based on data and lesser on human judgment.

In the rest of this paper, we will, first, summarize some considerations about potential pitfalls coming from machines and machine control. Second, some pitfalls coming from humans and practices of human control are reviewed. Third, tentative conclusions for technical support systems are presented. Figure 1 summarizes the line of argument.

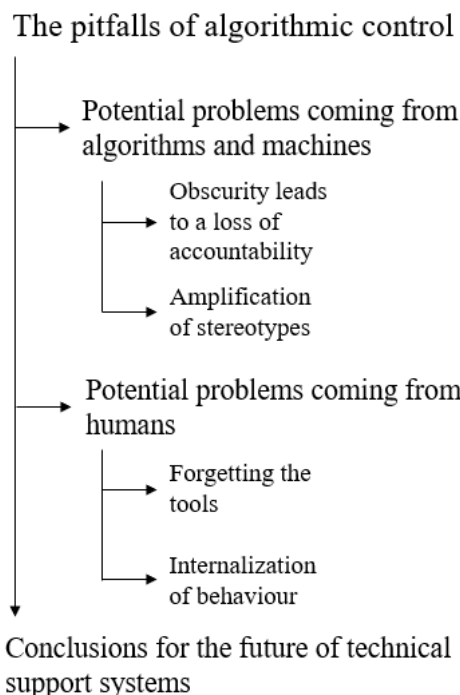


Figure 1: Structure of the argument

2 Potential problems coming from algorithms and machines

Only in the last years social theories on organization and management focused on the power of algorithms and machine learning. From a management perspective, algorithms are a useful tool to automate routine decision making with the benefit of superhuman speed. Examples include financial transactions for investment banks, credit score rating for retail banks, travelling planning optimization for logistics, and calculating targeted marketing efforts based on customer behaviour for retailers. Proponents have argued that “[a]lgorithms run nearly every aspect of our lives” as the blurb of works like “The Master Algorithm” inform us [Dom13]. The actual monetary benefits of algorithmic decision making are usually argued through their high speed and its potential to be automated. Sometimes, however, that speed comes at a cost. When actress Anne Hathaway was confirmed to host the 83rd Academy Awards (the Oscars) in 2011, the stock prize of Warren Buffett’s holding company Berkshire Hathaway Inc. rose, simply because algorithms had found that twitter and other media mentioned the word Hathaway more often than usual and automatically

bought stock [Mir11, All10].

Critics of algorithms have argued that the problem of algorithms are not only some isolated bad decisions as in the Hathaway case. Notable commentators such as Frank Pasquale have argued that algorithms make decisions in ways which cannot be fully understood by humans anymore [Pas15]. This includes the programmers of algorithms, especially in the case of machine learning. Machine learning occurs when algorithms are used to make algorithms continuously refine their interpretations of data [Dom13]. Such learning can take different technical forms. What unites them, according to Pasquale, is the obscurity they produce [Pas15]. Machines learning from machines means that it becomes effectively impossible for humans to explain how machines come to their conclusions. When IBM’s Watson software beat the human champion at *Jeopardy!*, that illustrated both the power of machine learning and that humans do not necessarily need to know how a machine reaches its conclusions to be suitably impressed.

The problem with the obscurity of algorithms and machine learning is not a technical but a social one. It relates to accountability and processes of accountabilization. High-speed decisions combined with illegible decision-making can practically result in damages like the flash crash in 2010 in which two algorithms entangled, resulting in the second-largest single day drop in the history of the US stock exchange [Kir17]. In principle, having insufficient knowledge about how algorithms make important decisions results in the same accountability problem as when humans make important decisions without public knowledge. The difference, however, is that high level algorithms make it virtually impossible to understand the decision-making or find anybody to blame.

The absence of accountability in decision-making is a moral problem in its own right. There is, in addition to the matter of principle, evidence that decision-making based on algorithms and machine learning has led to substantial problems. O’Neil has argued that automated decision-making leads to two kinds of

problems: negligence of what cannot be counted and the amplification of stereotypes [ONe16]. The first problem, the *negligence of the unmeasurable*, echoes something critical accounting scholars have argued for a long time (e.g. [Mes07, Pow04]). Some things are easier to measure and thereby it is tempting to measure what is easily measurable, rather than what is important. O’Neil illustrates this with reference to school teachers who are automatically evaluated based on performance data. Since statistical data like the number of failed students is easy to count, it is important for calculating teacher scores used in Washington D.C., USA. Other things which may be important for the evaluation like the quality of student-teacher interaction on a personal level are more difficult or impossible to count. As a consequence these aspects are not included in calculating teacher scores. The result can be, as individual examples from Washington show that teachers who are popular with students and colleagues are fired [ONe16]. The usual solution in terms of measurement is the use of proxies. But such proxies are taken for something which they are not. Examples include student questionnaires to evaluate teaching quality (see also [Sch18]) or counting the number of sick days to assess staff motivation. The problem with proxies is known in social theories on control as Goodhart’s law – one of the few times social scientists dare to speak of laws. The original formulation reads, „Any observed statistical regularity will tend to collapse once pressure is placed upon it for control purposes“ [Goo75]. In other words: when humans know that they are being measured they adapt their behaviour to the measure and optimize their performance in relation to the (proxy) measure, rather than to the actual object or dimension. When sick days are used to calculate motivation and monetary incentives are attached, people will find ways to game the system, in this case e.g. through making sure few sick days are counted – while still lacking motivation. As a result, proxies cannot make the immeasurable measurable, at least not when human behaviour intervenes, but proxies have the potential of distorting the originally

assumed control model. In sum, through proxies or not, algorithmic decision-making is skewed towards what can be easily measured rather than what is actually important.

The second problem of algorithmic decision-making O’Neil identifies concerns the *amplification of stereotypes* [ONe16]. When algorithms are used to make sense of large masses of individual data, the most obvious strategy is to sort individuals in classes. Teacher evaluations in Washington work like this, but even better examples are credit score ratings. Credit card companies or the “Schutzgemeinschaft für allgemeine Kreditsicherung” (Schufa), a German credit bureau, collect data about the paying behaviour of individuals, the bills they pay or not, the repayment of loans and the like. For banks to know how risky it is to lend a given sum of money to individuals, they rely on such data and the resulting rating of individuals. Sorted into classes, default likelihood is calculated and an appropriate margin is demanded for lending to each class of individuals. Famously, good predictors for paying off debt on time include not only past debt paying behaviour but also other factors such as zip-code as a proxy for socio-demographic circumstances or the level of education [Fou13]. The problem with such factors is their performativity, i.e. that they intervene in social structures, which they are actually just aimed to map. For example, if you live in a poor neighbourhood you get a low credit score, making it harder to get money to invest in education, lowering your credit score, moving you towards a low income job, again lowering your credit score, necessitating a high mortgage to buy a flat, yet again lowering your credit score while also making sure you accumulate substantial debt. The problem with such mechanisms is that they are *per se* irrational and result in what social scientists call statistical discrimination, and that they have dubious social consequences. To classify people, algorithms rely on stereotypes, which they more or less visibly amplify.

O’Neil also gives examples for cases in which both problems, the focus on what can be counted and the amplification of stereotypes

come together. In some states of the USA, the police draws on software solutions which tell police patrols in which areas they will most likely prevent crimes. Data supports that such systems successfully increase the number of solved and prevented crimes. On closer examination, however, the software does well with regard to crimes which can be most easily measured: blue collar crimes such as petty theft or the use of soft drugs like cannabis. White collar crimes, like investment fraud, or severe crimes like murder are notoriously difficult to predict, and in the case of business crime, difficult to detect – at least in comparison to searching a person for cannabis. The result is that such policing software steers police patrols into poor neighbourhoods, often into Black or Hispanic communities. Since the police is told to look for what is easy to find, they find a lot of petty crimes which supports the stereotype that communities with people of colour are more prone to crime. The categories Black or Hispanic are then good predictors for higher crime rates. In effect, policing systems produce a form of algorithmic racism [ONe16].

To sum it up: Technical systems undoubtedly have the potential to enable new forms of automated and algorithmic forms of control. Nowadays, technical systems allow collecting huge amounts of data, and thereby help evaluating performance on a statistically sound basis. This might be seen as an improvement to control practice, both business-wise and in moral and ethical terms, as the precision of measurement and the fairness of judgment might increase. But we also have to acknowledge that such control practices might be accompanied by distorting effects, like the concentration on the measurable and the amplification of stereotypes. Technical systems, however, are somewhat socially ignorant, hence cannot be blamed for the distorting effects once new forms of algorithmic control intervene in social realms and change structures of accountability and practices of responsabilization. It is not only the nature of data collection techniques or the logic of automated

evaluation that establishes forms of algorithmic control. Rather, we also have to focus on human behaviour, and the ways in which technical and behavioural factors interact when analysing the potential impact of algorithmic control on accountability.

3 Potential problems coming from humans

There is a substantial body of literature which has explored how humans behave when they are confronted with machines or tools (for a review see [Suc07]). Among the effects described in this literature, two are of relevance for our topic: the tendency to forget tools once they are used and the behavioural changes resulting from the knowledge of being observed. Similarly, organizations are forgetful of their use of technologies, as social theories of technology and its impact on organizations regularly argue.

Suchman [Suc07] argues that individuals, but also organizations are forgetful to such a degree that not only a technology as an intervening factor is overlooked but also the fact that organizational practices are pre-defined, delimited and / or enabled by specific technologies. Modern technical support systems are in this sense much like a blind person's walking cane. The walking cane is a famous philosophical example used by the likes of Heidegger or Ricœur: When handing a blind person a walking cane and asking her to describe it, the person will be actively aware of the cane's physical properties (length, hardness, etc.). Once the cane is used for its purpose, however, it is forgotten. When the blind person uses the cane she will sense where the ground, obstacles and so on are. The properties of the cane itself drift to the back [Suc07]. Likewise, data infrastructures are technical systems, whose character is not steadily perceived as a tool in its nature. For example, the opt-in/opt-out choice of consent to using individual data confuses legal and lived reality. Protecting data legally is undoubtedly important. For individuals, however, even when they are factually aware about how their data are used, this does not necessarily lead to implications for behaviour. The

thesis is simple – once something is used for a purpose, the enabling thing is drifting out of focus – but the implications are more complicated: even when consciously opting in, the consequences of such an agreement are likely to be soon forgotten. Think of the last terms & conditions you clicked to accept on a website and try to remember now what the website told you about how your data were handled.

The thesis that the instrument which produces data is easily forgotten sounds at first at odds with a staple of social theory. Foucault's insight is that people adjust their behaviour when they know that they are observed [Fou76]. His famous example was an 18th century prison, whose architecture enabled wardens to survey each of the prisoners' moves, which prompted prisoners to internalize the threat of being surveyed. Hence, even when the prisoners did not know whether they were surveyed or not, they anticipated potential consequences and adjusted their behaviour to avoid sanctions. This point resonates strongly with critiques of mass surveillance as it suggests that surveillance does not record social behaviour as it is but actively influences it [Lyo18]. While Foucault's examples may be historical, the vision of total surveillance is astonishing similar between 18th century prison designers and contemporary advocates of the use of big data. Put against the forgotten instrument thesis, the question is: if the method of surveillance is forgotten, why should behaviour change?

In both cases, the problem is that something is forgotten: the tool which caused the behavioural change and the behaviour before the change. In this sense, the two theses do not contradict each other but mutually reinforce that alternatives to yielding to algorithmic control become more difficult to consider. Again, the problem is not that people change their behaviour *per se* but that there is no accountability for controlling human behaviour – to the point that even those who are controlled do not remember being controlled.

4 Conclusions for the future of technical support systems

When looking at the implications of the above considerations for technical support systems, one immediately realises that technical support systems can be incredibly diverse. There are technical support systems which already exert elaborate forms of algorithmic control, such as Amazon's stock sorting support system mentioned at the beginning. Then there are those which collect big data and evaluate it like IBM's Watson healthcare systems – but are not aimed at controlling employees. For yet others, we know that they collect data – like electronic tooth brushes which tell your smartphone to tell you where you still need to brush your teeth – in this case we do not know if they evaluate the data. Then there are systems which do not yet produce active data but for which there is a possibility to do so – examples include most current exoskeletons. Finally, some technical support systems cannot actively produce data – like a screwdriver.

Our argument is relevant for those technical support systems which already actively produce and collect data and those for which that may be a tempting idea.

We argue that reflections on such systems against the backdrop of social theories in not only an intellectual endeavour but an ethical imperative. Admittedly, contextual factors like (organizational) cultures, the proneness to technology among people or regulatory frameworks might influence the usability and perceived legitimacy of algorithmic control. In any case, technologies that enable algorithmic control practices and the social context in which they are employed are interdependent, and so the utilization of algorithmic control is not only a technical, but also a social and ethical issue.

While the main body of our text focussed on unintended consequences of algorithmic control, we actually propose a more nuanced position. Much of the discourse about big data and machine learning has been caught in the either-or trap: either everything is good and algorithmic control will make the future of busi-

ness great, or everything is bad and algorithmic control will enslave workers. Rather than subscribing to either side, our reflections offer a package leaflet for the future or algorithmic control of technical support systems.

We have outlined four core pitfalls of algorithmic control: i) the potential loss of precision in judgment through obscure (automated) decision-making, ii) the amplification of stereotypes when evaluating big data, iii) the tendency of humans to forget the properties of the tools once they are used, and iv) the internalization of knowing that one is being observed. We suggest that for each technical support system each of these four pitfalls should be kept in mind when making the conscious decision whether or not to integrate algorithmic control into technical support systems.

The implication of this check-list of pitfalls is that one should not be tempted by euphemistic business discourses, like the one that algorithmic control will necessarily be an improvement to other forms of control. Rather, like any management approach, algorithmic control comes with strengths and weaknesses, benefits and pitfalls. Knowing this, it is the task of decision-makers to take care to make responsible and transparent uses of data and move beyond the naïve idea that collecting data is an innocent activity. It is our hope that when the pitfalls of algorithmic control are heeded, technical support systems can benefit from the upsides of the new world of data: helping workers do their job, helping organizations staying profitable, and making lives better.

Literatur

- [All10] T. Alloway: The rise of the news reading machines. In: Financial Times Alphaville, 26.10.2010 [<https://ftalphaville.ft.com/2011/03/28/528481/for-the-bots-anne-hathaway-is-not-warren-buffett/>; last access: 28.08.18].
- [Cle08] S. Clegg, M. Kornberg and T. Pitsis: Managing & organizations: an introduction to theory and practice. 2nd ed., London [u.a.]: Sage, 2008.
- [Dom13] P. Domingos: The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine will Remake our World. New York, NY: Basic Books, 2013.
- [Fou13] M. Fourcade and K. Healy: Classification Situations: Life-chances in the neoliberal era. In: Accounting, Organizations and Society, Vol. 38(8), S. 559-572, 2013.
- [Fou76] M. Foucault: Discipline and Punish. London: Allen Lane, 1976.
- [Goo75] C.A.E Goodhart: 'Monetary Relationships: A View from Threadneedle Street' in Papers in Monetary Economics, Vol. I, Reserve Bank of Australia, 1975.
- [Kir17] A. Kirilenko, A. S. Kyle, M. Samadi, T. Tuzun: The Flash Crash: High Frequency Trading in an Electronic Market. In: Journal of Finance. Vol. 72(3), S. 967-998, 2017.
- [Lav91] J. Lave and E. Wenger: Situated Learning: Legitimate Peripheral Action. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [Lyo18] D. Lyon: The Culture of Surveillance: Watching as a Way of Life. Cambridge: Polity Press, 2018.
- [Mau17] S. Mau: Das metrische Wir: Über die Quantifizierung des Sozialen. Frankfurt am Main: edition suhrkamp, 2017.
- [Mes07] M. Messner, T. Scheytt and A. Becker: Controlling und die (Un-)Berechenbarkeit des Managements. In: A. Mennicken and H. Vollmer (Hrsg.): Zahlenwerk: Kalkulation, Organisation und Gesellschaft. Wiesbaden: VS – Verlag für Sozialwissenschaften, S. 87-104, 2007.
- [Mir11] D. Mirvish: The Hathaway Effect: How Anne Gives Warren Buffett a Rise. In: The Huffington Post, 2011 [https://www.huffingtonpost.com/dan-mirvish/the-hathaway-effect-how-a_b_830041.html; last access: 28.08.2018].
- [ONe16] C. O'Neil: Weapons of Math Destruction. New York, NY: Penguin, 2016.

- [Orr86] J. E. Orr: Talking about Machines: An Ethnography of a Modern Job. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1986.
- [Pas15] F. Pasquale: The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information. Harvard, Harvard University Press, 2015.
- [Pow04] M. Power: The Risk Management of Everything: Rethinking the Politics of Uncertainty. London: Demos, 2004.
- [Sch18] T. Scheytt: Die Disziplin des Rankings: Anmerkungen zu den methodischen Grundlagen des Qualitätsmanagements in Hochschulen aus Sicht der Critical-Accounting-Forschung. In: Benjamin Ditzel u.a. (Hrsg.): Forschungsperspektiven auf Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement in Hochschulen. München/Mering: Hampp, 2018 [in Druck].
- [Suc07] L. Suchman: Human-machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions. 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [Tay13] F. W. Taylor: The Principles of Scientific Management. New York: Harper, 1913.
- [Wei18] G. Weishaupt: Armbänder für Angestellte: Amazon will jeden Handgriff seiner Mitarbeiter überwachen. In: Handelsblatt online, 2018 [https://archiv.handelsblatt.com/document/HBON__HB%2020921234; last access: 28.08.18].
- [Wei95] K. Weick: Sensemaking in Organizations. Thousand Oaks, CA, u.a.: Sage, 1995.
- [Yeg18] C. Yeginsu: Track Hands Of Workers? Amazon Has Patents for It. In: New York Times, Feb 2nd, S. B3, 2018.

Nutzerevaluation von Assistenzsystemen für die industrielle Montage

M. Funk¹, M. Hartwig¹, N. Backhaus¹, M. Knittel² und J. Deuse²

¹ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Human Factors, Ergonomie
Funk.Miriam@baua.bund.de, Hartwig.Matthias@baua.bund.de,
Backhaus.Nils@baua.bund.de

² Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund
Marco.Knittel@ips.tu-dortmund.de, Jochen.Deuse@ips.tu-dortmund.de

Kurzzusammenfassung

Um die Reaktionsfähigkeit der Unternehmen auf die zunehmenden Marktschwankungen sicherzustellen, spielt der flexible Mitarbeiterinsatz in der industriellen Montage eine entscheidende Rolle. Die steigenden Komplexitäts- und Flexibilitätsanforderungen werden dabei zunehmend durch mobile Assistenzsysteme aufgefangen, die die erforderlichen Tätigkeitswechsel algorithmengestützt überwachen und dem Mitarbeiter in Echtzeit mitteilen. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen einer experimentellen Probandenstudie ein statisches und ein mobiles Assistenzsystem zur Aufgabensteuerung in ihrer jeweiligen Wirkung auf die Leistung und einzelne Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung miteinander verglichen. Dabei wurden für das mobile System weder negative Leistungs- noch Akzeptanzeffekte aber signifikant höhere Einschätzungen zur Gebrauchstauglichkeit und hinsichtlich des Vertrauens durch die Probanden festgestellt.

Abstract

Evaluation of Assistance Systems in Industrial Assembly

In order to ensure companies' responsiveness, the flexible assignment of employees in industrial assembly plays a crucial role due to increasing market requirements. One way to compensate the related rise in complexity and flexibility of work requirements is the use of mobile assistance systems, which coordinate and support the employees in terms of job rotation. In a laboratory study, we compared the effects of a static and a mobile task management system on performance and on aspects of humane working conditions. No negative effects, neither on the performance nor on the acceptance was found by the users. Usability and trust towards the assistance were rated higher for the mobile system.

Keywords

Assistenzsystem, Gebrauchstauglichkeit, Vertrauen, Akzeptanz, Arbeiten 4.0

1 Einleitung

Der zunehmende Einsatz digital vernetzter Technologien in der industriellen Produktion führt neben steigenden Automatisierungstendenzen auch zu weitreichenden Veränderungen der Produktions- und Marktbedingungen: Die Möglichkeiten agiler Produktion und die Orientierung an zunehmend individuelleren

Kundenwünschen führt zu immer kleineren Losgrößen bis hin zur Losgröße 1. Durch die stetig wachsende Produktvielfalt bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Produktivität und Produktqualität verändern sich die Anforderungen an die Unternehmen zunehmend. Dieser Prozess wird durch die steigenden Reifegrade und sinkenden Preise digitaler Technologien nicht nur realisiert, sondern auch immer weiter

vorangetrieben [Lot12]. Dies resultiert in erhöhten Flexibilitäts- und Komplexitätsanforderungen, die sich bis hinunter auf den Shopfloor ziehen und die Arbeitsbedingungen der Beschäftigten nachhaltig verändern. Denn trotz der mit der Digitalisierung einhergehenden Substitutionsprozesse bleibt der Mensch mit seiner Arbeitskraft auch zukünftig entscheidender Erfolgsfaktor bei der Bewältigung der neuen Herausforderungen. Zentrale Aufgabe der Arbeitswissenschaft ist es, diesen Wandel menschengerecht zu gestalten, indem Risiken neuer Technologien frühzeitig korrigiert und Chancen für gute Arbeit gezielt gefördert werden.

1.1 Wandel der Arbeitsbedingungen in der industriellen Montage

Die Montage stellt nicht nur einen wesentlichen Bestandteil, sondern auch zentralen Wertschöpfungsfaktor der industriellen Produktion dar. Auch hier sind trotz steigender Tendenz zur Automatisierung manuelle Tätigkeiten nicht wegzudenken [Wei08]. Dies ist nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass sich Effizienz- und Kostenvorteile automatisierter Lösungen erst mit steigender Stückzahl realisieren lassen. Der derzeitige Trend zur Klein- und Kleinstserienfertigung sowie die steigende Variantenvielfalt und Komponentenzahl führt zu einem Anstieg der Bedeutung manueller Montageprozesse und der damit verbundenen Arbeit. Um die Reaktionsfähigkeit der Unternehmen auf die zunehmenden Marktschwankungen sicherzustellen, spielt der flexible Mitarbeitereinsatz speziell in der Montage eine entscheidende Rolle – und damit auch die Flexibilität der Mitarbeiter selbst [Spa13]. Die resultierende Anreicherung und Erweiterung des Aufgabenspektrums wird dabei zunehmend durch Assistenzsysteme unterstützt, die beispielsweise koordinierende Aufgaben übernehmen. So können erforderliche Tätigkeitswechsel durch Algorithmen überwacht und den Mitarbeitern in Echtzeit mitgeteilt werden. Solche Systeme können dabei ambivalente Auswirkungen auf die Leistung und Gesundheit der Beschäftigten haben. Um die Chancen dieser Entwicklungen, etwa im

Sinne eines Job Enrichment und Job Enlargement zu nutzen und sicherzustellen, dass die Assistenzsysteme nicht selbst zum Risikofaktor werden, sind die Auswahl und die Gestaltung der zum Einsatz kommenden Assistenz von zentraler Bedeutung.

1.2 Einsatz und Gestaltung von Arbeitsassistenten

Neben der physischen Unterstützung, die sich mit der Reduzierung körperlicher Belastungen und der gleichzeitigen Aufrechterhaltung der Ausführbarkeit der Arbeitsaufgaben befasst [Rei13], rücken informatorische Assistenzsysteme auch in der industriellen Montage mehr und mehr in den Mittelpunkt der Betrachtung. Deren Einsatz als statisches System, etwa in Form eines Informations- bzw. Statusmonitors, ist in vielen Unternehmen schon seit längerem Stand der Technik. Ziel dieser Systeme ist es, durch die Filterung und Verarbeitung von Informationen die Effizienz der Arbeitsprozesse zu steigern und zur erfolgreichen Bewältigung der Komplexitäts- und Flexibilitätsanforderungen beizutragen. Eine neue Entwicklung ist in diesem Zusammenhang die Verwendung mobiler Systeme, sog. Smart Devices. Deren Einsatz, insbesondere in Form von Wearables, bietet für die industrielle Produktion neue Potentiale: Durch das Tragen am Körper erlauben diese Technologien trotz ihres mobilen und individuell abgestimmten Einsatzes das freihändige Arbeiten bei gleicher Funktionalität.

Mobile Assistenzsysteme bieten dabei vor allem einen Mehrwert für die flexible Bereitstellung von Informationen unabhängig vom Aufenthaltsort oder Blickrichtung der Person. Damit sind mobile Assistenzsysteme besonders dort einzusetzen, wo Informationen kontextsensitiv, also spezifisch auf Zeitpunkt und Situation zugeschnitten und dargestellt werden sollen. Diese Form der Informationsbereitstellung setzt voraus, dass die Beschäftigten prinzipiell jederzeit Zugang zu den erforderlichen Informationen haben müssen, was sich bei einer ortsveränderlichen Aufgabe nur durch mobile Assistenzsysteme gewährleisten lässt.

Hierbei kommen in der praktischen Umsetzung vornehmlich Smart Glasses oder Smartwatches zum Einsatz. Letztere eignen sich in besonderem Maße für die Nutzung in der industriellen Montage: Zum einen bedingt der enorme technologische Fortschritt der letzten Jahre die zunehmende Robustheit der Hardware und die steigende Akkulaufzeit bei gleichzeitig sinkenden Preisen. Dadurch ist das Investitionsvolumen geringer als bei Alternativtechnologien mit ähnlichen Einsatzmöglichkeiten. Auf der anderen Seite verfügt die Smartwatch durch ihre einfache und intuitive Bedienbarkeit über das Potential für eine hohe Gebrauchstauglichkeit. Wird das gewählte Assistenzsystem dagegen als unnötig komplex oder ineffizient wahrgenommen, verringert sich neben der Leistung auch die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit. Über einen längeren Zeitraum kann dies Auslöser für technologieinduzierten Stress sein, der wiederum negative Folgen für die psychische Gesundheit haben kann [Sel14]. Auch die Möglichkeit, neben der akustischen und visuellen Interaktion haptische Signale zu senden, kann die wahrgenommene Effizienz des Systems positiv beeinflussen. Assistenzsysteme können ihre entlastenden Potentiale allerdings nur bei Passung in das Gesamtarbeitssystem aus Nutzer, Arbeitsaufgabe und Arbeitsumgebung realisieren. Wesentlicher Indikator für diese Passung der Assistenz ist die Nutzerakzeptanz. Diese hat dabei nicht nur einen wesentlichen Einfluss auf die zielführende Verwendung, sondern auch auf die erfolgreiche Einführung neuer Technologien. In diesem Zusammenhang kommt neben der Einfachheit der Nutzung und der Qualität der Zusammenarbeit mit dem System, dem wahrgenommenen Nutzen der Anwendung insgesamt eine entscheidende Bedeutung zu [Kim15; Gör17]. Eng mit dem wahrgenommenen Nutzen und der Akzeptanz verbunden ist das vom Nutzer entgegengebrachte Vertrauen in die Technologie, da dieses eine reibungslose Anwendung erst ermöglicht. Die Nichtbenutzung und auch der Missbrauch neuer Technologien werden insbesondere in komplexen und dynamischen

Arbeitsumgebungen durch fehlendes Vertrauen der Anwender beeinflusst [Lee04]. Da Smartwatches nicht nur im industriellen Umfeld anzutreffen sind, sondern auch im privaten Kontext Anwendung finden, ist die Bekanntheit dieser Technologie und das Wissen um ihre Funktionalität weiter verbreitet als bei alternativen Assistenzsystemen. Aus dem steigenden Absatz im Konsumentenmarkt lässt sich außerdem auch ein Anstieg der Akzeptanz und des Vertrauens vermuten. Letztlich ist auch der Einfluss der Assistenz auf die Leistung zu berücksichtigen.

2 Probandenstudie

Im Rahmen einer experimentellen Laborstudie wurden die Auswirkungen zweier Assistenzsysteme zur Informationsbereitstellung für die industrielle Montage sowohl auf objektive Leistungsparameter als auch auf die subjektiven Parameter der Nutzer betrachtet. Zur empirischen Überprüfung der Wahrnehmung von Smartwatches wurde der Fokus auf die oben aufgeführten Aspekte der Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz sowie auf das Vertrauen gelegt. Zusätzlich wurden als objektive Leistungsparameter die Arbeitsgeschwindigkeit und die Arbeitsqualität erfasst.

2.1 Versuchsgestaltung

Im Rahmen der Studie wurden ein stationärer, ca. 60 Zoll großer Statusmonitor und eine am Körper getragene mobile Smartwatch als Arbeitsassistenten prototypisch in einem Mehraufgabenparadigma vergleichend gegenübergestellt. Dabei wurde die Gestaltung der Informationsanzeige bewusst kurz und einfach gehalten und fiel für beide Medien identisch aus. Die zu bewältigende Arbeitsaufgabe wurde in Anlehnung an die Arbeit in der Automobilindustrie kreiert. Diese zeichnet sich durch einen hohen Anteil manueller Montageprozesse und gesteigerter Flexibilitätsansprüche durch die hohe Varianz der Endprodukte aus [Dör13]. Durch die Einbeziehung dieser Faktoren griff die Versuchsaufgabe direkt die oben aufgeführten, aktuellen Wandlungstendenzen auf. Die Aufgabe setzte sich aus vier unterschiedlichen Teilaufgaben zusammen, wobei die

Hauptaufgabe in einer manuellen (End-) Montagetätigkeit bestand. Diese umfasste das Fügen und Verschrauben von verschiedenen Komponenten, die in Abbildung 1 zu sehen sind.

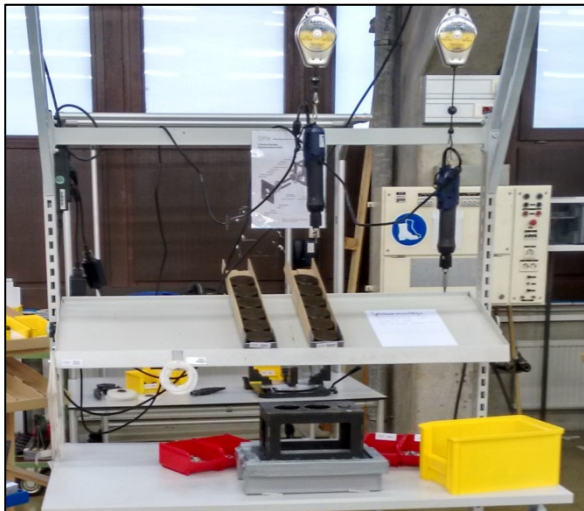


Abbildung 1: Manueller Montagearbeitsplatz der Hauptaufgabe

Die Montage musste dabei für die Bewältigung von verschiedenen Nebentätigkeiten unterbrochen werden. Dazu gehörte eine Vormontagetätigkeit, die im Vergleich zur Hauptaufgabe das Fügen von kleineren Komponenten umfasste und dadurch den Einsatz von feinmotorischen Fähigkeiten erforderte. Des Weiteren wurde an einem benachbarten Bildschirmarbeitsplatz eine Sichtprüfaufgabe simuliert, die die Befundung von Bauteilen umfasste. Als letzte Teilaufgabe wurde eine Materialbereitstellung nachgebildet, die mit längeren Laufwegen verbunden war. Hier sollte für einen anderen Arbeitsplatz aus einem Regalsystem Material nach bestimmten Vorgaben kommissioniert werden.

Zur Erhebung der subjektiven Daten wurde ein Set aus zum Teil validierten Fragebögen eingesetzt. Dabei handelte es sich in Bezug auf das Vertrauen um die Trust-Scale, bei der auf einer vertikalen Linie der Grad des Vertrauens in das verwendete Assistenzsystem von „kaum“ bis „sehr stark“ angegeben werden musste [Wic14]. Zur Ermittlung der Technikakzeptanz wurde der Fragebogen zum Technology Acceptance Model (TAM) mit 6

Items und einer Skala von 1 „Stimmt nicht“ bis 5 „Stimmt sehr“ verwendet. Dabei wurden die Einfachheit der Nutzung, die Qualität der Zusammenarbeit und der wahrgenommene Nutzen des Systems ermittelt [Dav89]. Die Gebrauchstauglichkeit wurde mit Hilfe einer Teilskala des User Experience Questionnaire (UEQ) erfasst. Diese umfasste 4 Gegensatzpaare von Eigenschaften, die auf das Assistenzsystem zutreffen können. Dabei wurde auf einer Abstufungsskala mit 7 Stufen von -3 über null bis 3 etwa danach gefragt, ob das Assistenzsystem als störend oder unterstützend empfunden wurde [Lau06]. Außerdem wurde neben demografischen Angaben ein selbsterstellter Fragebogen mit 4 Items zur Vorerfahrung mit handwerklichen Tätigkeiten als Kontrollinstrument verwendet. Dieser fragte etwa nach dem handwerklichen Geschick der Probanden und war in seiner Gestaltung an den TAM angelehnt. Als weitere Kontrollvariable wurde die Technikaffinität herangezogen, die mit Hilfe der Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale erhoben wurde. Diese bestand ebenfalls aus einer 5-stufigen Skala und setzte sich aus 9 Items zusammen. An Hand der Skala wurde beispielsweise danach gefragt, ob sich die Probanden gerne genauer mit technischen Systemen beschäftigen [Fra18].

2.2 Durchführung der Studie

Insgesamt nahmen N=49 Probanden an der Studie teil. Diese haben in zwei aufeinander folgenden Durchgängen, unterstützt durch jeweils eines der gewählten Assistenzsysteme, die oben beschriebene Arbeitsaufgabe ausgeführt (within-subjects-design). Um die Beeinflussung der Ergebnisse durch eventuelle Lern- und Übertragungseffekte zu minimieren, wurde mittels Permutation bei der Hälfte der Probanden im ersten Versuchsdurchlauf die Smartwatch bzw. der Statusmonitor eingesetzt. Dabei wurden die Arbeitsanweisungen, wann welche Aufgabe zu erfüllen ist, durch das jeweilige Assistenzsystem angezeigt. Neben dem Arbeitsplatzwechsel wurden auch Informationen und Hinweise zur Erledigung der Aufgabe sowie zur Ergonomie angezeigt, die

als Hilfestellungen im Arbeitsprozess dienen sollten. Diese Anweisungen wurden den Probanden nicht von dem System automatisch, sondern dem Wizard of Oz-Prinzip folgend, mittels Eingreifen des Versuchsleiters angezeigt, da ein autonomes Agieren der Assistenz technisch nicht umsetzbar war. Die Informationen sowie der Versuchsablauf waren in beiden Durchgängen identisch, Unterscheidungen gab es nur in der bereitgestellten Assistenz und deren Funktionsweise. Das bedeutet, dass bei der Verwendung der Smartwatch die visuellen und akustischen Signale in Form von Signalton und blinkenden Elementen in der Anzeige durch eine haptische Vibration ergänzt wurden.

Nach jedem Durchgang wurde von den Probanden das beschriebene Set an Fragebögen zur subjektiven Einschätzung und Wahrnehmung zum jeweiligen Assistenzsystem auf den oben beschriebenen Dimensionen ausgefüllt. Zur Erhebung der Leistungsparameter wurden durch den Versuchsleiter die Bearbeitungsdauer und die Anzahl der (Montage) Fehler während und im Anschluss an den jeweiligen Versuchsdurchlauf protokolliert. Zum Ende des zweiten Durchgangs wurde abschließend abgefragt, ob und inwieweit eine Präferenz der Systeme angegeben werden konnte.

2.3 Ergebnisse der Untersuchung

In die Auswertung der Untersuchung gingen $N=45$ Datensätze mit ein, da vier aufgrund vorher festgelegten Ausschlusskriterien nicht berücksichtigt werden konnten. Dazu zählte beispielsweise eine fehlerhafte Ausführung der Arbeitsaufgabe insgesamt. Die Probanden waren im Schnitt 27,4 Jahre alt (Spannweite 21-55). Es haben insgesamt 31 Männer (69%) und 14 Frauen (31%) an dem Versuch teilgenommen, von denen 38 studierten und 8 berufstätig waren. Diese wurden unter den oben aufgeführten Bedingungen mit Hilfe der beschriebenen Fragebögen auf ihre subjektive Einschätzung zu den eingangs aufgeführten, mit der Verwendung von Assistenzsystemen verbundenen Chancen und Risiken befragt. Da es sich bei den gesammelten Daten um ein

within-subjects-design handelte, wurde die Auswertung softwaregestützt mittels Korrelationsanalysen und t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt (Signifikanzniveau $\alpha=.05$). Zunächst wurden die demografischen Angaben betrachtet um eventuelle Verzerrungseffekte durch die Zusammensetzung der Stichprobe zu überprüfen. Dabei wurde festgestellt, dass eine moderate Korrelation zwischen dem männlichen Geschlecht und der allgemeinen Technikaffinität besteht ($r = -0.314$, $p = 0.036$) und dass die Vorerfahrung mit handwerklichen Montagetätigkeiten mit zunehmendem Alter steigt ($r = 0.298$, $p = 0.047$). Um die Auswirkungen des Assistenzsystems auf die Arbeitsleistung der Probanden zu überprüfen, wurden zunächst objektive Kriterien der Arbeitsgeschwindigkeit und -qualität in der Tätigkeitsbewältigung unter Verwendung beider Assistenzsysteme miteinander verglichen. Dabei ließen sich für die Leistung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Assistenzsystemen nachweisen, weder in Hinblick auf die Bearbeitungsdauer ($t(44) = 1.346$, $p = 0.185$) noch auf die Anzahl der Fehler ($t(44) = -0.440$, $p = 0.662$). Die mittlere Bearbeitungsdauer lag bei der Smartwatch mit 21,58 Minuten dabei nur gering über der Dauer von 20,67 Minuten bei der Unterstützung durch den Statusmonitor. Auch die durchschnittlich aufgetretene Fehleranzahl ist mit 1,6 und 1,76 bei Verwendung der Smartwatch und des Statusmonitors vernachlässigbar.

In Bezug auf die subjektiven Dimensionen ergibt sich hingegen ein anderes Bild: Die Gebrauchstauglichkeit der Smartwatch wird von den Probanden insgesamt signifikant höher eingeschätzt als die des Statusmonitors ($t(44) = 3.352$, $p = 0.002$). Sie wird in ihrer Anwendung auch als übersichtlicher ($t(44) = 2.106$, $p = 0.041$) und effizienter ($t(44) = 2.614$, $p = 0.012$) bewertet. Auch ihre Unterstützungsleistung wird signifikant höher eingeschätzt ($t(44) = 2.562$, $p = 0.014$). Lediglich in Bezug auf die Einfachheit bzw. Komplexität der Bedienung ergibt sich kein signifikanter Unterschied im Vergleich mit dem

Statusmonitor ($t(44) = 1.479$, $p = 0.146$, s. Abb. 2).

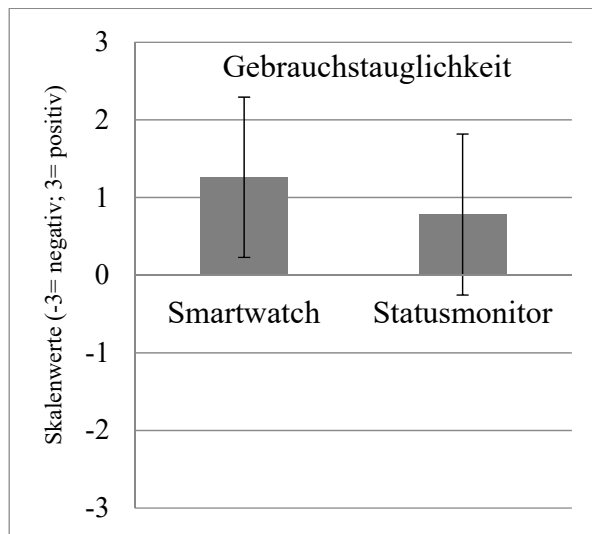


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Gebrauchstauglichkeit

Ähnliche Resultate ergeben sich auch für die Betrachtung der Technikakzeptanz: Insgesamt fällt diese für die Smartwatch signifikant höher aus ($t(44) = 4.025$, $p < 0.001$), wobei hierbei alle Faktoren, aus denen sich der Gesamtwert zusammensetzt, dieses Ergebnis unterstreichen. Sowohl der wahrgenommene Nutzen ($t(44) = 3.725$, $p = 0.001$), die Einfachheit der Nutzung ($t(44) = 3.738$, $p = 0.001$) als auch die Qualität der Zusammenarbeit ($t(44) = 2.676$, $p = 0.010$) fallen eindeutig zu Gunsten der Smartwatch aus. Für die Verwendung der Smartwatch lässt sich darüber hinaus eine negative Korrelation zwischen Technikakzeptanz und Alter feststellen ($r = -0.299$, $p = 0.046$). Für den Statusmonitor ergibt sich in diesem Kontext kein Zusammenhang ($r = -0.130$, $p = 0.394$).

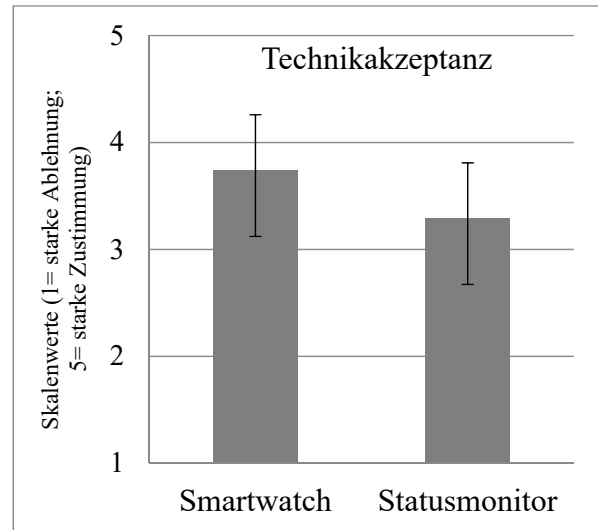


Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Akzeptanz

Neben der Akzeptanz liegt auch das Vertrauen in die Smartwatch signifikant über dem in das statische System ($t(44) = 4.048$, $p < 0.001$). Abbildung 4 stellt die Mittelwerte beider Systeme vergleichend dar.

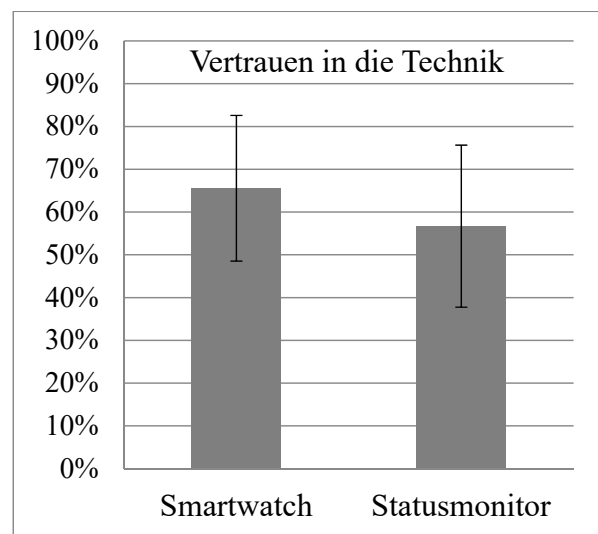


Abbildung 4: Mittelwerte und Standardabweichung des Vertrauens transformiert in Prozentangaben

Abschließend ist auch in Bezug auf die Präferenz die Smartwatch dem Statusmonitor überlegen: Nur 20 Prozent der Probanden geben an, dass sie sich durch den Statusmonitor besser bei der Bewältigung der Arbeitsaufgabe unterstützt gefühlt haben. Begründet wurde dies oftmals mit der besseren Lesbarkeit durch

die Größenunterschiede beider Medien. 78 Prozent der Teilnehmer bevorzugten hingegen die Smartwatch als Assistenzsystem und lediglich eine Person präferiert weder die eine noch die andere Technologie. Die am häufigsten genannten Kriterien für die Präferenz der Smartwatch sind die damit verbundene Mobilität und die haptische Rückmeldung, die durch das Tragen am Körper ermöglicht werden.

3 Diskussion

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass mobile Assistenzsysteme grundsätzlich für den Einsatz in der manuellen Montage mit wechselnden Arbeitsaufgaben geeignet sein können. Es ließ sich zwar weder ein Rückgang der Fehlerzahlen noch eine Verkürzung der Bearbeitungsdauer feststellen, dem gegenüber konnten jedoch auch keine negativen Auswirkungen auf die Leistung der Probanden nachgewiesen werden. Der geringen Wirkung auf die kurzfristige, direkte Performanz steht eine in Summe deutliche Präferenz für die Smartwatch gegenüber. Auch das Vertrauen in die Technik fiel bei der mobilen Assistenz höher aus als beim statischen System, was die theoretischen Annahmen in Bezug auf diese Aspekte bestätigt. Bei der Ergebnisbetrachtung sind allerdings der Zusammenhang zwischen dem männlichen Geschlecht und der allgemeinen Technikaffinität sowie der Anstieg der Vorerfahrung und die sinkende Akzeptanz der Smartwatch mit zunehmendem Alter zu beachten. Da die Stichprobe zu zwei Dritteln aus männlichen Teilnehmern besteht und sich im Vergleich zum Durchschnittsalter der Erwerbstätigen eher im unteren Bereich bewegt, muss dies, insbesondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, bei der Interpretation und Übertragung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Da es sich bei den Versuchsteilnehmern überwiegend um Studierende handelt, ist darüber hinaus zu beachten, dass deren Erfahrungen mit handwerklichen Montagetätigkeiten mitunter nicht mit den Erfahrungsständen langjähriger Beschäftigter der industriellen Fertigung vergleichbar sind. Au-

ßerdem verfügten die Probanden über keinerlei Vorerfahrung mit der konkreten Ausgestaltung der Aufgabe und der Assistenz. An dieser Stelle kann auch ein einmaliges und zeitlich begrenztes Laborexperiment nicht den langfristigen Einsatz unter Realbedingungen simulieren. In einer Felduntersuchung könnten die Ergebnisse daher insbesondere in Bezug auf die Akzeptanz, begründet durch die abweichende Altersstruktur und den anders gelagerten Erfahrungshintergrund der Stichprobe variieren. Dennoch liefert die Studie deutliche Hinweise darauf, dass mobile Informations- und Kommunikationstechnologien in der Steuerung von komplexen Montagetätigkeiten als geeignet und unterstützend wahrgenommen werden. Gleichzeitig lässt sich aber auch feststellen, dass eine hohe Akzeptanz per se nicht immer auch mit einer kurzfristigen Leistungssteigerung einhergehen muss. Vielmehr muss bei der Einführung konkreter neuer Technologien stets die Passung aller Komponenten des soziotechnischen Arbeitssystems berücksichtigt werden, um ein optimales Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technologie zu gewährleisten. Dabei können auch mobile Informationstechnologien bei entsprechender arbeitswissenschaftlicher Gestaltung einen Beitrag für produktive und menschengerechte Produktionsarbeit leisten.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen einer experimentellen Probandenstudie wurden zwei Assistenzsysteme zur Aufgabensteuerung in ihren Wirkungen auf Leistung und Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung miteinander verglichen. Dabei handelte es sich um ein stationäres System und ein mobiles, in einer Smartwatch integriertes System. Die Ergebnisse zeigen, dass das mobile System weder mit negativen Leistungs- noch Akzeptanzeffekten einherging. Stattdessen wies es bei unveränderter Leistung signifikant höhere Einschätzungen zur Gebrauchstauglichkeit durch die Probanden auf. Diese Ergebnisse sprechen für eine grundsätzliche Eignung mobiler Informationssysteme zur Unterstützung von Montagetätigkeiten vor dem Hintergrund moderner Komplexitäts- und

Flexibilitätsanforderungen. Um sowohl sichere und gesunde als auch produktive Arbeit zu gewährleisten, muss das jeweilige technische Assistenzsystem dabei konkret auf die spezifischen Rahmenbedingungen anhand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse abgestimmt sein. Weiterführende Forschungsbestrebungen könnten sich vor diesem Hintergrund mit der Entwicklung geeigneter Anforderungs- und Auswahlkriterien technischer Systemansätze und unterschiedlicher Darstellungsformen für die Anwendung in der betrieblichen Praxis befassen.

Hinweis

Diese Untersuchung entstand im Rahmen des Projektes AIM. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Arbeitsassistenzsystem für die Individualisierung von Arbeitsgestaltung und Methodentraining (AIM)“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert (Förderkennzeichen 02L14A162) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Literatur

- [Dav89] F. D. Davis: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: MIS Quarterly, Vol. 13(3), S. 319-340, 1989.
- [Dör13] J. Dörmer: Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion: Untersucht am Beispiel der Automobilendmontage. Wiesbaden: Springer-Verlag, 2013.
- [Gör17] M. Görke, D. Pischke, A. Oubari, A. Raatz und P. Nyhuis: Sichere und akzeptierte Kollaboration von Mensch und Maschine. Integrierte Betrachtung technischer und nicht technischer Gestaltungsfaktoren für die Einführung nachhaltiger und effizienter kollaborativer Montagesysteme. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 112(1-2), S. 41-45, 2017.
- [Fra18] T. Franke, C. Attig und D. Wessel: A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. In: International Journal of Human-Computer Interaction. Published online: 30 March 2018.
- [Kim15] K. Joon Kim und D.-H. Shin: An acceptance model for smart watches. Implications for the adoption of future wearable technology. In: Internet Research Vol. 25(4), S. 527-541, 2015.
- [Lot12] E. Lotter: Einführung. In: B. Lotter und H.-P. Wiendahl: Montage in der industriellen Produktion., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 167-193, 2012.
- [Lee04] J. D. Lee und K. A. See: Trust in automation: Designing for appropriate reliance. In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Vol. 46(1), S. 50-80, 2004.
- [Lau06] B. Laugwitz, M. Schrepp und T. Held: Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten. In: Andreas M. Heinecke, und Hansjürgen Paul: Mensch & Computer 2006 – Mensch und Computer im Strukturwandel. München: Oldenbourg Verlag, S. 125-134, 2006.
- [Rei13] G. Reinhart, Y. Shen und R. Spillner: Hybride Systeme – Arbeitsplätze der Zukunft. Nachhaltige und flexible Produktivitätssteigerung in hybriden Arbeitssystemen. In: wt Werkstattstechnik online, Vol. 103(6), S. 543-547, 2013.
- [Spa13] D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause und S. Schlund: Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.

- [Sel14] C. Sellberg und T. Susi: Technostress in the office. A distributed cognition perspective on human-technology interaction. In: Cognition, Technology & Work, Vol. 16(2), S. 187-201, 2014.
- [Wei08] G. Weigert, T. Henlich und A. Klemmt: Methoden zur Modellierung und Optimierung von Montageprozessen. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 479-488, 2008.
- [Wic14] R. Wiczorek und D. Manzey: Supporting Attention Allocation in Multitask Environments: Effects of Likelihood Alarm Systems on Trust, Behavior, and Performance. In: Human Factors, Vol. 56(7), S. 1209-1221, 2014.

Mensch-Roboter-Kollaboration in der Produktion: Kritische Würdigung etablierter Technikakzeptanzmodelle und neue Erkenntnisse in der Akzeptanzforschung

A. Meissner und A. Trübswetter

YOUSE GmbH

antonia.meissner@youse.de, angelika.truebswetter@youse.de

Kurzzusammenfassung

Der Erfolg einer Kollaboration von Mensch und Roboter (MRK) in der Produktion hängt maßgeblich von der Akzeptanz der Mitarbeitenden ab. Bislang setzt sich die Forschung jedoch noch wenig mit der Akzeptanz dieser Technologie auseinander. Viele Theorien und Studien beschäftigen sich mit Informations- und Kommunikationstechnologien und sind nur bedingt auf den Bereich MRK übertragbar. Der Artikel thematisiert Stärken und Schwächen einiger etablierter Technikakzeptanzmodelle und stellt neue Erkenntnisse zur Akzeptanz industrieller MRK vor. Es zeigt sich, dass diese nicht nur von der Akzeptanz der Technologie selbst, sondern auch von der Akzeptanz des Veränderungsprozesses im Unternehmen abhängt.

Abstract

Human-robot collaboration in production: Evaluation of existing technology acceptance models and new insights into acceptance research

The successful collaboration of humans and robots (HRC) in production depends crucially on the acceptance of the employees. However, the number of studies dealing with the acceptance of HRC is still small. Many theories and models focus on information and communication technologies and are only partially transferable to the field of HRC. The article addresses strengths and weaknesses of some established technology acceptance models and introduces new insights into the acceptance of industrial HRC. It turns out that it depends on both the acceptance of the technology itself and the acceptance of the organizational transformation.

Keywords

Mensch-Roboter-Kollaboration, MRK, Mensch-Roboter-Interaktion, Akzeptanz, Produktion, Technikakzeptanz, Akzeptanzmodell

1 Einleitung

Auf Grund steigender Anforderungen an Produktivität und Flexibilität erleben Montageprozesse derzeit einen substantiellen Wandel. Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter, die sog. Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), wird für Unternehmen zunehmend interessanter [Blo16]. Studien mit Arbeitnehmenden zeigen in Deutschland eine kritisch-negative Einstellung zu robotischer Assistenz in der Produktion [Eur15]. Neben wirtschafts- und sicherheitsspezifischen Faktoren muss daher auch die Akzeptanz der Mitarbeitenden als Erfolgsfaktor in den Fokus von

Unternehmen rücken. Denn MRK kann nur erfolgreich sein, wenn Arbeitnehmende die Technologie akzeptieren. Etablierte Technikakzeptanz-Modelle beziehen sich meist auf Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und sind nur bedingt auf den Bereich Robotik übertragbar. Roboter zählen zu den sogenannten *radikalen* Technologien, die im Gegensatz zu *inkrementellen* Technologien nicht eine bloße Weiterentwicklung bestehender Technologien, sondern eine vollständige Neuerung darstellen [Dew86]. Zudem sind Roboter durch einzigartige Merkmale charakterisiert, die dazu führen, dass Menschen diese

anders wahrnehmen und bewerten als etablierte Technologien wie IKT [Sma13]. Roboter können autonom agieren und mit ihrer Umgebung interagieren. Die Kommunikation beinhaltet Elemente, die in der Interaktion mit anderen Technologien bis dato sehr selten waren, wie z.B. Sprache, aber auch das Berühren des Roboters. Darüber hinaus schreiben Menschen Robotern häufig menschliche Attribute zu, da sie diese nicht nur als intellektueller, sondern auch als sozial intelligenter als andere Maschinen wahrnehmen [Sma13]. Die Interaktion mit einem Roboter unterscheidet sich also fundamental von der Interaktion mit IKT, was auch eine andere Bewertung dieser Technologie zur Folge hat [You11]. Die Übertragung bestehender Technikakzeptanz-Modelle auf den Anwendungskontext MRK sollte also kritisch betrachtet werden. Der Artikel beleuchtet bestehende Akzeptanztheorien in Hinblick auf deren Tauglichkeit im Kontext von MRK. Anschließend werden neue Erkenntnisse im Bereich der MRK-Akzeptanz vorgestellt.

2 Der Akzeptanzbegriff

Akzeptanz ist ein psychologisches Konstrukt, über das bis dato kein einheitliches Verständnis in der Literatur existiert. Ein verbreiteter Ansatz zur Annäherung an das Thema unterscheidet drei an der Akzeptanzbildung beteiligte Komponenten: ein *Akzeptanzsubjekt*, das in diesem Fall die Mitarbeiterin bzw. der Mitarbeiter ist, ein *Akzeptanzobjekt*, das eng gefasst den Roboter und den MRK-Arbeitsplatz, weit gefasst die Einführung von MRK ist, und schließlich ein *Akzeptanzkontext*, der alle externen Bedingungen umfasst. Das Subjekt bildet Akzeptanz demnach durch einen auf das Objekt gerichteten Prozess der Wahrnehmung, Bewertung und Entscheidung, wobei dieser Prozess durch Kontextfaktoren beeinflusst wird [Sch13].

Auch in Bezug auf die Expression von Akzeptanz zeichnet die Forschung kein homogenes Bild. Meist lassen sich zwei Akzeptanzdimensionen finden: eine *Einstellungs-* und eine *Handlungsdimension* [Sch13]. Während sich

die Einstellungsakzeptanz auf die positive Bewertung eines Akzeptanzgegenstands bezieht, d.h. eine nach außen hin nicht sichtbare Form der Akzeptanz darstellt, so drückt sich Handlungsakzeptanz in einer beobachtbaren Aktivität aus. Diese kann die Nutzung oder den Kauf, aber auch die öffentliche Befürwortung oder Unterstützung eines Objekts beinhalten [Sch13]. Die Forschung ist sich nicht einig, ob für das Vorhandensein von Akzeptanz lediglich eine oder beide Dimensionen erfüllt sein müssen bzw., ob diese überhaupt derart trennscharf zu definieren sind. Ein Großteil der Literatur konzentriert sich auf die eigentliche Nutzung eines Produkts oder die Nutzungsintention. Dennoch gibt es Kritik an diesem Ansatz. Zum einen bildet der einseitige Fokus auf das Nutzungsverhalten nur einen kleinen Teil von Akzeptanz ab. Andere wichtige Indikatoren, wie beispielsweise aktives Engagement bleiben so unbeachtet [Ben07]. Zum anderen ist es notwendig, zwischen einem *freiwilligen* und einem *verpflichtenden* Nutzungskontext zu unterscheiden. Denn wenn die Zielpersonen nicht selbst über die Entscheidung zur Nutzung eines Produkts oder einer Technologie verfügen können, dann ist das Nutzungsverhalten oder die Nutzungsintention auch kein adäquater Indikator für Akzeptanz. Stattdessen ist es in diesem Fall nötig, die Einstellungsakzeptanz direkt zu untersuchen [Bro02].

3 Modelle und Theorien der Technikakzeptanz

Etablierte Literatur im Bereich der Technikakzeptanzforschung bezieht sich größtenteils auf die Akzeptanz von IKT. Doch auch Forschung zur Akzeptanz von Robotik und MRK basiert oft auf diesen etablierten Modellen.

3.1 Etablierte Modelle der Technikakzeptanz

Eines der meist zitierten Modelle der Technikakzeptanz, das technology acceptance model (TAM) [Dav86], sieht die Intention, ein bestimmtes Produkt zu nutzen, durch zwei wesentliche Faktoren beeinflusst: die wahrge-

nommene Nützlichkeit und die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung. Obwohl sich das Modell mit der Akzeptanz von IKT in Organisationen befasst – also einem Umfeld, in dem die Nutzung von Technologien in der Regel nicht vollkommen freiwillig ist – beschäftigt es sich nicht mit der Einstellungsakzeptanz. Zudem wird Technikakzeptanz als von äußeren Faktoren unabhängiges Phänomen dargestellt, obwohl Forschungsergebnisse den Einfluss des Unternehmens auf Einstellungen von Mitarbeitenden zeigen [Leg03]. Ein weiteres Problem ist, dass nicht im Detail darauf eingegangen wird, welche Faktoren und gedanklichen Prozesse zu der Einschätzung der Nutzenden führen, ob ein Produkt nützlich bzw. einfach zu nutzen ist [Bag07]. Der Fokus des Modells liegt also ausschließlich auf dem Objekt selbst. Kontext und Subjekt bleiben unberücksichtigt.

Diverse Weiterentwicklungen des Modells wie das C-TAM-TBP [Tay95], TAM2 [Ven00], TAM3 [Ven08] und UTAUT [Ven03] greifen diese Kritik auf und erweitern das ursprüngliche TAM. Dennoch wird der Mehrwert dieser Replikationen kritisch beurteilt. Diese haben eher zu einer Verbreiterung als einer Vertiefung des ursprünglichen Modells geführt. Es fehlt immer noch an detaillierten Erklärungsansätzen für die zugrunde liegenden Mechanismen [Bag07]. So wird z.B. die Bedeutsamkeit der wahrgenommenen Nützlichkeit als Einflussfaktor auf die Akzeptanz einer Technologie immer wieder nachgewiesen, aber nicht erforscht, was diese überhaupt nützlich macht [Ben07].

Ein generelles Problem im Bereich der Technikakzeptanzforschung ist auch die mangelnde methodische Varianz. Größtenteils wird das Forschungsfeld von rein quantitativen Studien dominiert, die Teile des TAM oder eines ähnlichen grundlegenden Akzeptanzmodells replizieren [Vog13, Wu12]. Ben07 kommen schließlich zu dem Schluss, dass sich die Technikakzeptanzforschung aktuell in einer Sackgasse befindet – bedingt durch die extreme Konformität mit dem TAM und den Mangel an innovativen Studien.

3.2 Akzeptanz von Mensch-Roboter-Interaktion in der Produktion

Im Vergleich zu IKT wird die Akzeptanz von MRK noch wenig beleuchtet. MRK kann als ein Level der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) definiert werden: Neben der *Koexistenz*, bei der Roboter und Mensch zur gleichen Zeit im gleichen Arbeitsraum agieren und der *Kooperation*, bei der die Partner außerdem das gleiche Ziel verfolgen, besteht bei der *Kollaboration* zusätzlich direkter Kontakt zwischen den Partnern [Sch15]. Die Akzeptanzforschung unterscheidet größtenteils nicht zwischen diesen Stufen. Diese Studie will daher erste Erkenntnisse über die Relevanz dieser Unterscheidung bzgl. der Akzeptanz liefern.

Auch Theorien und Modelle abseits der IKT basieren häufig auf dem TAM: so auch das automation acceptance model (AAM) [Gha12], das sich mit der Akzeptanz von Automation im Allgemeinen beschäftigt und das TAM um weitere Faktoren ergänzt, wie z.B. Vertrauen in die Technologie. Ein besonderes Charakteristikum ist, dass das AAM auch die Einstellungsakzeptanz als Prädiktor der Handlungsintention berücksichtigt. Außerdem wird Akzeptanz als zirkulärer statt als linearer Prozess, wie es bei etablierten Technikakzeptanzmodellen der Fall ist, begriffen. Die tatsächliche Nutzung der Technologie wirkt demnach auch auf die Nutzungsintention und andere Einflussfaktoren zurück. Dieser Modellansatz enthält also durchaus neue Elemente, wurde jedoch nicht empirisch verifiziert, was seine Anwendbarkeit und Übertragbarkeit einschränkt.

Im Bereich der Robotik und MRI finden sich die meisten Studien im Privat- und Servicesektor. Forschung zu industrieller MRK ist derzeit unterrepräsentiert. Existierende Studien konzentrieren sich zudem häufig auf Gestaltungsfaktoren des Roboters und der Interaktion [z.B. Bor13, Hin04, Rei16]. Eine Untersuchung, die einen umfassenderen Ansatz wählt, wurde kürzlich von [Brö16] publiziert. Die Grundlage für dieses Modell bilden klassische Faktoren des TAM, TAM2 und TAM3, ergänzt um einige weitere Aspekte, wie Erfah-

rung und ethische Faktoren. Trotz des Arbeitskontexts verwendet auch dieses Modell die Nutzung bzw. die Nutzungsintention als Indikatoren für Akzeptanz. Zudem steht die Gewichtung von Faktoren im Rahmen einer multiplen Regression noch aus [Brö16]. [Hen15] wählt einen mixed-methods-Ansatz zur Untersuchung von Akzeptanz industrieller Robotik und berücksichtigt in dem generierten Modell auch Aspekte, welche die Unternehmenskultur und die Tätigkeit betreffen. Eine Validierung der identifizierten Faktoren ist laut Autorin jedoch durch die kleine Stichprobe und die Beschränkung auf ein Unternehmen wünschenswert.

Eine praxisorientierte Studie, bei der nicht die Entwicklung eines theoretischen Modells, sondern die Ableitung begünstigender bzw. behindernder Faktoren einer erfolgreichen MRK-Implementierung im Vordergrund steht, wird von [Cha15] präsentiert. Die Erkenntnisse bereichern das Forschungsfeld, da sie die Bedeutung organisatorischer Rahmenbedingungen hervorheben. Empowerment und Kommunikation tragen beispielsweise zum Erfolg von MRK im Unternehmen bei, wohingegen eine schlechte Ressourcenplanung und ein mangelndes Verständnis existierender Arbeitsabläufe diesen behindern. Die Autoren fordern eine Verifizierung der Erkenntnisse in verschiedenen industriellen Kontexten. Die praktische Anwendbarkeit wird im Rahmen einer Folgestudie weiter entwickelt [Cha17]. Das sogenannte human factors level readiness (HFRL) tool bietet eine Richtlinie, wie die identifizierten erfolgsförderlichen bzw. -behindernden Faktoren adäquat berücksichtigt werden können. Die Studien verdeutlichen, wie wichtig ein umfassender Blick auf die Akzeptanz industrieller MRK und wie hoch der Forschungsbedarf in diesem Feld ist.

Zusammenfassend lassen sich folgende Probleme in der Akzeptanzforschung industrieller MRK feststellen:

- Ein Großteil der Studien bezieht sich auf Theorien und Modelle im Bereich der IKT. Diese sind jedoch nur bedingt auf die Akzeptanz von MRK übertragbar.

- Die Fokussierung auf einige wenige „etablierte“ Technikakzeptanztheorien geht auch mit einer eingeschränkten methodischen Varianz und ggf. Erkenntnisverlusten einher.
- Der Hauptfokus bisheriger Studien liegt auf der Erforschung objektbezogener Faktoren. Subjekt- und kontextbezogene Faktoren sind unterrepräsentiert.
- Selten wird eine Differenzierung zwischen freiwilligen und verpflichtenden Nutzungskontexten vorgenommen. Häufig erfolgt daher eine Untersuchung der Technologie-nutzung, die jedoch nicht immer die Einstellungsakzeptanz der Nutzenden widerspiegelt.

Die Forschungsaktivitäten im Rahmen des BMBF-Projektes SafeMate sollen diese Probleme aufgreifen und dazu beitragen, die Erforschung von industrieller MRK-Akzeptanz voranzutreiben.

4 Neue Erkenntnisse in der Akzeptanzforschung

Um den genannten Schwachstellen zu begegnen, wurde eine Untersuchung mit einem explorativ-qualitativem Studiendesign durchgeführt. Auf Grund des verpflichtenden Nutzungskontexts lag der Fokus insbesondere auf der Einstellungsakzeptanz.

4.1 Methodik und Stichprobe

Die Studie folgte dem Grounded Theory Ansatz von Cor14, der für die induktive Generierung neuer Theorien entwickelt wurde und eine Exploration der Daten mit großer inhaltlicher Tiefe ermöglicht [Cho14]. Die Sammlung der Daten erfolgte durch semi-strukturierte Interviews, die methodisch eine Mischung aus episodischen und problemzentrierten Interviews [Fli11] darstellten. 17 Montagetage-Mitarbeitende (9 weiblich, 8 männlich) mit einem Durchschnittsalter von $M = 44,06$ Jahren ($SD = 10,44$), die aus fünf produzierenden Unternehmen (Lenze, LSG Sky Chefs, Miele, Sennheiser, Weidmüller) stammten, nahmen an der Studie teil. Um den Einfluss des Erfahrungshintergrunds mit MRK zu prüfen, wurden Mitarbeitende unterschiedlicher

Expertise einbezogen. Sieben Teilnehmende arbeiteten bereits täglich mit einem Roboter zusammen, fünf hatten Erfahrungen mit MRK in der Vergangenheit gesammelt. Die Anwendungsfälle waren dabei größtenteils der Kooperation zuzuordnen. Fünf Teilnehmende waren noch gänzlich unerfahren. Auch die Teamposition war unterschiedlich. Fünf Personen waren in einer (stellvertretenden) Teamleitungsposition und eine weitere Person war auch für planerische Aufgaben zuständig. 11 Personen arbeiteten ausschließlich in der Montage.

4.2 Allgemeine Erkenntnisse

Die Untersuchung zeigt die Komplexität der Akzeptanz von MRK in der Produktion auf: Ob die Einführung von MRK von den Mitarbeitenden als **Bedrohung** oder als **Chance** wahrgenommen wird, scheint ein entscheidender Faktor zu sein. Es zeigt sich jedoch, dass dies nicht nur das Ergebnis rationaler Überlegungen im Sinne einer pro-contra-Abwägung ist. Vielmehr spielen auch Gefühle in Bezug auf die MRK-Einführung sowie die verantwortlichen Personen eine maßgebliche Rolle. Diese sind in bisherigen Modellen wenig bis gar nicht verankert. Für die Beeinflussung von Akzeptanz ist dieser Aspekt allerdings zentral, da Akzeptanz vermutlich weniger eine bewusste Entscheidung als vielmehr ein unbewusster Prozess ist.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Einstellung gegenüber der Einführung von MRK nur zum Teil durch die Einstellung gegenüber der Technologie bestimmt ist. Eine mindestens so große Relevanz spielt die Einstellung gegenüber der Veränderung am Arbeitsplatz. Dies macht deutlich, dass es bei der Untersuchung der Akzeptanz von MRK nicht ausreicht, die Gestaltung der Technologie zu beleuchten. Insbesondere bei einer derart radikalen Technologie ist es von besonderer Bedeutung, deren Einführung als einschneidenden Veränderungsprozess zu begreifen, den es aktiv zu gestalten gilt.

Der Zusammenhang zwischen Einstellungs- und Handlungsakzeptanz scheint außerdem

die Annahmen von Bro02 zu bestätigen. Obwohl alle Teilnehmenden MRK nutzen bzw. bereit sind, es zu nutzen, sind die Einstellungen nicht immer positiv. Aktive Unterstützung der Einführung scheint ein besserer Indikator der Einstellung zu sein, wobei Mitarbeitende, die sich nicht aktiv beteiligen, nicht zwangsweise negativ eingestellt sein müssen. Zudem kann die Annahme von [Gha12] gestärkt werden, dass die Bildung von Akzeptanz ein zirkulärer Prozess ist. Die Nutzung von MRK beeinflusst offenbar auch die innere Einstellung. Mitarbeitende, die bereits Erfahrung in der Zusammenarbeit mit Robotern sammeln konnten, zeigen weniger Ängste als Mitarbeitende, die nur hypothetisch über MRK nachdenken. Zudem kann vermutet werden, dass die aktive Beteiligung an der Implementierung von MRK im Unternehmen die Einstellung ebenfalls positiv beeinflusst.

4.3 Primäre Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von MRK

Akzeptanz ist ein Prozess der Wahrnehmung, Bewertung und Entscheidung [Sch13]. Die Einzigartigkeit dieses Prozesses für jedes betroffene Individuum kann in dieser Untersuchung deutlich bestätigt werden, wobei der Begriff „Entscheidung“ kritisch betrachtet werden sollte, da dieser den unbewussten Anteil nicht adäquat widerspiegelt. Wie die Einführung von MRK von Mitarbeitenden betrachtet wird, hängt primär von den **wahrgenommenen Risiken und Chancen** dieser Einführung, aber auch von **positiven und negativen Gefühlen** ab. Diese individuelle kognitive und emotionale Bewertung der Situation kann auf falschen Annahmen beruhen und daher aus der Fremdperspektive möglicherweise irrational oder falsch erscheinen. Wichtig ist jedoch, dass die objektiven Tatsachen zunächst eine untergeordnete Rolle spielen, da die subjektive Wahrnehmung des Individuums für die persönliche Akzeptanz entscheidend ist. Inwieweit Gedanken und Gefühle in Bezug auf die Einführung von MRK positiv oder negativ sind, hängt der Untersuchung nach auch von der **wahrgenommenen Betroffenheit** ab. Be-

sonders Mitarbeitende, die zusätzliche verantwortungsvolle Aufgaben innehaben, fühlen sich von der Einführung von MRK nicht so stark bedroht wie Mitarbeitende, die nur an der Montagelinie arbeiten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über wahrgenommene Risiken und Chancen sowie positive und negative Gefühle der Teilnehmenden, die sich als zentral für die Akzeptanz von MRK erwiesen haben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sollte im Rahmen weiterer Studien ergänzt bzw. revidiert werden.

Tabelle 1: Bewertung der Einführung von MRK aus Sicht der Studien-Teilnehmenden

Wahrge- nom- mene Risiken	Abbau von Arbeitsplätzen Unterforderung durch Langsamkeit, Störungen und Pausen Überforderung durch veränderte bzw. steigende Anforderungen Abhängigkeit vom Roboter und technischem Fachpersonal Geringere Effizienz im Vgl. zu manueller Montage Weniger sozialer Austausch
Wahrge- nom- mene Chancen	Physische und psychische Entlastung Geringere Fehlerrate im Vgl. zu manueller Montage Persönliche Weiterentwicklung
Negative Gefühle	Angst durch Unsicherheit und Hilflosigkeit/Kontrollverlust Wertlosigkeit und Enttäuschung Frustration in der MRK
Positive Gefühle	Neugierde, Aufregung Freude an der MRK

4.4 Sekundäre Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von MRK

Die Untersuchung zeigt, dass die Wahrnehmung und Bewertung der Einführung von MRK von verschiedenen äußeren und inneren Einflüssen abhängt, die teils in der Gegenwart, teils aber auch in der Vergangenheit begründet

sind. Grundsätzlich lassen sich die identifizierten Einflussfaktoren nach den jeweiligen Akzeptanzkomponenten (Subjekt, Objekt, Kontext) einteilen, auch wenn diese in der Realität oft nicht 100% trennscharf zuzuordnen sind.

4.4.1 Objektfaktoren

Wie auch andere Modelle und Theorien bereits gezeigt haben, spielt die Gestaltung des Roboters und der Zusammenarbeit von Roboter und Mensch bei der Akzeptanz von MRK eine wichtige Rolle. Viele Mitarbeitende befürchten einen fremdbestimmten, unflexiblen Arbeitsablauf sowie körperliche oder psychische Belastung. Einige nennen auch Bedenken bzgl. der Unfähigkeit, den Roboter bedienen zu können. Die Gestaltung von MRK sollte daher folgende Aspekte beachten:

- Kontrollierbarkeit und selbstbestimmtes Arbeiten
- Anpassbarkeit an den Menschen (Ergonomie, Barrierefreiheit, Nutzerfreundlichkeit)
- Anpassbarkeit an Aufgabe (Flexibilität) und Umgebung (z.B. Lärm, Helligkeit)
- Vertrauensfördernde äußere Gestaltung (z.B. runde Formen)
- Geschwindigkeit

Darüber hinaus nennen die Probanden gewisse „K.O.“ Kriterien, deren Erfüllung vorausgesetzt wird. Diese sind:

- Sicherheit
- Prozessstabilität

Die Teilnehmenden äußern zwar wenig Bedenken bzgl. dieser Faktoren; das Vertrauen in diese Technologie ist grundsätzlich hoch. Die Nicht-Erfüllung dieser Erwartungen kann jedoch mit einem starken Akzeptanzverlust einhergehen. Der Interaktionslevel (Koexistenz, Kooperation, Kollaboration) wird darüber hinaus als zweitrangig bewertet. Sofern eine reibungslose Ausführung der Aufgabe unter Beachtung der genannten Kriterien gewährleistet ist, gibt es keine Präferenz für eine Option. Prioritär ist die Passung des Levels zur jeweiligen Aufgabe. Laut Teilnehmenden ist im Großteil der Anwendungsfälle eine Kooperation sinnvoller als eine Kollaboration.

4.4.2 Subjektfaktoren

Es zeigt sich, dass die Teilnehmenden in ihren Einstellungen gegenüber der Einführung von MRK teils stark differieren. Auch Personen, die mit demselben Roboter zusammenarbeiten, bewerten diese Kollaboration oft sehr unterschiedlich. Einen Erklärungsansatz für diese Differenzen bieten die unterschiedlichen individuellen Voraussetzungen der Mitarbeitenden.

Teamposition

Ob die Mitarbeitenden eine Leitungsposition innehaben oder ausschließlich in der Montage arbeiten, scheint die wahrgenommene Betroffenheit durch die Einführung von MRK zu beeinflussen. Mitarbeitende mit verantwortungsvollen Aufgaben zeigen mehr Selbstvertrauen, mit den sich verändernden Anforderungen umgehen zu können und fühlen sich weniger bedroht.

Persönlichkeit

Auch wenn diese im Rahmen dieser Studie nicht im Detail untersucht werden konnten, scheinen Persönlichkeitseigenschaften einen Einfluss auf die Einstellung gegenüber MRK zu haben. Offenheit gegenüber neuen Erfahrungen, Optimismus und Extraversion könnten eine Rolle spielen und sollten in Zukunft genauer betrachtet werden. Zudem vertreten die Teilnehmenden verschiedene ethische Ansichten, welche die Bewertung von MRK beeinflussen könnten.

Wissen und Erfahrungen

Das faktische und praktische Wissen der Teilnehmenden über Technik und Robotik scheint auf die Einstellung zu MRK einzuwirken, wenn auch nicht unidimensional. So zeigen technisch versierte Teilnehmende weniger irrationale Ängste, aber mehr konkrete Bedenken, z.B. bzgl. der Sicherheit des Roboters. Wissen im Sinne einer Informiertheit über Entwicklungen im Unternehmen scheint einen positiven Effekt zu haben, da es Unsicherheit und Angst reduziert und die wahrgenommene Wertschätzung fördert. Eine zentrale Rolle

spielen vergangene Erfahrungen im Unternehmen, da diese die Beziehung zu den Vorgesetzten und dem Team nachhaltig prägen (siehe 4.4.3). Auch Erfahrungen mit Robotern sind von Bedeutung, da diese die allgemeine Einstellung gegenüber Robotern und das Vertrauen, mit diesen umgehen zu können, beeinflussen.

Selbsteinschätzung

Die Teilnehmenden schätzen ihre Fähigkeiten unterschiedlich ein, den mit MRK einhergehenden Anforderungen gerecht zu werden. Es werden Bedenken geäußert bzgl. der Bedienung des Roboters, aber auch bzgl. der Fähigkeit, sich neue Fertigkeiten anzueignen und gegebenenfalls andere Jobpositionen zu besetzen. Dies hat auch einen Einfluss auf die MRK-Akzeptanz.

Einstellung zu Robotern

Die Akzeptanz von MRK scheint auch von dem Vertrauen darauf abzuhängen, dass Roboter keine Gefährdung darstellen sowie störungs- und fehlerfrei arbeiten. Die wahrgenommene Intelligenz von Robotern spielt hier offenbar eine besondere Rolle. Einige Teilnehmende fühlen sich den Fähigkeiten von Robotern unterlegen und betrachten MRK als Zwischenstufe auf dem Weg zur Vollautomatisierung. Andere wiederum sehen in Robotern „dumme“, dem Menschen unterlegene Maschinen. Des Weiteren scheint ein allgemeines Interesse an dieser Technologie die Neugierde und Offenheit gegenüber MRK zu fördern.

Einstellung zur Arbeit

Während einige Teilnehmende berichten, nicht nur wegen des Geldes, sondern auch aus Gründen der persönlichen Erfüllung zu arbeiten, geben andere an, dass Arbeit für sie nur Mittel zum Zweck ist. Erstere zeigen auch mehr Ehrgeiz angesichts ihrer beruflichen Zukunft und betrachten Veränderungen, wie die Einführung von MRK, als Chance zur Weiterentwicklung. Eine negative Einstellung gegenüber Veränderungen hängt offenbar auch oft mit einer generellen Angst vor Arbeitsplatzverlust zusammen. Einige Teilnehmende

berichten von negativen Erfahrungen, z.B. in Zusammenhang mit Auslagerung und Veränderung von Prozessen, und sind daher auch gegenüber MRK skeptisch eingestellt.

4.4.3 Kontextfaktoren

Interindividuelle Unterschiede sind auch in der Beziehung der Mitarbeitenden zum Unternehmen sowie zu konkreten Personen in diesem Unternehmen begründet.

Beziehung zu den Vorgesetzten

Viele Teilnehmende befürworten MRK, lehnen die Einführung jedoch trotzdem ab, da das Vertrauen in die Integrität und Verlässlichkeit der verantwortlichen Personen gering ist. In vergangenen Erfahrungen begründete Wut und Enttäuschung spielen hier eine wichtige Rolle. Die Erwartungshaltung, dass die Interessen der Mitarbeitenden nicht berücksichtigt werden, kann dann meist auch nicht durch Versprechungen der Vorgesetzten entkräftet werden. Haben die Mitarbeitenden hingegen die Erfahrung gemacht, ein wertgeschätzter Teil des Unternehmens zu sein, vertrauen diese auch eher der Entscheidung der Vorgesetzten in Bezug auf MRK. Mangelnde Akzeptanz kann zudem auch darin begründet sein, dass die Expertise der Verantwortlichen als gering eingeschätzt und eine Verbesserung der Arbeitsabläufe bezweifelt wird.

Grundsätzlich ist die Beziehung stark von vergangenen Erfahrungen geprägt. Daher ist es auch eine langfristige Aufgabe, diese zu pflegen und zu verbessern. Die Art und Weise, wie MRK eingeführt wird, kann ein erster Schritt in die richtige Richtung sein. Folgende Aspekte sollten beachtet werden:

Information und Kommunikation

Unsicherheit erweist sich als ein zentrales Hindernis für die Akzeptanz von MRK. Viele Teilnehmende berichten, wenig oder spät über Entscheidungen und Maßnahmen informiert zu werden. Es ist daher essentiell, geeignete Formate zu finden, die frühzeitig auf das Informationsbedürfnis der Mitarbeitenden eingehen. Offenheit und Transparenz sollten dabei an erster Stelle stehen. Zudem darf auch

die Vermittlung fachlicher Kenntnisse nicht vergessen werden. Oft ist fehlende Akzeptanz allerdings kein Problem mangelnder Informiertheit, sondern mangelnder Wertschätzung. Daher ist es nicht ausreichend, auf einer argumentativen Ebene zu agieren. Vielmehr ist es wichtig, die Mitarbeitenden auch emotional anzusprechen. Kommunikation auf Augenhöhe und wertschätzendes Verhalten können dazu beitragen, dass Mitarbeitende Vertrauen in die Verantwortlichen entwickeln. Dies sollte jedoch nicht nur punktuell erfolgen, sondern ein grundsätzliches Element der Unternehmenskultur sein.

Partizipation

Auch die Einbindung der Mitarbeitenden ist sowohl während der Implementierung von MRK als auch grundsätzlich relevant. Dies ist nicht nur aus sozialer, sondern auch aus inhaltlicher Sicht sinnvoll, da die Expertise und das Erfahrungswissen der Mitarbeitenden für eine erfolgreiche Gestaltung der Arbeitsabläufe unabdingbar sind. Wichtig ist, dass Beteiligung nicht zur Legitimation von Ideen der Managementebene dient. Die Aussagen der Teilnehmenden verdeutlichen, dass Scheinbeteiligung nicht nur die Akzeptanz von MRK, sondern auch die Beziehung zu den Vorgesetzten belastet.

Unterstützung

Die Untersuchung zeigt, dass der Implementierungsprozess von MRK oft mit der Inbetriebnahme des Roboters endet. Viele Probleme treten jedoch erst zu diesem Zeitpunkt auf. Nicht verfügbare Ansprechpartner und mangelnde Unterstützung können dann zu Frustration und Akzeptanzeinbußen führen. Auch eine unzureichende Einweisung und fehlende Möglichkeiten zur fachlichen Qualifizierung können negative Effekte haben. Hier spielt auch das richtige Format eine Rolle: Besonders die Wichtigkeit frühzeitiger praktischer Erfahrungen wird betont.

Beziehung zum Team

Auch wenn die Beziehung zu den Vorgesetz-

ten vermutlich einen weitaus größeren Einfluss auf die Akzeptanz von MRK hat, so wird deutlich, dass eine kollegiale Teamstruktur negative Gefühle in Bezug auf MRK mindern kann, insbesondere wenn Unsicherheiten bestehen, den Roboter bedienen zu können. Auch indirekte soziale Einflüsse können zum Tragen kommen. So kann die Stimmung im Team die Einstellung jedes Einzelnen beeinflussen. Teamsprecher scheinen dabei eine besondere Stellung einzunehmen, da diese – sofern sie respektiert werden – oft auch aktiven Einfluss ausüben können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, dass die Akzeptanz von MRK in der Produktion nicht nur von der Akzeptanz der Technologie, sondern auch von der Akzeptanz des Veränderungsprozesses am Arbeitsplatz abhängt. Das Fehlen von Akzeptanz kann also die Folge mangelnder Nützlichkeit von MRK für die existierenden Arbeitsabläufe sein. Ebenso gut können aber Angst vor negativen Folgen oder mangelndes Vertrauen in die Verantwortlichen ursächlich sein. Dies bedeutet, dass eine nutzerzentrierte Gestaltung von MRK zwar eine notwendige, nicht jedoch eine hinreichende Bedingung für die Etablierung von Akzeptanz innerhalb der Belegschaft ist. Der sogenannte „Status Quo Bias“ besagt, dass Menschen Veränderungen grundsätzlich scheuen – selbst wenn diese eine Verbesserung gegenüber dem Status Quo versprechen würden [Sam88]. Für Unternehmen stellt es also eine Herausforderung dar, die Einführung von MRK so zu gestalten, dass Mitarbeitende sowohl auf einer rationalen als auch einer emotionalen Ebene mitgenommen werden. Dies ist vor allem auch eine langfristige Auf-

gabe, die stark mit dem Aufbau einer vertrauensvollen Beziehung zu den Mitarbeitenden, ergo einer wertschätzenden Unternehmenskultur zusammenhängt. Für die Akzeptanzforschung lässt sich ableiten, dass ein zu enger Fokus auf die Technologie selbst zu einer Vernachlässigung anderer, wichtiger Faktoren führt, die für die Akzeptanz eine zentrale Rolle spielen. Auch wenn ein Modell stets nur bedingt dazu in der Lage ist, die Komplexität des realen Anwendungsfalls abzubilden, so ist dennoch ein ganzheitlich orientierter Forschungsansatz empfehlenswert, wie ihn bereits auch andere Studien verfolgen (z.B. [Cha15]). Dabei sollten Erkenntnisse verschiedener Disziplinen einfließen. So kann von etablierten Theorien aus der Sozialpsychologie (z.B. [Laz91, Fre02]), insbesondere des Change Managements (z.B. [Bor03, Lor00]) profitiert werden. Zudem sollten auch ethische Aspekte stärker als Teil der Akzeptanzforschung etabliert werden.

Der Artikel spiegelt den Status Quo eines fortschreitenden Arbeitsprozesses innerhalb des SafeMate-Projekts wider. Eine ausführliche Darstellung des entwickelten Akzeptanzmodells sowie quantitative Follow-Up-Untersuchungen sind derzeit in Bearbeitung.

Förderhinweis

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistungen und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02P15A080) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Literatur

- [Bag07] R. P. Bagozzi: The legacy of the technology acceptance model and a proposal for a paradigm shift. In: Journal of the Association for Information Systems, Vol. 8(4), S. 244-254, 2007.
- [Bor13] D. Bortot, M. Born und K. Bengler: Directly or on detours? How should industrial robots approximate humans? In: H. Kuzuoka (Ed.), Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). 3 - 6 March 2013, Tokyo, Japan, S. 89-90. Piscataway: IEEE, 2013.

- [Ben07] I. Benbasat und H. Barki: Quo vadis TAM? In: Journal of Association for Information Systems, Vol. 8(4), S. 211-218, 2007.
- [Bor03] P. Bordia, E. Hobman, F. Jones, C. Gallois und V. J. Callan: Uncertainty during organizational change: Types, consequences, and management strategies. In: Journal of Business and Psychology, Vol. 18(4), S. 507-532, 2003.
- [Blo16] R. Bloss: Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications. In: Industrial Robot: An International Journal, Vol. 43(5), S. 463-468, 2016.
- [Bro02] S. A. Brown, A. P. Massey, M. M. Montoya-Weiss und J. R. Burkman: Do I really have to? User acceptance of mandated technology. In: European Journal of Information Systems, 11(4), S. 283-295, 2002.
- [Brö16] C. Bröhl, J. Nelles, C. Brandl, A. Mertens und C. M. Schlick: TAM reloaded: A technology acceptance model for human-robot cooperation in production systems. In C. Stephanidis (Ed.), Communications in Computer and Information Science. 18th International Conference, HCI International 2016, Toronto, Canada, July 17-22, 2016, Proceedings, Part I, S. 97-103. Cham: Springer, 2016.
- [Cha15] G. Charalambous, S. Fletcher und P. Webb: Identifying the key organisational human factors for introducing human-robot collaboration in industry: An exploratory study. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 81(9-12), S. 2143-2155, 2015.
- [Cha17] G. Charalambous, S. R. Fletcher und P. Webb: The development of a human factors readiness level tool for implementing industrial human-robot collaboration. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 91(5-8), S. 2465-2475, 2017.
- [Cho14] J. Y. Cho und E.-H. Lee: Reducing confusion about grounded theory and qualitative content analysis: Similarities and differences. In: The Qualitative Report, Vol. 19(32), S. 1-20, 2014.
- [Cor14] J. M. Corbin und A. L. Strauss: Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (4th ed.). Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, Boston: Sage, 2014.
- [Dav86] F. D. Davis: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems (Dissertation). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1986.
- [Dew86] R. D. Dewar und J. E. Dutton: The adoption of radical and incremental innovations: An empirical analysis. In: Management Science, Vol. 32(11), S. 1422-1433, 1986.
- [Eur15] Europäische Kommission: Special Eurobarometer 427: Autonomous systems (2015). Retrieved from https://data.europa.eu/euodp/de/data/dataset/S2018_82_4_427_ENG/resource/ec81a13f-a6cc-4886-9359-477434bf1222 (Zugriff am 01.08.18).
- [Fli11] U. Flick: An introduction to qualitative research (4th ed.). Los Angeles, CA: Sage, 2011.
- [Fre02] D. Frey und E. Jonas: Die Theorie der kognizierten Kontrolle. In D. Frey & M. Irle (Eds.), Psychologie-Lehrtexte: Theorien der Sozialpsychologie. Band III. Motivations-, Selbst- und Informationsverarbeitungstheorien (S. 13–50). Bern: Huber, 2002.
- [Gha12] M. Ghazizadeh, J. D. Lee und L. N. Boyle: Extending the technology acceptance model to assess automation. In: Cognition, Technology & Work, Vol. 14(1), S. 39-49, 2012.

- [Hen15] M. M. Henderson: Industrial robot acceptance: Effects of workforce demographics and establishing a culture of acceptance within manufacturing industry (Master's thesis). University of South Carolina, Columbia, SC, 2015.
- [Hin04] P. J. Hinds, T. L. Roberts und H. Jones: Whose job is it anyway? A study of human-robot interaction in a collaborative task. In: *Human-Computer Interaction*, Vol. 19(1), S. 151-181, 2004.
- [Laz91] R. S. Lazarus: Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. In: *American Psychologist*, Vol. 46(8), S. 819-834, 1991.
- [Leg03] P. Legris, J. Ingham und P. Collette: Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. In: *Information & Management*, Vol. 40(3), S. 191-204, 2003.
- [Lor00] N. M. Lorenzi und R. T. Riley: Managing change: An overview. *Journal of the American Medical Informatics Association*, Vol. 7(2), S. 116-124, 2000.
- [Rei16] J. Reinhardt, J. Schmidtler, M. Körber und K. Bengler: Follow Me! Wie Roboter Menschen führen sollen. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Vol. 70(4), S. 203-210, 2016.
- [Sam88] W. Samuelson und R. Zeckhauser: Status quo bias in decision making. In: *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 1(1), S. 7-59, 1988.
- [Sch13] M. Schäfer und D. Keppler: Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung: Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen (Discussion paper No. 34). Berlin, 2013.
- [Sch15] J. Schmidtler, V. Knott, C. Hölzel, K. Bengler, C. M. Schlick und J. Bützler: Human centered assistance applications for the working environment of the future. In: *Occupational Ergonomics*, Vol. 12(3), S. 83-95, 2015.
- [Sma13] C.-A. Smarr: Towards a qualitative framework of acceptance of personal robots (Dissertation). Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 2013.
- [Tay95] S. Taylor und P. Todd: Assessing IT usage: The role of prior experience. In: *MIS Quarterly*, Vol. 19(4), S. 561-570, 1995.
- [Ven08] V. Venkatesh und H. Bala: Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. In: *Decision Sciences*, Vol. 39(2), S. 273-315, 2008.
- [Ven00] V. Venkatesh und F. D. Davis: A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. In: *Management Science*, Vol. 46(2), S. 186-204, 2000.
- [Ven03] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis und F. D. Davis: User acceptance of information technology: Toward a unified view. In: *MIS Quarterly*, Vol. 27(3), S. 425-478, 2003.
- [Vog13] K. Vogelsang, M. Steinhüser und U. Hoppe: A qualitative approach to examine technology acceptance. In: R. Baskerville und M. Chau (Eds.), *Proceedings of the 34th International Conference on Information Systems*, Milano, Italy, December 15-18, pp. 1-16. Atlanta, GA: Association for Information Systems. AIS Electronic Library (AISeL), 2013.
- [Wu12] P. F. Wu: A mixed methods approach to technology acceptance research. In: *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 13(3), S. 172-187, 2012.
- [You11] J. E. Young, J. Sung, A. Voidsa, E. Sharlin, T. Igarashi, H. I. Christensen und R. E. Grinter: Evaluating human-robot interaction. In: *International Journal of Social Robotics*, Vol. 3(1), S. 53-67, 2011.

KogniCoach

Entwicklung und Evaluierung eines in das Wohnumfeld integrierten persönlichen Trainers mit vernetztem Sessel

M. Hesse¹, A. F. Krause², L. Vogel³, T. Schack³ und T. Jungeblut¹

¹ AG Kognitronik & Sensorik, CITEC, Universität Bielefeld
mhese@cit-ec.uni-bielefeld.de, tj@cit-ec.uni-bielefeld.de

² MEDIABLIX IIT GmbH
post@andre-krause.net

³ AG Neurokognition und Bewegung - Biomechanik, CITEC, Universität Bielefeld
ludwig.vogel@uni-bielefeld.de, thomas.schack@uni-bielefeld.de

Kurzzusammenfassung

Der *KogniCoach* ist ein in das heimische Wohnumfeld integrierter persönlicher Trainer mit vernetztem Sessel, der niederschwellig die Beweglichkeit der Bewohner fördern und das Wohlbefinden steigern soll. Die Entwicklung und Evaluierung des technischen Assistenzsystems wurde gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft, Industrie sowie dem Sozial- und Gesundheitswesen durchgeführt und partizipativ gestaltet. Die Beschreibung des Entwicklungsprozesses beleuchtet daher, neben den technischen Aspekten des Systems, die ELSI-Begleitforschung sowie die theoretische und praktische Evaluierung.

Abstract

Development and evaluation of a personal trainer with connected armchair integrated into the home environment

The *KogniCoach* is a personal trainer integrated into the home environment with a connected armchair, which is supposed to promote the mobility of the residents in a low-threshold way and increase their well-being. The development and evaluation of the technical assistance system was carried out together with partners from science, industry as well as the social and health care sector and designed in a participatory manner. The description of the development process therefore highlights, besides the technical aspects of the system, the accompanying ELSI research as well as the theoretical and practical evaluation.

Keywords

Persönlicher Trainer, Smart Home, Adaption an den Nutzer, Mensch-Technik-Interaktion

1 Einleitung

Bei dem *KogniCoach* handelt es sich um einen in das Wohnumfeld integrierten persönlichen Trainer, der im Rahmen des Förderprojektes *KogniHome* (www.kogni-home.de) entwickelt wurde. Der *KogniCoach* soll die Beweglichkeit der Bewohner fördern und das Wohlbefinden steigern. Das System ist modular aufgebaut und bietet Fitnesstraining, Entspannungsmodus, Assistenzfunktionen und Diagnostik

an. Durch Adaption an die individuellen Bedürfnisse der NutzerInnen soll für lang anhaltende Motivation gesorgt werden.

Im folgenden Kapitel wird zunächst das Projekt *KogniHome* vorgestellt. In Kapitel 3 wird der Entwicklungsprozess vorgestellt, wobei näher auf die ELSI-Begleitforschung, die praktische Evaluierung und die NutzerInnenstudien eingegangen wird. Darauf folgend

wird in Kapitel 4 das umgesetzte System vorgestellt. Abschließend wird in Kapitel 5 eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben.

2 Projekt KogniHome

Das Projekt hatte das Ziel, eine Wohnung zu schaffen, die die Menschen in ihrem Alltag unterstützt und intuitiv zu bedienen ist. Im Zeitraum von Juli 2014 bis Dezember 2017 haben 14 Partner aus Wissenschaft, Industrie sowie dem Sozial- und Gesundheitswesen gemeinsam im Rahmen eines regionalen Innovationsclusters des BMBF-Förderschwerpunktes „Mensch-Technik-Interaktion im demografischen Wandel“ gemeinsam dieses Ziel verfolgt. Im Projekt sind zahlreiche Demonstratoren entstanden, die, wie in Abbildung 1 dargestellt, in eine 64 qm große Bestandswohnung integriert und miteinander vernetzt wurden.

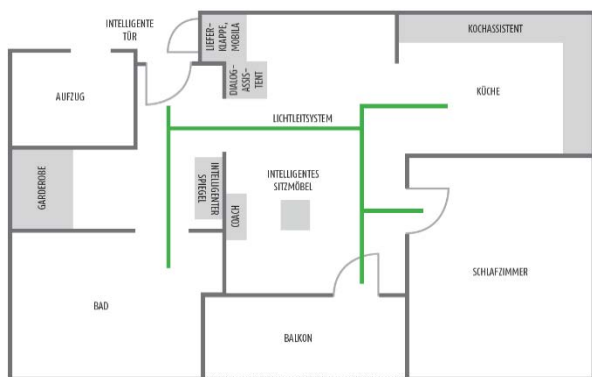


Abbildung 1: Grundriss der Forschungswohnung mit schematischer Darstellung aller Demonstratoren

So finden sich im Eingangsbereich eine intelligente Tür, eine vernetzte Garderobe und ein intelligenter Spiegel. Neben der Tür findet sich eine Lieferklappe mit einem mobilen Roboter. In der vernetzten Küche wurde ein Kochassistent [Neu17] und ein Medikamenten-Dispenser integriert. Im Wohnzimmer findet sich ein Dialogassistent mit Avatar und der *KogniCoach* mit vernetztem Sessel. Ein in den Boden integriertes Lichtleitsystem [Sch16, Eße17] verbindet alle Räume der Wohnung.

3 Entwicklungsprozess

Die Entwicklung im Projekt basierte auf der Definition verschiedener Anwendungen für fiktive Personas. So wurde durch das Konsortium in gemeinsamen Workshops die Familie „Becker“ als prototypische NutzerInnen von *KogniHome* konstruiert. Die Familie deckt einen Altersbereich von 3-80 Jahren ab, wobei auch verschiedene physische und kognitive Fähigkeiten definiert wurden. Ziel der Entwicklung im Projekt war es, dass jeder Lebensbereich bzw. jeder Demonstrator eine Funktionalität für jedes Mitglied der Familie „Becker“ bereitstellt. Um dieses Ziel zu erreichen wurden in zwei Workshops Use-Cases (UC) definiert. Von den initial 80 formulierten UC wurden nach anschließender Gewichtung nach Relevanz und technischer Umsetzbarkeit schlussendlich 22 umzusetzende UC ermittelt. Für den *KogniCoach* wurden vier verschiedene UC definiert. So beschreibt der UC „Personal Fitness Coach“ das übergeordnete System und die UC „Aktivierendes Sitzmöbel“ und „Entspannendes Sitzmöbel“ die Einbindung eines vernetzten Sessel. Zu jedem UC wurden als Unterpunkte Anwendungen für verschiedene Personas der Familie „Becker“ definiert. Zusätzlich sollte im UC „Aktivitätsmonitoring“ die Aktivität während der Übungen gemessen und in Form des Energieumsatzes quantifiziert werden.

Im Folgenden wird die Entwicklung des *KogniCoach* und dessen Verzahnung mit anderen Teilprojekten des Projektes aufgezeigt. Der partizipative Entwicklungsprozess wird anhand der ELSI-Begleitforschung, der direkten Einbindung der potentiellen NutzerInnen durch praktische Evaluierungen und der Durchführung von NutzerInnenstudien beschrieben.

3.1 ELSI-Begleitforschung

Neben den ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekten wurden im Projekt auch die sicherheitstechnischen Aspekte untersucht. Die Ergebnisse, Praxisbeispiele und Erfahrungen dieser ELS(S)I-Forschung wurden in einer Broschüre zusammen gefasst [Exz17]. Im Folgenden wird ein Überblick gegeben.

Die Sicherheitsforschung arbeitete an der vertraulichen und verschlüsselten Kommunikation innerhalb der vernetzten Wohnung sowie der Identifizierung und Authentifizierung der NutzerInnen.

In der rechtswissenschaftlichen Begleitforschung wurden in juristischen Kolloquien Fragen des allgemeinen Persönlichkeitsrechts, insbesondere des Grundrechts auf informationelle Selbstbestimmung und der Integrität und Vertraulichkeit informationstechnischer Systeme erörtert.

Bezüglich der ethischen Aspekte waren die drei durchgeführten Ethik-Workshops nach dem MEESTAR-Modell [Man15] ein wichtiges Instrument, mit dem die Auswirkungen der technischen Systeme auf die Dimensionen Autonomie, Fürsorge, Privatsphäre, Sicherheit, Teilhabe und Gerechtigkeit untersucht wurden.

Zudem wurden Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit in Bezug auf die Akzeptanz untersucht.

Zwischen den ELS(S)I-Partnern und der technischen Entwicklung fand durch gemeinsame Arbeitskreise ein regelmäßiger Austausch statt, in dem gemeinsam das weitere Vorgehen definiert wurde.

Die gemeinsame technische Entwicklung folgte dabei dem Prinzip des *Universal Designs*, also der Annahme, dass die Bedienbarkeit von Technik durch Menschen mit Einschränkungen garantiert, dass andere diese auch nutzen können. Somit wurde die Handhabung der Prototypen und Demonstratoren im Besonderen durch Menschen mit Einschränkungen getestet. Da zudem Personen aus dem Umfeld potentieller NutzerInnen zur Zielgruppe gehören, wurde eine Befragung mit 122 MitarbeiterInnen (90 weiblich, 23 männlich, 5 o.A.) der v. Bodelschwingsche Stiftungen Bethel (<https://www.bethel.de>) durchgeführt. Wichtiger Bestandteil der aufgebauten partizipativen Infrastruktur [Fri17] ist das PIKSL-Labor (<https://piksl.net/locations/bielefeld>), welches als Forschungswerkstatt dient, in der sowohl Studien zu grundlegenden technischen Möglichkeiten (z.B. Com-

puter, Smartphone), als auch geplanten technischen Neuerungen durchgeführt wurden. Zu diesem Zweck wurden Messinstrumente zur Erfassung von Usability in leichter Sprache [Bun14] entwickelt und allen Projektpartnern für Studienvorhaben im Rahmen von Handhabungstests zur Verfügung gestellt. Als weitere Infrastruktur standen für praktische Evaluierungen die Labore der Forschungspartner und die in Kapitel 2 beschriebene Forschungswohnung zur Verfügung.

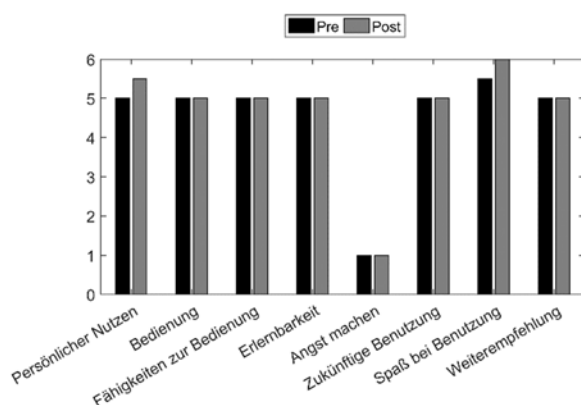
Die im Projekt formulierten ethischen Leitlinien wurden in einer Broschüre [Inn17] zusammengefasst, so dass diese als Basis für die zukünftige Entwicklung technischer Assistenzsysteme dienen können.

3.2 NutzerInnenstudien

Zu Beginn des Projekts wurde unter den NutzerInnen des PIKSL-Labors und online eine Befragung zu verschiedenen potentiellen Eigenschaften des Systems durchgeführt. Nach der Entwicklung des Demonstrators erfolgte eine praktische Evaluierung des Systems in der Forschungswohnung. Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden Studien deskriptiv zusammengefasst.

An der ersten Befragung nahmen 209 Personen (85 weiblich, 120 männlich, 4 o. A.) teil, die zu zwei Dritteln zwischen 26 und 50 Jahre alt waren. Drei Viertel der Befragten gaben an, einen Sessel zu besitzen und diesen regelmäßig zum Entspannen, zum Lesen oder zum Fernsehen zu benutzen. Lediglich bei einem Fünftel der Befragten war der Sessel verstellbar und ebendiese unzureichende Verstellbarkeit bzw. Flexibilität wurde von einem Drittel der Befragten als störend empfunden. Von den Befragten wurden die Eigenschaften Entspannungsfunktion (ca. 80%), mechanische Verstellung (ca. 66%), motorische Verstellung (ca. 50%) sowie Multimediafunktion (ca. 40%) als wünschenswert betrachtet. Eine Aufstehhilfe wurde von knapp 60% als unnötig eingestuft. Ein intelligenter Sessel sollte manuell über vielfältige Bedienelemente wie Tasten, Knöpfe, Touchdisplays oder das Smartphone zu steuern sein. Die abgefragten Eigenschaften des Sessels waren vorgegeben,

konnten aber individuell ergänzt werden. Gegen Ende des Projektes erfolgte in der zweiten NutzerInnenstudie eine praktische Evaluierung des Systems durch 14 Versuchspersonen (5 weiblich, 9 männlich). An der Studie nahmen sowohl ältere Menschen (>66 Jahre alt, n=4), als auch Menschen mit körperlicher und/oder geistiger Einschränkung teil (n=10). Die Versuchspersonen (VP) wurden zunächst über die Eigenschaften des Systems aufgeklärt und zu ihren Erwartungen an das System befragt (Pre-Test). Anschließend testeten die VP die Funktionen des Systems und bewerteten diese. Nach der Testung des Systems sollten die VP erneut die Kategorien aus dem Pre-Test bewerten (Post-Test). Die Bewertungen erfolgten auf einer sechsstufigen Ordinalskala (1 = trifft gar nicht zu, bis 6 = trifft sehr zu). Die Ergebnisse der Pre-Post-Test Befragung anhand des verwendeten Technologieakzeptanzmodells [Dav89] sind in Abbildung 2 dargestellt.



stellt.

Abbildung 2: Durchschnittliche Bewertung (Median) der Versuchspersonen (n=14) vor (Pre) und nach (Post) der Testung des Systems (1= trifft gar nicht zu, bis 6=trifft sehr zu)

Die VP glaubten sowohl vor, als auch nach der Testung, dass das System einfach zu bedienen ist („Bedienung“ = 5) und sie auch die Fähigkeiten dazu besitzen das System zu nutzen („Fähigkeiten zur Bedienung“ = 5). Ebenso waren die VP der Meinung, dass der Umgang mit dem System einfach zu erlernen ist („Er-

lernbarkeit“ = 5), sie das System künftig nutzen würden („Zukünftige Benutzung“ = 5) und es auch weiterempfehlen würden („Weiterempfehlung“ = 5). Nach der Testung des Systems waren mehr Personen der Ansicht, dass das System einen persönlichen Nutzen für sie haben könnte und sie Spaß an der Benutzung haben würden („Persönlicher Nutzen“ und „Spaß bei der Benutzung“). Das System wurde sowohl vor als auch nach der Testung nie als Angst einflößend eingeschätzt („Angst machen“ = 1). Insgesamt hat das praktische Ausprobieren die Einstellung zum System nicht grundlegend geändert. Bereits vor der Testung des Systems waren die Erwartungen an das System und deren Eigenschaften hoch. Auch nach der Testung fielen die Bewertungen äußerst positiv aus. Es sollte bei diesem Versuchsdesign jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass die positiven Bewertungen des Systems u.a. durch einen Versuchsleitereffekt durch die direkte Befragung bei der Testung des Systems entstanden sein könnten. Bei der Testung des Systems bewerteten die VP sowohl die Eigenschaften der Aktorik und die Bedienung des Systems, als auch die Bewegungsübungen des Systems auf einer sechsstufigen Skala. Die Hinsetzhilfe und Liegeposition wurde mit „gut“ bewertet, ebenso wie die Sitzposition und die Aufstehhilfe. Die Positionierung der Tasten wurde nur mit „gut - befriedigend“ bewertet, da die Tasten für manche Versuchspersonen an der Innenseite der Lehne schwer erreichbar waren. Die Gestensteuerung wurde mit „befriedigend“ bewertet. Für einige Teilnehmer wurde das Menü durch die Gestensteuerung zu schnell gewechselt, oder aber die Beweglichkeit der Arme war nicht vorhanden. Diese Parameter wurden nachfolgend einstellbar gestaltet. Vor und nach der Durchführung der Bewegungsübungen konnten sich ca. 70% der VP vorstellen, häufiger Sportübungen mit dem System durchzuführen. Die kurze Testung des Bewegungsprogramms konnte die Versuchspersonen mit zuvor ablehnender Einstellung zum Sport im häuslichen Umfeld nicht umstimmen (n=4). Alle Übungen wurden von den VP auf der niedrigsten Intensitätsstufe durchgeführt und

wurden insgesamt im Durchschnitt als moderat anstrengend (Stufe 3 von 6) bewertet.

3.3 Praktische Evaluierung

Die praktischen Evaluierungen des Systems in der Struktur aus Laboren der Forschungspartner, des PIKSL-Labors und der Forschungswohnung ermöglichte die Testung des Systems durch einen erweiterten Personenkreis. So wurde bereits der erste funktionsfähige Prototyp des *KogniCoach* durch KlientInnen der vBS Bethel praktisch getestet (siehe Abbildung 3).

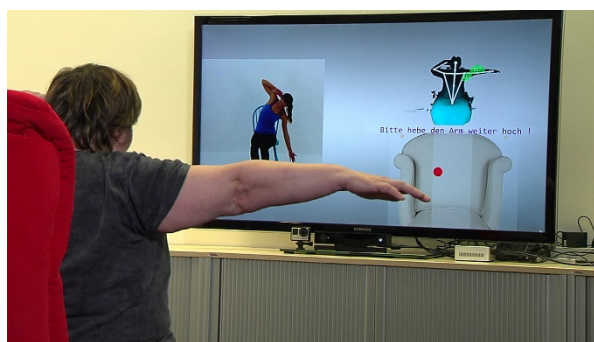


Abbildung 3: Früher Versuch mit einer Klientin der vBS Bethel

Neben den Evaluierungen mit einzelnen KlientInnen und zahlreichen Demonstrationen des Systems bei Presseterminen und für interessierte Besuchergruppen wurde das System auch auf öffentlichen Veranstaltungen präsentiert. Beispiele finden sich in der „Bethel Woche der Gesundheit und Bewegung“ in Bielefeld, dem „3. Zukunftskongress *Technik zum Menschen bringen* des BMBF“ in Bonn und dem „GENIALE Science-Festival“ (<https://www.uni-bielefeld.de/geniale>) in Bielefeld.

Im Rahmen dieser praktischen Evaluierungen konnten zahlreiche direkte Rückmeldungen aufgenommen werden, die in die Entwicklung mit einfließen sind. Beispiele finden sich hier in der Bedienbarkeit und der Ausgestaltung der Übungen.

4 Umgesetztes System

Im Folgenden werden das umgesetzte System, dessen Bedienung und die für die NutzerInnen implementierten Funktionen vorgestellt. Der

Stand der Technik in diesem Bereich und technische Details finden sich in einer vorherigen Publikation der Autoren [Hes17].

4.1 System

Das Gesamtsystem *KogniCoach*, welches in Abbildung 4 dargestellt ist, setzt sich aus der Basisstation und dem *KogniChair* zusammen, wobei beide Teilsysteme miteinander vernetzt sind.



Abbildung 4: *KogniCoach* mit Basisstation und dem vernetzten Sessel *KogniChair*

Die Basisstation des Systems besteht aus einem Mini-PC, einem Fernseher sowie einer Kinect v2 und bietet neben markerlosem Bewegungstracking eine natürliche Interaktion mittels Sprache und Geste an.

Der *KogniChair* ist ein Relaxsessel mit integrierten Kraftsensoren, Aktoren und Steuerungselektronik. Über eine Funkschnittstelle können Sensordaten, Statusmeldungen und Steuerbefehle mit der Basisstation ausgetauscht werden. Das System erkennt die Handlungen des Nutzers, verarbeitet diese und adaptiert sich an dessen persönliche Bedürfnisse. Da alle technische Komponenten in den Sessel integriert wurden, fügt sich das System nahtlos in die Wohnumgebung ein.

Es werden verschiedene, an die körperliche Situation der benutzenden Person angepasste, Fitness- und Entspannungsübungen angeboten. Die Abfolge der einzelnen Bewegungsphasen wird dabei vom System angeleitet und durch die Kinect und die Kraftsensoren überwacht. Der Sessel passt sich mittels Aktorik an die jeweilige Übung und den gewünschten

Schwierigkeitsgrad an. Die kontinuierliche Überwachung der Herzrate mittels Smartwatch verhindert eine Überbelastung.

4.2 System

Das System lässt sich mittels Zeigegesten steuern. Dafür wurde ein eigenes Interaktionsmodell implementiert, welches das Standardinteraktionsmodell von Microsoft durch eine deutlich größere physische Interaktionszone und ein Tiefenbild des Nutzers verbessert [Kra18]. Die Kinect v2 erkennt dabei die Position der Nutzerhand und koppelt einen Bildschirmscursor an die Handbewegungen. In Kombination mit extra-großen, vertikal angeordneten Buttons (siehe Abbildung 5) ergibt sich so ein leicht bedienbares Nutzerinterface. Für Menschen, welche ihre Arme nicht nutzen können oder möchten, wurde alternativ auch eine Sprachsteuerung implementiert, welche auf die jeweiligen zu den Buttons assoziierten Schlüsselwörter reagiert.



Abbildung 5: Menü des *KogniCoach* bei aktiver Gestensteuerung

4.3 Fitnesstraining

Das Fitnesstraining beinhaltet Ausdauerübungen zur Stärkung des kardio-vasculären Systems, eine komplexe Hantelübung zur Förderung der Koordination, Übungen aus der Hockergymnastik und spielerische Übungen.

Das Hantel-Training besteht aus einer Sequenz verschiedener Hantelhalteposturen, z.B. soll der Nutzer in einer dieser Posturen die Arme parallel nach vorne durchgestreckt im 90° Winkel zum Oberkörper halten. Die Bewegungsausführung und Gelenkwinkel werden mittels Kinect v2 begleitet und gemessen.

Zeigt der Nutzer z.B. Ermüdungserscheinungen und hält die Arme nicht auf 90°, so werden entsprechende Hinweise via Sprachausgabe und Text ausgegeben. Das Anleitungsvideo wird dabei so lange pausiert, bis die korrekte Postur eingenommen wurde. Sobald die korrekte Postur für einen definierten Zeitraum gehalten wurde, wird die nächste Postur im Anleitungsvideo präsentiert. Der Coach ist in der Lage, sich individuell an die NutzerInnen anzupassen. So wird z.B. die Gelenkwinkeltoleranz zum Erreichen der Zielpostur bei Bedarf großzügiger dimensioniert.



Abbildung 6: Übung Seitenbeuge: Anleitungsvideo, Tracking der Bewegungsausführung mittels Kinect und Kraftsensoren sowie Darstellung der Herzrate

Die Übung Seitenbeuge aus der Hockergymnastik kombiniert Sensordaten von der Kinect v2 über die korrekte Armhaltung (siehe Abbildung 6) mit Sensordaten des Sessels über die richtige Körpergewichtsverlagerung. Passen alle Daten zur angeleiteten Bewegungsausführung, wird auch hier das pausierte Anleitungsvideo fortgesetzt. Der Coach passt sich den NutzerInnen an, indem die gewünschten Gelenkwinkeltoleranzen und die benötigte Gewichtsverlagerung individuell eingestellt werden.

In einem weiteren Übungsmodul, dem „Planking“, wird die Rumpfmuskulatur gestärkt. Dazu verfährt der Sessel in eine Liegeposition. Die Aufgabe der NutzerInnen ist es, den Rumpf von der Sitzfläche zu heben und diese Postur für eine definierte Zeit zu halten. Danach wird der Rumpf abgesenkt und die

Übung wiederholt. Die Kraftsensoren im Sessel registrieren dabei die Rumpfhhebung.

Um abseits der reinen Fitnessübungen auch den spielerischen Aspekt zu integrieren, wurde exemplarisch „Pong“ - eine Art Bildschirmtennis - mittels Kinect-Steuerung implementiert. Handbewegungen steuern hier das Paddle, welches einen Puck reflektiert. Gespielt wird zu zweit gegeneinander, wobei das Paddle durch vertikale Handbewegungen und Gewichtsverlagerung im Sessel kontrolliert werden kann.

4.4 Fitnesstraining

Zum Stressabbau wurde ein Entspannungsmodus integriert. Dieser bietet eine geleitete Meditation zum Thema „Strandspaziergang“ an, welche durch angeleitete Imaginations- und Atemübungen hilft, Ängste zu lösen und zu entspannen. Die geleitete Meditation wird optional audiovisuell durch eine VR-Umgebung angereichert. Die NutzerInnen können sich hierzu eine VR-Brille aufsetzen und so die gefühlte Präsenz an einen tropischen Strand verlagern, um den Entspannungseffekt zu verstärken. Der Sessel verfährt dabei unterstützend in eine Liegeposition.

4.5 Assistenzfunktionen

Darüber hinaus erkennt der *KogniChair* die Handlungen des NutzerInnen, verarbeitet diese und adaptiert sich an die persönlichen Bedürfnisse. So wird eine Annäherung an den Sessel mittels der empfangenen Signalstärke der Smartwatch erkannt und kann mit individuellen Aktionen verknüpft werden. Beispielsweise kann automatisch die Aufstehhilfe aktiviert werden, wobei der Sessel solange die Sitzfläche nach oben fährt, bis die Maximalposition erreicht ist oder mittels der Kraftsensoren ein Hinsetzen detektiert wird. Sobald sich eine Person hinsetzt, verfährt der Sessel in eine Sitzposition. Somit kann die sich setzende Person ohne Knopfdruck oder sonstige Eingabe in der für Sie persönlich optimalen Höhe Platz nehmen. Analog dazu wurde eine Aufstehhilfe umgesetzt. Alle Aktionen und Positionen des *KogniChair* können auch manuell über das Menü des *KogniCoach* oder die

in den Armlehnen verbauten Taster gesteuert werden. Diese überschreiben sämtliche Automatismen des Systems, so dass der Mensch stets die Kontrolle behält.

4.6 Neurokognitive Diagnostik

Um eine optimale Bewegungsausführung der Übungen zu gewährleisten, besitzt das System, neben dem Tracking der Bewegungsausführung, eine Diagnosesoftware zur Erfassung der kognitiven Bewegungsstruktur im Langzeitgedächtnis. Als Grundlage hierfür gilt die Annahme, dass menschliche Bewegungen im Gedächtnis gespeichert sind und die Gedächtnisstruktur bei der Bewegungsausführung eine zentrale Rolle spielt [Sch04]. Diese mentalen Repräsentationen von Bewegungen können mit Hilfe der Struktur-Dimensionalen-Analyse Mentaler Repräsentationen (SDA-M) ermittelt werden [Sch12]. Durch die Integration dieser Methode ist das System in der Lage, Bewegungsprobleme anhand der Gedächtnisstruktur zu diagnostizieren und Rückmeldungen zur richtigen Bewegungsausführung zu geben. Durch die kontinuierliche Diagnostik im angeleiteten Trainingsprozess ist es möglich, im Sinne des dynamischen Testens [Gri98], das Lernpotential der NutzerInnen zu bestimmen und in der Zone der nächsten Entwicklung trainieren zu lassen. Zudem können diese Informationen für die nutzerangepasste Übungsauswahl, individualisierte Trainingspläne und die Evaluation der Trainingshistorie genutzt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem *KogniCoach* wurde ein technisches Assistenzsystem entwickelt, welches sich unauffällig in das heimische Wohnzimmer einfügt und in der Lage ist, Bewegung im heimischen Umfeld niederschwellig und somit langfristig zu fördern. Die direkte und mitforschende Einbindung der ELS(S)I-Partner in die technische Entwicklung führte zu einem partizipativen Prozess, in dem technische Aspekte agil an die Bedürfnisse und Rahmenbedingungen angepasst werden konnten. So ermöglichten die Begleitforschung und die direkten Rückmeldungen der theoretischen und

praktischen Evaluierung iterative Anpassungen hinsichtlich Funktionalität und Bedienbarkeit. Verbesserungspotentiale im Prozess ergeben sich rückblickend bei der Einbindung der NutzerInnen bei der Definition der Use-Cases anhand der persönlichen Bedarfe und der Häufigkeit der praktischen Tests. So sollen zukünftig auch bereits Teilkomponenten wie einzelne Sensorsysteme (z.B. mittels geeigneter Visualisierung der Messdaten) mit allen Beteiligten evaluiert werden. Zudem sollte die Evaluierung von unabhängigen Personen begleitet werden.

Zur Fortführung des Projekts wurde im De-

zember 2017 der Verein „KogniHome - Technikunterstütztes Wohnen für Menschen e.V.“ gegründet.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt vom Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie CITEC (EXC 277) der Universität Bielefeld, welcher von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert wird und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts „KogniHome: Vernetztes Wohnen - die mitdenkende Wohnung“.

Literatur

- [Rab16] N. B. Rabah, R. Saddem, F. B. Hmida, V. Carre-Menetrier and M. Tagina: Intelligent Case Based Decision Support System for Online Diagnosis of Automated Production System. In: 13th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD 2016), 2016.
- [Dav89] F. D. Davis: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. In: MIS quarterly, S. 319-340, 1989.
- [Eße17] C. Eßelmann, K. Gabel und E. Schwenzfeier-Hellkamp: Realization of a Test Setup for a Smart Light Guiding System with Assistance Functions for Elderly People. In: Lux Europa 2017, 2017.
- [Exz17] Ethische Leitlinien für das Projekt KogniHome - die mitdenkende Wohnung. Innovationscluster KogniHome der Universität Bielefeld. URL: https://www.kognihome.de/sites/kogni-home.de/files/2017-06-29%20KogniHome_Ethische%20Leitlinien_Layout.pdf.
- [Inn17] Ethische, rechtliche, soziale und sicherheitstechnische Implikationen im Innovationscluster KogniHome - die mitdenkende Wohnung. Ergebnisse, Praxisbeispiele & Erfahrungen. Innovationscluster KogniHome der Universität Bielefeld. URL: https://www.kogni-home.de/sites/kogni-home.de/files/web_ELSI_KogniHome.pdf.
- [Fri17] S. Friedhof: Partizipative Entwicklung technischer Assistenzsysteme. Umsetzung und Erfahrungen aus dem Projekt „KogniHome“. In: Gestaltung des Sozial und Gesundheitswesens im Zeitalter von Digitalisierung und technischer Assistenz. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG., S. 187–206, 2017.
- [Gri98] E. L. Grigorenko und R. J. Sternberg: Dynamic testing. In: Psychological Bulletin 124.1, S. 75, 1998.
- [Hes17] M. Hesse, A. F. Krause, L. Vogel, B. Chamadiya, M. Schilling, T. Schack und T. Jungeblut: A Connected Chair as Part of a Smart Home Environment. In: 2017 IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN). Mai 2017, S. 47–50. DOI: 10.1109/BSN.2017.7936004, 2017.
- [Kra18] A. F. Krause, K. Essig und T. Schack: Improving Kinect-2 based User-Interface Interaction. In: Smart ASSIST: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 3. Transdisziplinäre Konferenz, 2018.

- [Man15] A. Manzeschke: MEESTAR—ein Modell angewandter Ethik im Bereich assistiver Technologien. In: *Technisierung des Alltags—Beitrag zu einem guten Leben*, S. 263–283, 2015.
- [Neu17] A. Neumann, C. Elbrechter, N. Pfeiffer-Leßmann, R. Kõiva, B. Carlmeier, S. Rüther, M. Schade, A. Ückermann, S. Wachsmuth, H. J. Ritter: “KogniChef”: A Cognitive Cooking Assistant. In: *KI - Künstliche Intelligenz*, S. 273–281, 2017.
- [Sch04] T. Schack: The cognitive architecture of complex movement. In: *International journal of sport and exercise psychology* 2.4, S. 403-438, 2004.
- [Sch12] T. Schack: Measuring mental representations. In: *Measurement in sport and exercise psychology* 8, S. 203-214, 2012.
- [Sch16] E. Schwenzfeier-Hellkamp, K. Gabel und C. Neculau: Sichere Evakuierung und Orientierung: Eignung eines optischen Leitsystems für das private Wohnumfeld. In: *Zukunft Lebensräume*, 2016.

Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention einer Stress-Management-App

Weder positive noch negative Effekte von Empfehlungen und Bonusprogrammen durch Krankenkassen

C. A. Faust-Christmann¹, J. Spilski², J. Mayer² und G. Bleser¹

¹ TU Kaiserslautern, Fachbereich Informatik, AG wearHEALTH
christmann@cs.uni-kl.de, bleser@cs.uni-kl.de

² TU Kaiserslautern, Fachbereich Sozialwissenschaften, Center for Cognitive Science
jan.spilski@sowi.uni-kl.de, jochen.mayerl@sowi.uni-kl.de

Kurzzusammenfassung

Anlässlich der aktuellen Debatte, ob und wie Krankenkassen Gesundheits-Apps als neue Form der digitalen Gesundheitskommunikation bereitstellen sollten, wurde in Zusammenarbeit mit FORSA eine randomisierte Onlinebefragung mit 1030 Erwachsenen durchgeführt. Ziel war es zu prüfen, ob neben den aus dem Technologieakzeptanzmodell bekannten Prädiktoren, zusätzlich externe Anreize und Empfehlungen durch die Krankenkassen, sowie Datenschutzbedenken einen Einfluss auf die Nutzungsintention einer Gesundheits-App nehmen. Dazu wurde die Stress-Management-App „Stress-Mentor“ in drei Varianten mit unterschiedlichem Krankenkassenbezug präsentiert. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Intention, eine App wie Stress-Mentor zu nutzen, eher durch intrinsische Motive gefördert wird, als durch Empfehlungen oder durch extrinsische Anreize der Krankenkassen.

Abstract

Factors that modulate the intention to use a stress management app: Neither positive nor negative effects with regard to recommendations of health insurers

In view of the debate on health insurers as providers of health apps to achieve a new form of digital health communication, a randomized online survey including 1030 adults was conducted. The goal was to find out whether external incentives and recommendation from health insurers and privacy concerns can modulate the intention to use health apps in addition to the predictors from the technology acceptance model. The stress management app “Stress-Mentor” was presented with or without recommendation and incentives from health insurers. The results revealed, however, that the intention to use the app is rather influenced by intrinsic motives.

Keywords

Mobile Gesundheit, extrinsische Motivation, intrinsische Motivation, randomisierte Onlinebefragung, Technologieakzeptanzmodell, Stress-Mentor

1 Einleitung

Gesundheits-Apps bieten eine neue Form der digitalen Gesundheitskommunikation [S118]. Dies haben auch die deutschen Krankenversicherungen erkannt und wählen Gesundheits-Apps zunehmend als Mittel um ihrer Pflicht zur gesundheitlichen Aufklärung und Beratung nachzukommen.

1.1 Gesundheits-Apps und Krankenkassen

Im Jahr 2017 wurden in Deutschland bereits 109 Apps durch die Krankenkassen angeboten (75 Apps durch gesetzliche Krankenkassen und 34 Apps durch private Krankenkassen) [Fgw18]. Wünschenswert seitens der Kran-

kenkassen wäre hierbei, dass die zur Verfügung gestellten Apps zu einer Verbesserung des gesundheitsbewussten Verhaltens, der Adhärenz und der Compliance bei den Versicherten führen und somit langfristig zu einer Kostenreduktion in der Versorgung beitragen [Alb16].

Zur Akzeptanz solcher Angebote seitens der Versicherungsnehmer ist allerdings nicht viel bekannt. Ein Indiz für mangelnde Akzeptanz ist, dass im Jahr 2016 von den Apps der gesetzlichen Krankenkassen im Google Play Store nur jede zehnte App über 50.000 Downloads erzielte [Kra16]. Was im Vergleich zu 72260000 gesetzlich Versicherten einen geringen Wert darstellt [Sta18].

Zudem zeigte eine Online-Befragung von insgesamt 2.552 Mitgliedern des Stakeholder Panels zur Technologiefolgenabschätzung im Auftrag des Deutschen Bundestags, dass die Mehrheit der Befragten (54.0% stimme zu, 22.4% stimme eher zu) der Meinung sind, dass von Krankenkassen bereitgestellte Gesundheits-Apps Druck auf den Versicherten üben, gesundheitsbezogene Daten zu erheben [Ehk17].

Zwar dürfen die gesetzlichen Krankenversicherungen aufgrund des Solidaritätsprinzips keine verhaltensabhängigen Versicherungstarife anbieten, einige bieten aber bereits Anreize zur Nutzung von Gesundheits-Apps und Fitness-Trackern innerhalb ihrer Bonusprogramme [Hhg18].

Diesbezüglich sprachen sich die meisten Befragten (49.5% stimme nicht zu, 18% stimme eher nicht zu) dagegen aus, dass Gesundheits-Apps genutzt werden sollten um das Gesundheitsverhalten von Versicherten zu messen und gesundheitsförderndes Verhalten zu belohnen [Ehk17].

Wie sich Empfehlungen und Miteinbinden in die Bonusprogramme von Krankenkassen konkret auf die Nutzungsintention von Gesundheits-Apps auswirken, wenn keine Daten an den Versicherer weitergegeben werden, ist bisher jedoch nicht geklärt und soll erstmals mit der hier präsentierten Studie beleuchtet werden. Einerseits sind positive Effekte auf die Nutzungsintention durch die Empfehlung

von der Krankenkasse denkbar. Schließlich kann der potentielle Nutzer davon ausgehen, dass die App im Gegensatz zu vielen in den Stores erhältlichen Apps, auf Qualität geprüft wurde [Chb17, Whh12]. Gleiches gilt für eine Kombination aus Empfehlung und Miteinbinden in die Bonusprogramme der Krankenkassen. Schließlich ist es das Ziel der Bonusprogramme Anreize für gesundheitsbewusstes Verhalten zu schaffen [Deu03]. Ob solche finanziellen Anreize ausreichen um die Versicherten wirklich zu bestimmten Gesundheitsaktivitäten zu motivieren, ist jedoch unklar [Ft11].

1.2 Vorhersage der Nutzungsintention

Vorhersagen der Nutzungsintention von Technologien werden häufig im Rahmen des Technologieakzeptanzmodells getroffen [Dbw89, Vd00, Vb08].

Studien zu Gesundheits-Apps verdeutlichen dabei, dass neben den üblichen Kernkonstrukten wie der wahrgenommenen Nützlichkeit, Handhabbarkeit und Nutzerfreude, vor allem auch intrinsische Motivationsfaktoren, z. B. das Gesundheitsbewusstsein [Cqp14], eine bedeutende Rolle spielen. Laut dem Mobile Health Report, werden Gesundheits-Apps vor allem von Frauen unter 50 Jahren, mit hohem Bildungsstatus und Haushaltsnettoeinkommen genutzt, die in den letzten 12 Monaten eine Veränderung des Gesundheitszustands erfahren haben [Fd12]. Der persönliche Leidensdruck und die damit wahrgenommene Bedrohung scheinen somit ein bedeutendes persönliches Motiv zu sein Gesundheits-Apps zu nutzen [Kp12].

Zudem sollte die Rolle von Datenschutzbedenken beleuchtet werden. Schließlich beeinflusst das Vertrauen in den App-Entwickler die wahrgenommene Nützlichkeit einer Gesundheits-App positiv [Bh17], wohingegen Bedenken in Bezug auf Datenschutz als möglicher Hinderungsgrund für die Nutzung von Gesundheits-Apps identifiziert wurde, und zwar insbesondere bei Älteren [Rwb18].

1.3 Ziel der Studie

Ob externe Anreize und Empfehlungen durch die Krankenkassen Einfluss auf die Nutzungsintention von Gesundheits-Apps und deren Prädiktoren üben oder eher zu Datenschutzbedenken führen, ist bisher unbekannt und wurde mit der hier präsentierten Studie erstmals mit einer randomisierten Onlinebefragung untersucht.

2 Methode

Stress-Management ist neben Fitness und Ernährung eines der häufigsten Präventionsthemen von Gesundheits-Apps der Krankenversicherungen [Sti16]. Zudem eignet sich das Thema Stress-Management für eine sehr breite Zielgruppe, unabhängig vom körperlichen Fitnesslevel oder Nahrungsmittelintoleranzen, und wurde deshalb als Gesundheitsthema für die vorliegende Studie ausgewählt.

2.1 Ablauf

Jeder Proband wurde im Rahmen eines Online-Fragebogens [Lee15] zufällig einer von drei experimentellen Bedingungen (1. Ohne KK, 2. Empfehlung KK, 3. Empfehlung + Bonusprogramm KK) mit unterschiedlicher Einleitung zugeordnet:

„Eine aktuelle Empfehlung Ihrer Krankenkasse (nur in Bedingung 2 und 3 enthalten): Die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Jungforschergruppe wearHEALTH an der Technischen Universität Kaiserslautern hat die folgende Stress-Management Applikation für Smartphones entwickelt (in allen 3 Bedingungen enthalten). Ihre Krankenkasse unterstützt die Nutzung der App als Teil ihres Bonusprogramms in Form einer Geldgutschrift“ (nur in Bedingung 3 enthalten).

Um die Aufmerksamkeit auf die Einleitung zu lenken war diese jeweils „fett“ formatiert. Es folgte direkt die Textbeschreibung der App „Stress-Mentor“ [Chz18, Czh18] und einige Screenshots:

„Ziel dieser App ist es, etablierte Stress Management Methoden zu vermitteln. Diese werden nach und nach auf spielerische Weise ein-

geführt. Die verwendeten Methoden sind dabei u.a. Selbstbeobachtung, Entspannungsverfahren, Umgang mit den eigenen Gedanken und Zeitmanagement. Die Auswahl und Reihenfolge der Methoden ist dabei personalisiert und von den jeweiligen Stress-Merkmalen des Nutzers abhängig. Um nachhaltige Effekte zu erzielen ist die Nutzungsdauer auf mehrere Monate ausgelegt. Durch das umfassende Gamification-Konzept der App entdeckt der Nutzer über diesen Zeitraum immer wieder etwas Neues und übernimmt dabei die Aufzucht eines kleinen Elwetritsch.

Alle Eingaben werden lediglich lokal auf Ihrem Smartphone gespeichert. Eine Übertragung der Daten an Dritte erfolgt nicht.“

2.2 Stichprobe

Die Stichprobenziehung erfolgte durch Forsa, da dieser Panelanbieter zu den wenigen Anbietern in Deutschland gehört, der eine möglichst unverzerrte Stichprobe zur Verfügung stellen kann. Insgesamt wurden $N = 1030$ Freiwillige von 18 bis 65 Jahren, die regelmäßig ein Smartphone benutzen, akquiriert. Sie waren hinsichtlich der Verteilung der Merkmale Alter und Geschlecht mit der entsprechenden Vergleichspopulation in Deutschland übereinstimmend. Dadurch wurde das Risiko von Konfundierungen bereits bei der Stichprobenziehung minimiert.

Die drei Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich Alter ($F(2,1027) = 0.392$, $p = .676$), sozioökonomischem Status nach Lampert [LKM13] ($F(2,1015) = 1.455$, $p = .234$) und Geschlechterverteilung ($\chi^2(2) = 1.299$, $p = .522$) (1. ohne KK: 38.792 Jahre, SES = 9.975, 51.695% Frauen, 2. Empfehlung KK: 39.405 Jahre, SES = 10.361, 49.587% Frauen, 3. Empfehlung + Bonusprogramm KK: 38.550 Jahre, SES = 9.991, 47.267% Frauen).

2.3 Fragenkatalog

Grundlage für den verwendeten Fragenkatalog bildet das Technologieakzeptanzmodell. Neben den bereits in der ersten Version des Modells enthaltenen Konstrukten wahrgenommene Nützlichkeit, Handhabbarkeit und

Nutzungsintention [Dbw89], wurden die folgenden bekannten Prädiktoren der Nutzungsintention abgefragt: subjektive Norm [Vd00], Nutzerfreude [Vb08] sowie Selbsteffizienz bei der Nutzung [Ban77].

Die Items zu jedem Konstrukt wurden dabei auf den Kontext einer Stress-Management-App angepasst. Die Beurteilung erfolgte auf einer 7-stufigen Skala von 0 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 6 = „stimme voll und ganz zu“.

Nützlichkeit:

- Mit der App lernt man mit Stress im Alltag besser umzugehen.
- Mit der App kann man lernen Stress zu reduzieren.
- Die App vermittelt für den Alltag wichtige Entspannungsmethoden.
- Insgesamt finde ich die App nützlich.

Handhabbarkeit:

- Die App scheint leicht zu bedienen sein.
- Die Handhabung der App scheint leicht zu erlernen zu sein.
- Es scheint so, als ob es einfach ist mit der App zu interagieren.
- Die Interaktion mit der App scheint klar und verständlich zu sein.

Nutzungsintention:

- Ich habe vor die App zu nutzen.
- Ich würde die App regelmäßig benutzen.
- Ich beabsichtige die App in naher Zukunft zu benutzen.

Subjektive Norm:

- Freunde und Bekannte, die Einfluss auf mich haben, denken, ich sollte die App benutzen.
- Freunde und Bekannte, die mir wichtig sind, denken, ich sollte Stress-Management-Apps verwenden.

Nutzerfreude:

- Das Benutzen der App macht vermutlich Spaß.
- Das Benutzen der App ist vermutlich angenehm.
- Ich hätte vermutlich Spaß beim Benutzen der App.

Selbsteffizienz:

- Ich könnte die App ohne Hilfe anderer nutzen.
- Ich könnte die App hinreichend gut alleine benutzen.
- Insgesamt bin ich überzeugt die App alleine bedienen zu können.
- Ich besitze das benötigte Wissen und Können zur Benutzung der App.

Da Datenschutzbedenken als häufiges Argument gegen die Verbreitung von Gesundheits-Apps durch die Krankenkassen angebracht werden, wurde die Einstellung zum Datenschutz ebenfalls erfasst [Sgo14, Kön08].

Datenschutzbedenken:

- Ich denke, dass die Verletzung der Privatsphäre heutzutage ein ernstzunehmendes Problem ist.
- Ich denke, dass die App meine Privatsphäre bedrohen würde.
- Ich habe Angst davor, dass andere auf Daten zugreifen, die durch die App gespeichert werden.

Zudem wurden folgende Indikatoren für die intrinsische Motivation verwendet:

Subjektiver Stresslevel:

Bei der Perceived Stress Scale (PSS [Ckm83], deutsche Version [Kbd16]) wird mit 10 Items auf einer 5 stufigen Skala von 0 = nie bis 4 = sehr oft, abgefragt, wie oft im letzten Monat das Leben als unvorhergesehen, unkontrollierbar und überfordernd erlebt wurde. Hohe Summenwerte entsprechen hohen Stresswerten.

Bedeutung von Stress-Management:

Zur Erfassung der subjektiven Bedeutung von Stress-Management wurden 10 gegenteilige Adjektivpaare (z.B. unwichtig = 0 vs. wichtig = 6) hinsichtlich folgender Aussage bewertet: „Methoden für den erfolgreichen Umgang mit Alltagsstress zu erlernen ist für mich...“ [Zai94]. Hohe Werte bezeichnen positive Bewertungen.

2.4 Datenauswertung

Die Items wurden durch Bildung des Mittelwerts zu den jeweiligen Skalen zusammengefasst. Für die Skalen wurden bivariate Korrelationen nach Pearson mit der Nutzungsintention berechnet. Zudem wurden für alle Skalen F-Tests zur Prüfung auf Gruppenunterschiede zwischen den drei Bedingungen durchgeführt.

3 Ergebnisse

Es wurden statistisch signifikante positive Korrelationen nach Pearson für alle untersuchten Konstrukte mit der Nutzungsintention gefunden (alle $p < .001$, siehe Tab. 1). Datenschutzbedenken waren signifikant negativ mit der Nutzungsintention ($r = -.109$, $p = .001$) und positiv mit dem Alter ($r = .222$, $p < .001$) korreliert.

Tabelle 1: Korrelationen Nutzungsintention

Konstrukt	r
Nützlichkeit	.599
Handhabbarkeit	.254
Nutzerfreude	.629
Subjektive Norm	.627
Selbsteffizienz	.239
Stresslevel	.459
Bedeutung	.627

Es fanden sich weder für die Nutzungsintention von Stress-Mentor ($F(2,1008) = 0.404$, $p = .666$), noch für Datenschutzbedenken systematische Gruppenunterschiede für die drei experimentellen Bedingungen ($F(2,1018) = 0.403$, $p = .668$, siehe auch Abb. 1).

Auch für die Prädiktoren der Nutzungsintention fanden sich keine Gruppenunterschiede (alle $p > .10$, siehe Tab. 2).

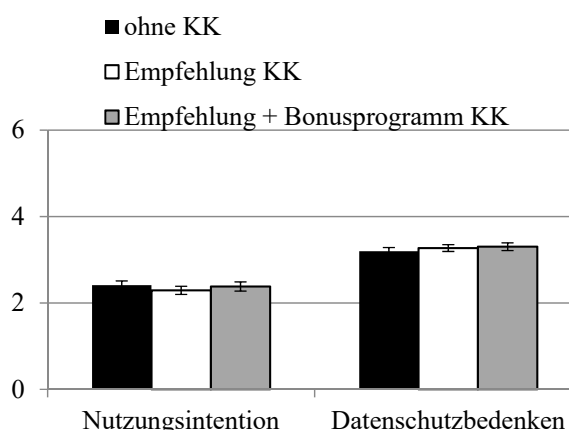


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardfehler in den 3 Gruppen für Nutzungsintention und Datenschutzbedenken

Tabelle 2: F-Tests Gruppenvergleich

Konstrukt	F	p
Nützlichkeit	0.803	.448
Handhabbarkeit	1.445	.236
Nutzerfreude	0.958	.384
Subjektive Norm	1.238	.290
Selbsteffizienz	0.387	.679
Stresslevel	1.893	.151
Bedeutung	0.650	.522

4 Diskussion

Ziel der Studie war es zu prüfen, ob externe Anreize und Empfehlungen durch die Krankenkassen Einfluss auf die Nutzungsintention von Stress-Mentor und dessen Prädiktoren üben oder eher zu erhöhten Datenschutzbedenken im Vergleich zu einer Kontrollbedingung ohne Krankenkassenbezug führen.

4.1 Empfehlung und Bonusprogramm

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass weder die Empfehlung der App durch die Krankenkassen, noch eine zusätzliche Vergütung innerhalb von Bonusprogrammen durch die Krankenversicherung hinreichend extrinsisch motivieren um sichtbare Effekte auf die Nutzungsintention zu erzielen.

Die Empfehlung durch die Krankenkassen hatte vielleicht deshalb keinen positiven Effekt auf die Nutzungsintention, da es sich bereits bei der Kontrollbedingung um eine seriös wirkende Quelle handelte (von Jungforschergruppe an einer Universität entwickelt, durch

Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert) [Pky16].

Die Ergebnisse zeigen, dass das Menschenbild des Homo oeconomicus, dementsprechend der Mensch allein durch monetäre Anreize beeinflussbar wäre, in Bezug auf das Bonusprogrammsystem der Krankenkassen, nicht angebracht ist [Sg08].

Im Gegensatz dazu, erwiesen sich intrinsische Motivationsfaktoren, wie der subjektive Stresslevel und die subjektive Bedeutung von Stress-Management als wichtige Korrelate der wahrgenommenen Nützlichkeit und der Nutzungsintention von Stress-Mentor. Dies deckt sich mit vorherigen Studien, die das Gesundheitsbewusstsein und den persönlichen Leidensdruck als wichtige Faktoren für die Nutzungsintention von Gesundheits-Apps identifizierten (z.B. [Cqp14, Kp12]).

Wenn also nur diejenigen bereit sind eine Stress-Management-App zu nutzen, die sich sowieso mit dem Thema auseinandersetzen wollen oder dies sogar schon getan haben, spricht dies für das sogenannte „Präventionsdilemma“. Das Problem dabei ist, dass die echten Risikogruppen, nämlich diejenigen, die sich der Bedeutung von Stress-Management für die Gesundheit nicht bewusst sind, sich nicht durchringen können eine solche App zu nutzen. In diesem Zusammenhang wurden primär wirtschaftliche Ziele der Bonusprogramme diskutiert. Dabei gehe es weniger um die Effektivität der Präventionsmaßnahmen, sondern vielmehr um Werbemaßnahmen und Kundenbindung zu schaffen um sich positiv von den Konkurrenten abzuheben [Sg08].

4.2 Datenschutz

Datenschutzbedenken sind ein bekannter Hinderungsgrund für die Nutzung von Gesundheits-Apps, insbesondere bei Älteren [Rwb18]. So waren auch in der hier präsentierten Studie Datenschutzbedenken mit einer geringeren Nutzungsintention der App und dem Alter assoziiert.

Die Empfehlung von Stress-Mentor durch die Krankenkassen und eine Vergütung im Rahmen der Bonusprogramme führte jedoch nicht

zu erhöhten Datenschutzbedenken im Vergleich zur Kontrollbedingung ohne Krankenkassenbezug.

Es soll jedoch betont werden, dass bei dem hier gewählten App-Konzept zugesichert wurde, dass die Nutzerdaten lediglich lokal auf dem Smartphone gespeichert und nicht an Dritte, also auch nicht an die Krankenkassen, weitergegeben werden. Zudem wurde die App nicht direkt von den Krankenkassen, sondern durch eine Universität, zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse können deshalb nicht auf Apps übertragen werden, die die Nutzerdaten den Krankenkassen zugänglich machen oder bei denen die gesammelten Daten direkt an die Höhe des Bonus oder an den Versicherungstarif gekoppelt sind [Ehk17]. Diesbezüglich wurden von den Befragten einige Befürchtungen geäußert. So sei es möglich, dass von der Nutzung der App auf eine psychosomatische Erkrankung geschlossen werde. Es könnte auch ein falscher Umgang mit der App unterstellt werden. Eine Garantie über die „Nichtbeeinflussung“ der Krankenversicherung könnte in diesem Kontext hilfreich sein um Datenschutzbedenken so gering wie möglich zu halten.

4.3 Limitationen

Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass in dieser Studie lediglich die Nutzungsintention und nicht das echte Nutzungsverhalten untersucht wurde. Aus dem Gesundheitspräventionsbereich ist bekannt, dass von der Intention nicht immer auf das tatsächliche Verhalten geschlossen werden kann (Intentions-Verhaltenslücke, [Sw16]). Zukünftige Studien sollten deshalb überprüfen, ob sich die Befunde auf ein reales Setting in Kooperation mit Krankenkassen übertragen lassen, indem die empfohlene App tatsächlich zum Download bereitsteht.

Zudem sollte geprüft werden inwieweit sich die Befunde auf andere Stress-Management-Apps übertragen lassen, schließlich stellt „Stress-Mentor“ durch die Kombination von Gamification mit evidenzbasierten Inhalten eine Besonderheit dar [Chz18, Czh18].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend wurde die Intention eine Stress-Management-App wie den Stress-Mentor zu nutzen eher durch intrinsische Motive (subjektiver Stresslevel, subjektive Bedeutung von Stress-Management) gefördert, als durch Empfehlungen oder durch extrinsische Anreize der Krankenkassen. Es fanden sich keine Hinweise darauf, dass solche Maßnahmen der Krankenkassen generell zu erhöhten Datenschutzbedenken führen. Allerdings korrelierten Datenschutzbedenken für die Ge-

samtstichprobe negativ mit der Nutzungsintention und positiv mit dem Alter. Die Befunde sollten nicht auf Gesundheits-Apps in Verbindung mit verhaltensabhängigen Krankenversicherungstarifen generalisiert werden.

Danksagung

Die Jungforscherguppe wearHEALTH wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Referenznummer: 16SV7115

Literatur

- [Alb16] U.-V. Albrecht: Chancen und Risiken von Gesundheits-Apps (CHARISMHA). URL <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00060000>.
- [Ban77] A. Bandura: Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. In: Psychological Review 84, Nr. 2, S. 191-215, 1977.
- [Bh17] A. D. Beldad und S. M. Hegner: Expanding the Technology Acceptance Model with the Inclusion of Trust, Social Influence, and Health Valuation to Determine the Predictors of German Users' Willingness to Continue using a Fitness App: A Structural Equation Modeling Approach. In: International Journal of Human-Computer Interaction 34, Nr. 9, S. 882-893, 2017.
- [Cqp14] J. Cho, M. M. Quinlan, D. Park und G.-Y. Noh: Determinants of adoption of smartphone health apps among college students. In: American journal of health behavior 38, Nr. 6, S. 860-870, 2014.
- [Chb17] C. A. Christmann, A. Hoffmann und G. Bleser: Stress Management Apps With Regard to Emotion-Focused Coping and Behavior Change Techniques: A Content Analysis. In: JMIR mHealth and uHealth 5, Nr. 2, e22, 2017.
- [Chz18] C. A. Christmann, A. Hoffmann, G. Zolysnki und G. Bleser: Stress-Mentor: Linking Gamification and Behavior Change Theory in a Stress Management Application. In: Stephanidis, Constantine (Hrsg.): HCI International 2018. Cham, Switzerland: Springer, (CCIS 851), S. 387-393, 2018.
- [Czh18] C. A. Christmann, G. Zolysnki, A. Hoffmann und G. Bleser: Towards more interactive stress-related self-monitoring tools to improve quality of life. In: S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, Th. Alexander, Y. Fujita (Hrsg.): Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association. IEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Nr. 818, Springer, Cham, in press, 2018.
- [Ckm83] S. Cohen, T. Kamarck und R. Mermelstein: A Global Measure of Perceived Stress. In: Journal of Health and Social Behavior 24, Nr. 4, S. 385-396, 1983.
- [Dbw89] F. D. Davis, R. P. Bagozzi und P. R. Warshaw: User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. In: Management Science 35, Nr. 8, S. 982-1003, 1989.
- [Deu03] Deutscher Bundestag: Drucksache 15/1525 : Entwurf eines Gesetzes zur Modernisierung der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV-Modernisierungsgesetz – GMG). URL <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/15/015/1501525.pdf>.
- [Ehk17] M. Evers-Wölk, C. Henseling, C. Kahlisch, B. Oertel und M. Sonk: Stakeholder Panel TA : Erste Ergebnisse der Online- Befragung und konzeptionelle Informati-

- onen zum Stakeholder Panel TA „Gesundheits-Apps“. URL https://www.stakeholderpanel.de/fileadmin/user_upload/2017-01-31_Erste_Ergebnisse_Befragung_Gesundheits-Apps.pdf.
- [Fgw18] V. Fieguth, L. Göing und H. Wolfram: Einsatz von Gesundheitsapps - Chancen und Risiken für Krankenversicherungen. In: K. Butzer-Strothmann, A. Bork und N. Forgó (Hrsg.): Digitalisierung im Gesundheitswesen. Göttingen : Cuvillier Verlag, (Integrierte Unternehmensführung, Band 7), S. 97-118, 2018.
- [Fd12] S. Fox und M.e Duggan: Mobile Health 2012. URL <http://www.pewinternet.org/2012/11/08/mobile-health-2012/> – Überprüfungsdatum 2018-07-23.
- [Ft11] H. Friedel und D. Trautvetter: Gesundheitsbezogene Verhaltensmodifikationen durch Bonusprogramme. In: Prävention und Gesundheitsförderung 6, Nr. 4, S. 292-298, 2011.
- [Hhg18] M. Henkel, T. Heck und J. Göretz: Rewarding Fitness Tracking-The communication and promotion of health insurers' bonus programs and the use of self-tracking data. In: G. Meiselwitz, M. Henkel, T. Heck und J. Göretz (Hrsg.): Social Computing and Social Media, LNCS 10914 : Springer International Publishing, S. 28-49, 2018.
- [Kp12] J. Kim und H.-A. Park: Development of a health information technology acceptance model using consumers' health behavior intention. In: Journal of medical Internet research 14, Nr. 5, e133, 2012.
- [Kbd16] E. M. Klein, E. Brähler, M. Dreier, L. Reinecke, K. W. Müller, G. Schmutzer, K. Wölfling und M. E. Beutel: The German version of the Perceived Stress Scale - psychometric characteristics in a representative German community sample. In: BMC psychiatry 16, S. 159, 2016.
- [Kön08] J. Königstorfer: Akzeptanz von technologischen Innovationen. Wiesbaden: Gabler, 2008.
- [Kra16] U. Kramer: Gesundheits-Apps gesetzlicher Kassen: Wie beliebt sind sie? URL <https://www.healthon.de/blogs/2016/02/17/gesundheits-apps-gesetzlicher-kassen-wie-beliebt-sind-sie>.
- [Lkm13] T. Lampert, L. E. Kroll, S. Müters und H. Stolzenberg: Messung des sozioökonomischen Status in der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell" (GEDA). In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 56, Nr. 1, S. 131-143, 2013.
- [Lee15] Jo. R. de Leeuw: jsPsych : A JavaScript library for creating behavioral experiments in a Web browser. In: Behavior research methods 47, Nr. 1, S. 1-12, 2015.
- [Pky16] W. Peng, S. Kanthawala, S. Yuan und S. A. Hussain: A qualitative study of user perceptions of mobile health apps. In: BMC Public Health 16, Nr. 1, S. 1158, URL <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12889-016-3808-0>, 2016.
- [Rwb18] P. Rasche, M. Wille, C. Bröhl, S. Theis, K. Schäfer, M. Knobe und A. Mertens: Prevalence of Health App Use Among Older Adults in Germany : National Survey. In: JMIR mHealth and uHealth 6, Nr. 1, e26, (2018).
- [Sg08] V. Scherenberg und W. Greiner: Bonusprogramme – Zwischen Wettbewerb und Prävention. In: Gesundheits- und Sozialpolitik 62, Nr. 3, S. 19-25, 2008.
- [Sl18] V. Scherenberg und K. Liegemann: Gesundheits-Apps: Möglichkeiten und Grenzen der Gesundheitskommunikation. In: V. Scherenberg, J. Pundt (Hrsg.): Digitale Gesundheitskommunikation : Zwischen Meinungsbildung und Manipulation ; [Themenband]. 1. Auflage. Bremen: Apollon University Press, (Themenband), S. 245-273, 2018.

- [Sw16] Paschal Sheeran und Thomas L. Webb: The Intention-Behavior Gap. In: Social and Personality Psychology Compass 10 (2016), Nr. 9, S. 503–518.
- [Sgo14] A. Spagnolli, E. Guardigli, V. Orso, A. Varotto und L. Gamberini: Measuring User Acceptance of Wearable Symbiotic Devices. In: G. Jacucci (Hrsg.): Symbiotic interaction: Third international workshop, Symbiotic 2014, Helsinki, Finland, October 30-31, proceedings. 1. Auflage. Cham: Springer, 2014 (LNCS sublibrary: SL 3 - Information systems and applications, incl. Internet/Web, and HCI, 8820), S. 87-98, 2014.
- [Sta18] Statista: Anzahl der Mitglieder und Versicherten der gesetzlichen und privaten Krankenversicherung in den Jahren 2011 bis 2017.
URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155823/umfrage/gkv-pkv-mitglieder-und-versichertenzahl-im-vergleich/>.
- [Sti16] Stiftung Warentest: Prävention ja, Therapie nein : Gesundheits-Apps. URL <https://www.test.de/Gesundheits-Apps-Die-richtige-finden-aber-wie-5009792-0/> –
- [Vb08] V. Venkatesh und H. Bala: Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. In: Decision Sciences 39, Nr. 2, S. 273-315, 2008.
- [Vd00] V. Venkatesh und F. D. Davis: A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. In: Management Science 46, Nr. 2, S. 186-204, 2000.
- [Whh12] J. H. West, P. C. Hall, C. L. Hanson, M. D. Barnes, C. Giraud-Carrier und J. Barrett: There's an app for that: Content analysis of paid health and fitness apps. In: Journal of medical Internet research 14, Nr. 3, e72, 2012.
- [Zai94] J. L. Zaichkowsky: The Personal Involvement Inventory: Reduction, Revision, and Application to Advertising. In: Journal of Advertising 23, Nr. 4, S. 59-70, 1994.

Benutzerassistenz für Sondermaschinen mittels fallbasiertem Schließen

S. Lang und V. Plenk

Institut für Informationssysteme der Hochschule Hof
sascha.lang@iisys.de, valentin.plenk@iisys.de

Kurzzusammenfassung

Ziel unseres Forschungsprojektes ist die Unterstützung des Bedienpersonals einer Produktionsmaschine. Der Bediener erhält hierfür Handlungsvorschläge, passend zum aktuellen Maschinenzustand. Die Bedienung, also das Vornehmen der Einstellungen aus den Empfehlungen, verbleibt dabei bewusst in den Händen des Menschen. Unser Ziel ist die Vereinfachung der Interaktion zwischen Bediener und Anlage. Weiterhin soll die menschliche Erfahrung auch bei der Verbesserung der Vorschläge unterstützen. Dafür kann der Benutzer die generierten Vorschläge als gut oder schlecht bewerten. Das Verfahren beruht auf dem fallbasierten Schließen. Die notwendige Wissensbasis wird aus der Bedienhistorie, durch Zuordnung der Sensordaten zu den zugehörigen Bedienerinteraktionen automatisch generiert.

Abstract

User assistance for special purpose machines, using case based reasoning

The aim of our research project is to support the operating personnel of a production machine. The operator receives suggestions for action in accordance with the current state of the machine. Our goal is to simplify the interaction between the operator and the system. The operation of the machine, i.e. the making of settings based on the recommendations, remains completely in the hands of the operator. The experience of the operator is used to improve the recommendations. To that aim, the user can rate the generated suggestions as good or bad. Our system is based on case-based reasoning. The necessary knowledge base is automatically generated from the operating history by matching the sensor data to the corresponding operator interactions.

Keywords

Fallbasiertes Schließen, Benutzerunterstützung, maschinelles Lernen

1 Einleitung

Mit unserem Projekt haben wir uns zum Ziel gesetzt, die Bediener komplexer Produktionsmaschinen, insbesondere Sondermaschinen zu unterstützen. Bei Geräten und Maschinen, die in großen Stückzahlen gefertigt werden, wie z.B. Fotokopierern ist es inzwischen Standard, dass diese mit einer Benutzerführung ausgestattet sind, die den Bediener beispielsweise beim Beseitigen eines Papierstaus anleitet. Um eine solche Unterstützung zu gewährleisten, wird tiefergehendes Wissen über das System gebraucht, auf dessen Basis „Schritt für Schritt Anleitungen“ erstellt werden. Diese Art von Hilfe wollen wir auf Sondermaschinen übertragen. Allerdings ist es aufgrund

kleiner Stückzahlen hierbei ökonomisch nicht sinnvoll, für jedes Modell eine Anleitung dieser Art manuell zu erstellen. Daher entwickeln wir ein Verfahren, das die für die Unterstützung benötigten Daten automatisch aus der Bedienhistorie der jeweiligen Produktionsmaschine extrahiert. Unser derzeitiges Anwendungsbeispiel ist ein Kunststoffextruder. [Rab16] beschreibt ein ähnliches System. Im Gegensatz zu unserem System werden hier zwei Wissensbasen, eine für den normalen Betriebszustand und eine für Fehlerzustände verwendet. Außerdem reagiert das System nur auf Hilfeanfragen durch den Benutzer. Unser

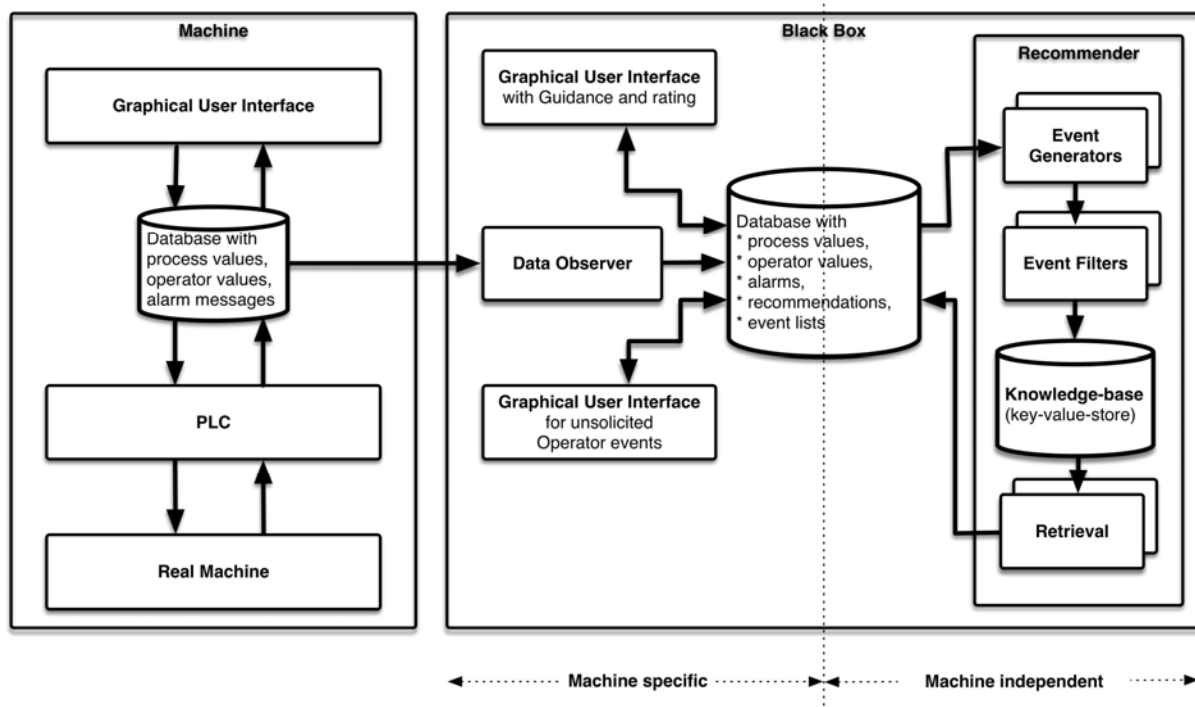


Abbildung 1: Aufbau der Software

System kann Fehlerzustände automatisch erkennen und dementsprechende Handlungsvorschläge unterbreiten.

Abbildung 1 zeigt die Struktur unseres Systems. Es besteht aus zwei Teilen: Einem maschinenabhängigen Part, der für die Datengewinnung zuständig ist und auf die jeweilige Schnittstelle angepasst werden muss. Die ausgelesenen Daten werden hierbei auch in ein einheitliches Format überführt. Der andere Teil ist ein maschinenunabhängiges System, welches die Daten verarbeitet, die Wissensbasis generiert und aus dieser die Handlungsvorschläge extrahiert. Das Bindeglied zwischen diesen ist ein Datenbanksystem. Für weitergehende Informationen sei an dieser Stelle auf unsere vorhergehenden Arbeiten [Ple16] und [Ple17a] verwiesen.

Kapitel 2 beschreibt wie wir die benötigte Wissensbasis aufbauen. In Abschnitt 3 beschreiben wir dann, wie wir die Handlungsempfehlungen, für eine neue Situation, aus der Wissensbasis extrahieren. In Kapitel 4 zeigen wir auf, wie unser System mit dem Benutzer interagiert. Es wird erläutert wie ein Maschinenbediener oder ein Prozessexperte, dazu beitragen kann die Wissensbasis zu erweitern

und die Handlungsempfehlungen zu verbessern. Den Abschluss des Papers bildet Abschnitt 5. Darin wird ein Ausblick auf die Herausforderungen, denen wir uns noch stellen müssen gegeben.

2 Generierung der Wissensbasis

Die Wissensbasis bildet einen Speicher für die im bisherigen Betrieb der Maschine aufgetretenen Benutzereingriffe. Diese werden aus den von der Maschine aufgezeichneten Werten extrahiert.

Die Einträge in der Wissensbasis bestehen aus einem Key-Value Paar. Der Key dient als Schlüssel für die Abfrage der Wissensbasis. Die Value entspricht der Antwort.

Diese Paare werden zu bestimmten Zeitpunkten, sogenannten Events gebildet. Ein solcher Event kann ein Alarm von der Maschine sein oder ein Benutzereingriff, wie das Verstellen eines Sollwertes.

Der Key, bei uns auch Fingerprint genannt, spiegelt den Zustand der Maschine vor einem Event wieder.

Der Value codiert unsere Handlungsvorschläge. Ein Handlungsvorschlag umfasst die Folge aller Benutzereingriffe, die in einem ge-

wissen Zeitraum nach einem Event stattfinden.

Beispiele für solche OP-Sequenzen sind in Tabelle 1 aufgelistet. Sie bestehen aus einer Bezeichnung des jeweiligen Wertes, sowie aus der Differenz zwischen dem Wert vor Beginn und am Ende der Sequenz. Beim Erzeugen einer Handlungssequenz werden diese in ein lesbares Format, wie z.B. „Stelle Drehzahl um x schneller“ übersetzt. Sind mehrere verschiedene Werte betroffen, so sind diese in der Sequenz durch ein #-Symbol getrennt. Der Handlungsvorschlag „Nichts tun“ entsteht, wenn ein Wert mehrfach während einer Sequenz verstellt wird, und sich dabei am Ende aufhebt.

Tabelle 1: Beispiele für OP-Sequenzen

Sequenz	Anzahl
Meltp.Out_0.2#	28
Meltp.Out_-0.2#	21
Meltp.Out_0.3#	21
Meltp.Out_-0.1#	20
Meltp.Out_0.1#	17
Meltp.Out_0.4#	12
Meltp.Out_-0.4#	7
Meltp.Out_-0.5#	4
Meltp.Out_-0.6#	4
Meltp.Out_0.6#	3
Nichts tun	2

3 Generierung der Handlungsempfehlungen

Die Wissensbasis wird abgefragt, wenn die Maschine einen Fehler meldet. Zusätzlich kann der Bediener eine manuelle Abfrage starten.

In beiden Fällen wird aus dem aktuellen Maschinenzustand ein neuer Key gebildet. Mit diesem wird eine Anfrage an die Wissensbasis gestellt. Wird eine zum neuen Key passende Value gefunden, zeigt die Benutzeroberfläche den Vorschlag an.

Die Details für die Abfrage sind in [Ple17b] dargestellt. Die Qualität der Vorschläge wird

mit einem in [Ple17b] dargestellten Scoring bewertet.

4 Interaktion mit den Benutzern

Unser System verfolgt das Ziel, für den Benutzer verständlich zu bleiben. Daher wird viel Wert auf die Interaktion mit dem Bedienerpersonal gelegt. Dabei unterscheiden wir zwischen zwei Arten von Nutzern: Prozessexperten oder Vorarbeitern und Bediener.

Hauptziel des Verfahrens ist es, dem Bediener unmittelbar an der Maschine passende Handlungsvorschläge zu geben. Der Bediener soll auf den Vorschlag reagieren und so dabei helfen, die Handlungsvorschläge zu verbessern. Zusätzlich kann er die Wissensbasis um nicht automatisch erfassbare Handlungen erweitern.

Zusätzlich sollen die Prozessexperten im Nachgang die automatisch generierte Wissensbasis verstehen und editieren können.

Diese Möglichkeiten werden in diesem Kapitel beschrieben.

4.1 Unterbreitung von Vorschlägen

Der zentrale Punkt unseres Systems, ist die Unterstützung des Bedienpersonals bei der Maschinenbedienung. Momentan bieten wir Unterstützung in zwei unterschiedlichen Situationen. Zum einen im Falle eines Maschinenfehlers und zum anderen, falls der Benutzer von sich aus Hilfe benötigt. Diese HilfeAnfrage kann über unsere Benutzeroberfläche abgesetzt werden.

In beiden Fällen werden einer oder mehrere Handlungsvorschläge präsentiert. Findet unser System mehrere Vorschläge so sind diese sortiert nach Wahrscheinlichkeiten sortiert. Der Maschinenbediener behält die Hoheit über die Maschine und kann auswählen ob und welchen Vorschlag er umsetzt.

4.2 Feedback der Benutzer hinsichtlich der Qualität der Handlungsvorschläge

Wie im letzten Abschnitt erwähnt werden dem Benutzer mehrere Handlungsvorschläge angezeigt. Dabei wird er aufgefordert, diese zu bewerten. Dabei kann maximal ein Vorschlag als positiv bewertet werden. Auf der anderen

Seite können alle Vorschläge als negativ bewertet werden.

Wir werten die eingegebenen Bewertungen aus und beziehen diese in die Berechnung für zukünftige Vorschläge mit ein

4.3 Eingabe von Handlungsgründen

Handlungen an den Maschinen können in zwei grundlegende Typen aufgeteilt werden: Der erste Typ ist die Reaktion des Operators auf einen von der Maschine signalisierten Fehlerzustand.

Ein Eingriff des Benutzers ohne anliegenden Alarm stellt den zweiten Typ dar. Hier hat der Bediener ein Problem bemerkt und behoben, das die Maschine nicht erkannt hat bzw. nicht erkennen konnte. Im diesem Fall fragen wir den Operator nach dem Grund für seinen Eingriff. Sowohl der Eingriff als auch der Grund werden in der Wissensbasis abgelegt. Diese kann später vom Bediener abgefragt werden.

4.4 Eingabe von nicht erfassbaren Handlungen

Trotz der Ausstattung der Produktionsmaschinen mit diversen Sensoren kann nicht jede Handlung des Maschinenbedieners erfasst werden. Wird beispielsweise das Werkzeug am Extruder während des Betriebs gereinigt, kann dies nicht erfasst werden. Nach Möglichkeit sollen solche Situationen aber auch in Zukunft vorgeschlagen werden können. Das heißt, wird ein solcher Fall eingegeben, wird dieser genau wie die automatisch generierten Cases in die Wissensbasis eingefügt. Sollte ein ähnlicher Zustand später auftreten, kann auch ein bereits erfasster manueller Eingriff vorgeschlagen werden.

Diese Funktionalität hängt aber auch sehr von den Eingaben der Benutzer ab. Z.B. könnte „Reinigen des Werkzeugs mit einer Drahtbürste“ die gleiche Handlung beschreiben wie „Werkzeugreinigung mittels Drahtbürste“. Dies ist für einen Menschen die gleiche Handlung, aber für einen Computer zwei verschiedene. Hier ist evtl. der Einsatz von Text-Erkennungs-Algorithmen nötig. Ein weiterer Punkt wäre das Vorschlagen einer Eingabe in der Benutzeroberfläche aus einem

DropDown-Menü, sobald die erste Eingabe vorgenommen wurde.

4.5 Editierbare Wissensbasis

Im Gegensatz zu anderen Maschinellen Lernverfahren, wie z.B. einem neuronalen Netz, wollen wir, im Sinne von „Explainable AI“, für den Anwender transparent zu bleiben. Das heißt, anhand unserer Wissensbasis wird dem erfahrenen Maschinenbenutzer vermittelt in welchen Situationen welche Handlung vorgeschlagen wird. Darüberhinaus soll neben der reinen Visualisierung auch die Möglichkeit gegeben werden, die Wissensbasis zu bearbeiten.

Dieser Part befindet sich derzeit noch in der Planungsphase. Wir stehen vor dem Problem die Daten des Maschinenzustandes, der aus mehreren hundert Sensordaten bestehen kann, für den Menschen verständlich aufzubereiten. Sobald wir eine sinnvolle Visualisierung entwickelt haben, wird eine Benutzeroberfläche zur Bearbeitung der Wissensbasis entwickelt. Diese ist für einen Prozessspezialisten gedacht. Er kann sich jeweils einen Handlungsvorschlag zusammen mit den Maschinenzuständen anzeigen lassen. So kann er beurteilen ob ein Vorschlag passend ist, oder ob dieser unter Umständen sogar schädlich für die Produktionsmaschine ist. Diese schlechten Vorschläge können dann aus der Wissensbasis entfernt werden um in Zukunft nicht mehr zur Vorschlagsgenerierung herangezogen zu werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die aktuelle Projektphase beschäftigt sich insbesondere mit der Analyse der gesammelten Daten und der Verbesserung der Methoden zur Vorschlagsgenerierung. Unsere bisherigen Ergebnisse sind noch nicht zufriedenstellend, daher testen wir auch noch weitere Distanzmaße oder ziehen den Einsatz eines neuronalen Netzes in Betracht.

Trotz der Fokussierung auf die Verbesserung von Algorithmen zur Vorschlagsgenerierung, dürfen wir die Benutzer nicht aus den Augen verlieren. Insbesondere muss evaluiert wer-

den, wie eine ansprechende Benutzeroberfläche verbessert werden kann. Denn eine bessere Benutzeroberfläche führt zu einer besseren Akzeptanz durch die Benutzer, dies wiederum führt für uns zu besseren Benutzereingaben, und somit zu besser auswertbaren Daten. Diese Evaluation kann beispielsweise

durch Interviews oder Fragebögen durchgeführt werden. Die Arbeit an der Benutzeroberfläche schließt auch die, bereits schon erwähnte, Entwicklung eines Editors für die Wissensbasis mit ein.

Literatur

- [Rab16] N. B. Rabah, R. Saddem, F. B. Hmida, V. Carre-Menetrier und M. Tagina: Intelligent Case Based Decision Support System for Online Diagnosis of Automated Production System. In: 13th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD 2016), 2016.
- [Ple16] V. Plenk: Improving special purpose machine user-interfaces by machinelearning algorithms. In: Proceedings of CENTRIC 2016: The Ninth International Conference on Advances in Human-oriented and Personalized Mechanisms, Technologies and Services, S. 24-28, 2016.
- [Ple17a] V. Plenk, S. Lang und F. Wogenstein: An Approach to Provide User Guidance in Special Purpose Machines and its Evaluation. In: International Journal On Advances in Software 10.3 and 4, S. 167-179, 2017.
- [Ple17b] V. Plenk, S. Lang und F. Wogenstein: Scoring of MachineLearning Algorithms for Providing User Guidance in Special Purpose Machines. S. 7-13, 2017.

Getting to grips with cobots: Concept design of a modular and re-configurable gripper for hybrid co-working

A. Thallemer, D. Diensthuber and A. Kostadinov

National University of Singapore, Division of Industrial Design
axel.thallemer@nus.edu.sg, a0123583@u.nus.edu, kostadinov.aleksandar@u.nus.edu

Abstract

Industrial robots that usually operate in cages have gradually evolved into cooperative devices due to advancements in sensors and computer algorithms. The employment of those resulting Cobots is fostered by recent developments in versatile robotic manipulators. When it comes to end-effectors however, there is a lack of adaptable solutions. We addressed this gap by conceptualising a prototype for a robust and adaptable gripper. The system comprises a main body which serves as a host for a variety of jaws and fingers. The here discussed mechanical design represents the initial step towards creating a universal gripping solution for coworking robots.

Kurzzusammenfassung

Cobots in den Griff bekommen: Konzeptdesign eines modularen und rekonfigurierbaren Greifers für hybrides Coworking

Konventionelle, eingezäunte Industrieroboter haben sich mittlerweile – Dank der Fortschritte in Sensortechnik und Computeralgorithmen – zu kooperativen Maschinen entwickelt. Der daraus resultierende Einsatz von sogenannten Cobots wird durch die Entwicklung vielseitiger Manipulatoren begünstigt. Im Bereich von Endeffektoren jedoch fehlt es an universellen Lösungen. Wir haben dazu einen soliden Prototypen für einen rekonfigurierbaren Greifer konzipiert. Das System besteht aus einer Basis, die als Aufnahme für unterschiedliche Finger und Greifbacken dient. Das hier vorgestellte, mechanische Design stellt den ersten Schritt dar, wenn es darum geht einen Universalgreifer für Cobots zu entwickeln.

Keywords

Robotics, Cobot, Gripper, Modularity, Reconfigurability

1 Introduction

Historically, the implementation of robots in manufacturing had the main motivation to relieve workers from the three D tasks: dull, dirty, and dangerous. Today, however, robotization is pursued as a venture to completely automate production and eliminate human labour in productive tasks. The goal of this enterprise is conceived as the so-called dark factory where no workers are required and where all machines operate autonomously [Kri17]. Despite the efforts to minimize human workforce for physical tasks, the complexity of certain laborious operations, such as the non-destructive electric waste recycling, is

still overwhelming for a robot and hence difficult for machines to outperform or replace human workers [Sel02]. To tackle the challenges of such complex scenarios, it has been proposed to combine the dexterity of humans with the reliability of machines in a co-working environment. The devices that are implemented in such a way are referred to as collaborative robots or cobots [Pes99]. Unlike traditional robots, cobots are specifically designed to work close to and with humans by assisting in manual labour. Although the primary benefit for implementing robots is cost reduction, the employment of robots offers additional ad-

vantages when assessed from a human-oriented design perspective. So-called intelligent assisting devices have been considered a large improvement to ergonomic aspects of certain tasks that require high physical strength [Col03]. Smaller assistive duties can also be performed by implementing cobots. One developer, Universal Robots (UR), has managed to push its low-cost technology into the market which was also adopted by various research project to study aspects of collaborative robots [Kel15]. The UR device can be considered state-of-the-art in terms of costs, functionality, and utility. However, they only offer the manipulator for which a variety of third-party gripper is suggested [Uni18]. By assessing those models, it is obvious that some of the end-effectors are designed towards physically safe operation, where others are clearly not meant for an interaction with humans. This implies that a universal collaborative robot is adequate for so-called hybrid tasks [Mal17]. Given the universality of UR's manipulator, however, the end-effector suggestion does not reflect the “one for all” approach, which is embodied within the manipulator. Following this analysis, we created a robotic gripper which features an inherent compliance and re-configurability, both of which might motivate especially small and medium-sized companies to invest in cobots [Fas16].

The paper is structured as follows: in section 2 we look at currently available solutions, in section 3 we describe the design of our gripper, in section 4 we talk about the realization of the device, and in section 5 we point out the limitations and discuss the future work of our study.

2 Survey on related work

2.1 Commercial industrial grippers

Currently, coworking-related research is mostly based on off-the-shelf products. When it comes to grippers, there is a large variety ranging from simple modifications of existing industrial end-effectors [Uni18], up to sophisticated solutions that offer advanced features like touchscreens with an integrated teach-in software [SCH16]. As far as the architecture

and configuration of those grippers are concerned, we can differentiate between grippers with low and grippers with high *flexibility* (see Figure 1), a term which is used to indicate the variety of objects and tasks a gripper can handle. The former group represents simple devices that are an economical alternative to the latter group which consists of more capable and complex devices. A promising area between those extreme values is occupied by so-called *adaptive grippers* and is best exemplified by the ROBOTIQ 3-Finger gripper [Sad16]. However, this commercially available device comes with a hefty price tag, which opens an opportunity for further exploration of kinematically less-complex devices within the area of moderate flexibility. A contemporary direction towards developing such solutions will be discussed in the next section.

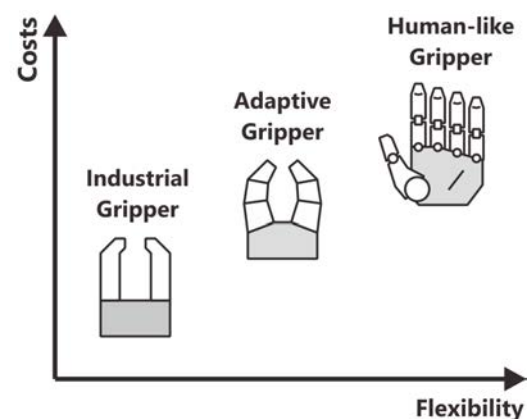


Figure 1: Abstracted gripper system overview

2.2 Grippers in academic research

Diverging solutions labelled as *soft grippers* are trending in academic research. Albeit not with the primary goal to serve as collaborative grippers, those devices could be considered as safe and inexpensive alternatives due to their inherent compliance. Various projects increased the gripper's flexibility by using soft materials [Gor17, Hug16]. However, soft robotics systems are, unless tendon-driven, limited in their gripping forces and precision [Hug16]. Therefore, they are more suitable for low precision handling of delicate objects with irregular shapes [Gor17] as opposed to assisting with force demanding assignments of

standardized shapes [Tai16]. Another approach towards flexibility are developments of “hard” adaptive grippers that can adjust their shape to the geometry of the grasped object through a mechanical linkage. A recent example that uses this method is a device that offers two gripping modes (pinching and encompassing) while providing an underactuated shape-adaptation [Bir17]. By combining those findings and considering challenges in future robotics [Zam17], we created a modular adaptable gripping system. The result is a pneumatic driven gripping system with easily exchangeable jaws and two operating modes which is envisioned to assist in a hybrid coworking scenario [Mal17].

3 Design and Reasoning

The design challenges for the human-robot coworking experience are manifold [Fab15]. Topics around safety represent the largest concerns that need to be addressed not only through hardware design [Mic15]. The process of cobot-integration starts with an assessment of the task for which an appropriate setup is chosen which relies on readily available hardware. As mentioned in the *Introduction* of this paper, the currently available end-effectors do not offer versatility to cover the requirements for dynamic production cycles. We used design heuristics as our method and focused on the functional factors which is the practicality of the system. From our industrial design perspective, the prototype of the gripper had to resemble the look of a commercial product. This approach required a concept which demonstrated a certain level of maturity in function, appearance, and usability.

3.1 Modularity and reconfigurability

The primary goal was to design a gripper which extends the conventional customizability. Commercial grippers offer either geometry-versatile gripping or high specialization, which in turn depends on their principle of gripping [Fan14]. From an architectural perspective, industrial grippers treat the end-effector as an operational unit that consists of jaws that provide the force and motion, to

which exchangeable and customizable fingers are attached [Gue11]. We went a step further by separating the jaws from the body (see Figure 2), which allowed us to create modules with different mechanical designs as well as a functionally uncoupled kinematics. Our secondary goal was to enhance the grasping capability by offering two gripping configurations. A similar approach was taken in a recent publication which showcases the development of a gripper whose main benefit is the increased flexibility through reconfiguration [Spi18].

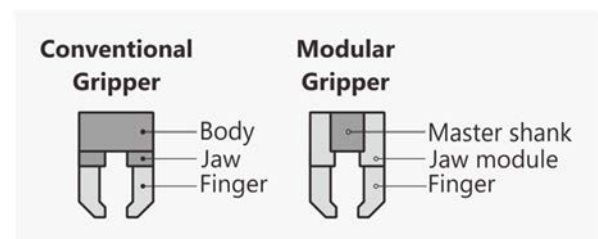


Figure 2: Gripper architecture and elements of standard grippers and a modular gripper

Apart from these main requirements, there were various other objectives (see Table 1). Most importantly, we wanted to create a pneumatic-driven system as it is not only the economical alternative to electric driven grippers, but it also offers an inherent compliance and thus provides more safety for co-workers. In the next sections, we will describe our design consideration regarding other studies. The complete mechanical design is documented in our patent description [Tha14].

Table 1: Overview of design objectives

Design	Modular
Slots	6
Mounting	Tool-free
Gripping	Reconfigurable
Actuation	Pneumatic
Adapter Plate	Standard

3.2 The reconfigurable master shank

The ruling constraint for the gripper was a design space within a cylindrical shape ($h=200$, $r=70$) that was based on a preceding gripper study [Tha17]. The master shank required the passive function of being able to host up to six jaw modules and an active function which

would allow a seamless switching between centripetal and parallel gripping motion. We limited the parallel kinematic motion to a 3-finger configuration, which would still allow both gripping types (see Figure 3).

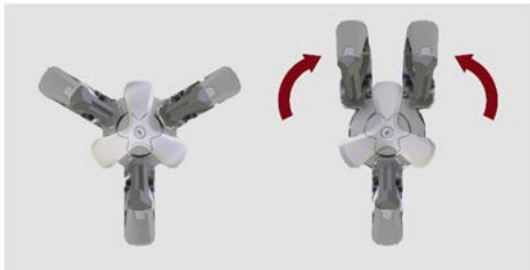


Figure 3: Automatic reconfiguration of the gripper from centripetal to parallel gripping

3.3 The actuation of the gripper

The base of the master shank uses three air supply lines for the actuation which are subdivided into eight entrances: one for the reconfiguration of the gripping type, one for the locking of the end-position, and six openings to supply each of the modules with air pressure. The kinematics of the system operates in a distinct way: once the base element is pressurised it distributes the incoming fluid evenly. This means that all finger modules have the same power at any given moment. From a practical perspective, it is worth noting that the independent actuation and the modular design are also increasing the maintainability of the system [Mis17].

To showcase the versatility of a module-based gripper, we created three different jaw elements, as displayed in the image below (see Figure 4). We wanted to cover various needs reaching from simple tasks (pinching) up to more demanding operations (form-adaptive gripping). To facilitate a fast exchange of the modules, all three elements are attachable to the master shank through a T-slot connection which does not require additional tools for the mounting of the modules.

We chose to design a pinching module for basic picking tasks where simplicity and robustness would allow us to minimize the total weight of the gripper (see Figure 4a). A stiff structure forms the skeleton and a soft elastomeric fingertip is added on top to establish a

gentle contact. The soft fingertip increases the friction, which adds to the power-related functionality of the module.



Figure 4: The three jaw modules a) Pincher b) Fish Fin (FFM) and c) Adaptive (AM)

3.4 The single material adaptive element

In industrial grippers, the property of form-fitting is mostly a matter of finger customization. In those cases, the geometry of the to-be-gripped objects is known and well defined which allows for the form-fit gripper to achieve maximal conformity. However, for applications where the target geometry is not specified, the gripper must provide the ability to conform to the object as much as possible. We looked at a recently explored phenomenon of form adaptation which is based on the architecture of fish fins. Ever since its discovery, the principle has spurred the development of self-adjustable grippers [Cro 16]. The benefit of using this effect for a gripper design is the possibility of using relatively tough materials to achieve shape conformity while maintaining a lightweight construction. We implemented this principle by designing a module which uses a lightweight material with elastic properties (see Figure 4b).

3.5 The composite adaptive element

The decision to create an alternative form-adaptive element is due to the shortcomings of fish fin structure related grippers. It has been shown, that the overall kinematic behaviour and performance relies not only on the geometry but also on the implemented material [Bas17]. A recent study was able to overcome

those softness related challenges through the employment of hard materials to establish a structural stability throughout the performance [Cro16]. A second factor that needs to be considered is the ability of fish fin structures to transfer the power of the jaws. Generally, there is a coupling between the material toughness and the ability to transform the power of the jaws onto the to-be-held object. This implies that once the fingers reach the kinematic end position, the object is either not properly grasped (low toughness materials) or that excessive gripping powers lead to high stress/strain in the material resulting in a fatigue (high toughness materials).



Figure 5: Grasping basic geometries with the adaptive jaw module

Based on these factors, we designed a flexible self-adaptive system based on multiple factors which combine the advantages of the pinching system i.e. full transferability of the gripping power with the form adaption of soft materials (see Figure 4c). The frame of the module has a revolute joint, and it is made of a stiff material which holds a band between the tip and the base. The band is meant to conform the to-be-grasped geometry. It is made of longitudinally oriented fibres which are surrounded by a soft material to constraint the displacement. The module also incorporates a compressive component with spring-like behaviour. It stores kinetic energy from the encompassing gripping

and opens the gripper once the pressure is released from the gripping actuation (see Figure 5).

4 Results and Realization

Based on our considerations, we tried to create the gripping systems as close as possible to a mature product. Therefore, we selected the materials based on their properties to provide function and efficiency. Aiming for a robust and lightweight system, we achieved a total weight of 660 g for the simplest setup (two fin grippers) and 900 g for an exemplary reconfigurable setup (three flex grippers) (see Table 2). This resulted from several considerations, which we will briefly describe in the following sections.

Table 2: Dimensions and weight examples of the gripper

Height	max 215 mm
Diameter	Max 148 mm
Weight example 1	660 g (2 FFM)
Weight example 2	900 g (3 AM)
Stroke example 1	76 mm (AM)
Stroke example 2	92 mm (FFM)

4.1 Customized components

The stiff components were made of aluminium which we selected due to its relation between strength and weight. To further decrease the mass, we used a design heuristics approach to optimize certain geometries like that of the pinching module. All aluminium parts were anodized to increase their surface durability. Certain highly-stressed components, like i.e. those related to the kinematics were made of tool steel. Other components which were not fabricated of metal were made of various materials: The fin-ray finger was made of ABS due to its relatively high polymeric elasticity; the self-adaptive module is made of durable polyamide fibres embedded within a bar of silicone; the fingertips for the pinching and adaptive modules are using silicone due to its softness, which also offers a safe interaction during collaboration.

4.2 Off the shelf components

To achieve its kinematic function, the system was equipped with efficient miniature components. The master shank uses pneumatic microcylinders for the reconfiguration motion. The same cylinders were also implemented within the modules to convert the air pressure into a linear motion. For the adaptive module, gas pressure springs were installed to deliver a harmonious motion. To reduce the friction, we used low-mass maintenance-free plain bearings which do not require lubricants for a smooth operation.

4.3 Functional properties

The functionality of our gripper system depends on the modules and their configuration. Considering the combination of all three modules (2 to 6 fingers), there are 2304 possibilities for the system setup, albeit with a certain redundancy. Examples of symmetric setups are presented below (see Figure 6). Since the master shank provides a component-swapping modularity [Hua00], additional modules e.g. sensors can be considered for the system.

To describe the functional properties, we will focus on the practical aspects based on a two-jaw configuration. As displayed in (see Table 2), the stroke width for the pinching and fin module is 76 mm, and 92 mm for the fin gripper. However, since the stroke width depends on the shape of the finger element, even higher values are technically achievable. It was mentioned earlier that the current jaws and finger elements are suitable for mostly regularly shaped convex geometries. Due to the pneumatic actuation, however, even irregular geometries are virtually graspable, due to the individual actuation, which is not achievable

with conventional designs that are using coupled actuation.

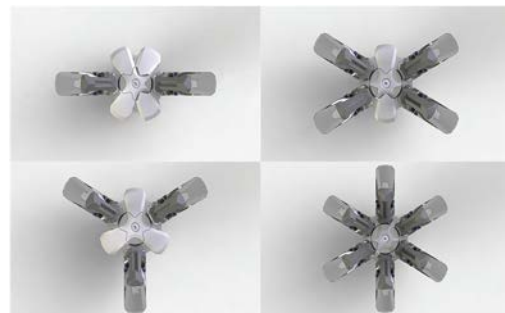


Figure 6: Exemplary configuration of the modular gripper

5 Conclusion, limitations, and future work

We discussed the creation process of a reconfigurable modular robotic gripper. Unlike conventional grippers that have integrated jaws, our design comprises a base unit which can host a variety of individual gripping modules. In addition, the device has a built-in reconfigurability that allows for two different gripping modes in a three-finger setup, which augments the functionality of the gripper.

Our work is the first step towards a universal gripping solution for coworking scenarios. The device was created as a prototype to demonstrate the modularity and customizability. Future steps will require performance tests for response time and repeat accuracy. To comply with safety standards, the system would need a design refinement including the soft materials and creating covers for pinching points. Apart from the hardware-related aspects, there are additional challenges such as sensory elements, control software as well as the teach-in solution, all of which are necessary for a fully operational coworking gripper.

References

- [Bas17] C. I. Basson, G. Bright and A. J. Walker: Validating object conformity through geometric considerations of gripper mechanisms. In: 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), IEEE, pp. 1-6, 2017.
- [Bir17] L. Birglen: Design of a Partially-Coupled Self-Adaptive Robotic Finger Optimized for Collaborative Robots. In: Robotics: Science and Systems XIII. Robotics: Science and Systems Foundation, 2017.

- [Col03] J. E. Colgate, M. Peshkin and S. H. Klostermeyer: Intelligent assist devices in industrial applications. A review. In: 2003 IEEE, 2003.
- [Cro16] W. Crooks, G. Vukasin, M. O’Sullivan, W. Messner and C. Rogers: Fin Ray® Effect Inspired Soft Robotic Gripper. From the RoboSoft Grand Challenge toward Optimization. In: *Frontiers in Robotics and AI*, 2016.
- [Fab15] M. Faber, J. Bützler and C. M. Schlick: Human-robot Cooperation in Future Production Systems. Analysis of Requirements for Designing an Ergonomic Work System. In: *Procedia Manufacturing*, pp. 510-517, 2015.
- [Fan14] G. Fantoni, M. Santochi, G. Dini, K. Tracht, B. Scholz-Reiter, J. Fleischer, T. K. Lien, G. Seliger, G. Reinhart, J. Franke, H. N. Hansen and A. Verl: Grasping devices and methods in automated production processes. In: *CIRP Annals*, pp. 679-701, 2014.
- [Fas16] Å. Fast-Berglund, F. Palmkvist, P. Nyqvist, S. Ekered and M. Åkerman: Evaluating Cobots for Final Assembly. In: *Procedia CIRP*, pp. 175-180, 2016.
- [Gor17] B. Gorissen, D. Reynaerts, S. Konishi, K. Yoshida, J.-W. Kim and M. van Volder: Elastic Inflatable Actuators for Soft Robotic Applications. In: *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 2017.
- [Gue11] M. Guelker and R. Frances: The difference between robotic grippers with parallel, three-finger, and angled designs. <https://www.machinedesign.com/robotics/difference-between-robotic-grippers-parallel-three-finger-and-angled-designs>. 2011.
- [Hua00] C.-C. Huang: Overview of modular product development. In: *Proceedings-National Science Council Republic of China Part a Physical Science and Engineering*, 2000, 24; pp. 149-165, 2000.
- [Hug16] J. Hughes, U. Culha, F. Giardina, F. Guenther, A. Rosendo and F. Iida: Soft Manipulators and Grippers. A Review. In: *Frontiers in Robotics and AI*, 3; 20, 2016.
- [Kel15] G. R. Kelleher, C. Lea, C. Paxton and G. D. Hager: A framework for end-user instruction of a robot assistant for manufacturing. In: : *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015. 26-30 May 2015, Seattle, Washington,. IEEE, Piscataway, NJ, 2015; pp. 6167-6174, 2015.
- [Kri17] S. Krishnan: Dark Factories—the Future of American and Chinese Manufacturing. <https://www.uofcbusinessjournal.com/single-post/2017/02/05/Dark-Factories%E2%80%94the-Future-of-American-and-Chinese-Manufacturing>, (Zugegriffen: 16.08.2018).
- [Mal17] A. A. Malik and A. Bilberg: Framework to Implement Collaborative Robots In Manual Assembly. A Lean Automation Approach. In (Katalinic, B. Hrsg.): *Proceedings of the 28th International DAAAM Symposium 2017*. DAAAM International Vienna, 2017; pp. 1151-1160, 2017.
- [Mic15] G. Michalos, S. Makris, P. Tsarouchi, T. Guasch, D. Kontovrakis and G. Chryssolouris: Design Considerations for Safe Human-robot Collaborative Workplaces. In: *Procedia CIRP*, pp. 2015, 37; 248-253, 2015.
- [Mis17] A. K. Mishra, E. Del Dottore, A. Sadeghi, A. Mondini and B. Mazzolai: SIMBA. Tendon-Driven Modular Continuum Arm with Soft Reconfigurable Gripper. In: *Frontiers in Robotics and AI*, 4; 54, 2017.
- [Pes99] M. Peshkin and J. E. Colgate: Cobots. In: *Industrial Robot: An International Journal*, 1999, pp. 26; 335-341, 1999.

- [Sad16] A. S. Sadun, J. Jalani and F. Jamil: Grasping analysis for a 3-Finger Adap-tive Robot Gripper. In: 2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA). IEEE, 2016; pp. 1-6, 2016.
- [SCH16] SCHUNK GmbH & Co. KG: HRC gripper Co-act meets cobots. https://schunk.com/sg_en/co-act/, (Zugegriffen: 16.08.2018).
- [Sel02] G. Seliger, B. Basdere, T. Keil and U. Rebafka: Innovative Processes and Tools for Disassembly. In: CIRP Annals, pp.2002, 51; 37-40, 2002.
- [Spi18] J. Spiliotopoulos, G. Michalos, S. Makris: A Reconfigurable Gripper for Dexterous Manipulation in Flexible Assembly. In: Inventions, 3; 4, 2018.
- [Tai16] K. Tai, A.-R. El-Sayed, M. Shahriari, M. Biglarbegian and S. Mahmud: State of the Art Robotic Grippers and Applications. In: Robot-ics, 5; 11, 2016.
- [Tha14] A. Thallemer and D. Diensthuber: Gripper device for gripping objects, 2014.
- [Tha17] A. Thallemer: A comparison of biomimetic, generative design to traditional industrial design methods of prototype development by means of pneumatic gripper systems. In: Future Talks 015. Processes. The Making of Design and Modern Art. Materials, Technologies and Conservation Strategies ; October 28/30 2015., Die Neue Sammlung, München, 2017.
- [Uni18] Universal Robots: End-effectors for collaborative robots. <https://www.universal-robots.com/plus/end-effectors/>, (Zugegriffen: 16.08.2018).
- [Zam17] I. Zamalloa, R. Kojcev, A. Hernández, I. Muguruza, L. Usategui, A. Bilbao and V. Mayoral: Dissecting Robotics-historical overview and future perspectives. In: arXiv preprint arXiv:1704.08617, 2017.

Methodik zur Evaluierung des Ergonomie-Potentials bei Kooperation von Mensch und Roboter

Ein Verfahren zum Vergleich unterschiedlicher Industrieanwendungen für ein Arbeitssystem

P. Eichler, L. Winkler und M. Bdiwi

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Abteilung Robotertechnik
paul.eichler@iwu.fraunhofer.de, lena.winkler@iwu.fraunhofer.de,
mohamad.bdiwi@iwu.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wurde eine hybride Methode zur Evaluierung von Mensch-Roboter-Arbeits-systemen entwickelt. Die vorgestellte Methode basiert auf einem mehrdimensionalen Ergono-mie-Bewertungssystem, welches zwei unterschiedliche Messverfahren zur Bestimmung von physiologischen Parametern beinhaltet (Elektromyographie zur Ableitung von Muskelaktions-potentialen und Motion Tracking zur Bewegungsanalyse). Weiterhin wurde die vorgestellte Methodik an einem industriellen Anwendungsfall der Heckklappenmontage getestet. Das Hauptziel dieser Vorgehensweise ist die Ermittlung des Potentials von MRK Arbeitsplätzen hinsichtlich physischer Entlastung. Hierfür wurden zwei Montage-Szenarien der Heckklappen-montage im Automobilbau implementiert. Das erste Szenario bildet den aktuellen Stand der „manuellen Montage“ ab, während das zweite Szenario ein zukünftiges MRK-Montageszenario darstellt.

Die Experimente haben gezeigt, dass mittels MRK-Arbeitsplatzgestaltung eine muskuläre Entlastung von bis zu über 90% für einzelne Muskelgruppen erreicht werden konnte. Neben der ergonomischen Optimierung zeigten die Versuche, dass auch die Taktzeit verringert werden konnte. Der Mitarbeiter hat somit mehr Zeit für die Konzentration auf spezifische Aufgaben, die seiner speziellen Fähigkeiten bedürfen.

Abstract

Methodology for Evaluation of Ergonomic Benefits of Human-Robot-Cooperation (HRC)

In this work, a hybrid methodology is developed for the evaluation of human-robot workspaces. This methodology is based on multi-level ergonomic evaluation system combined with two different measurement systems concerning physiological parameters (Surface-Electromyography for muscle action potentials and motion tracking system for motion analysis). In addition to that, the proposed methodology and systems have been tested in an industrial use-case »tail-gate assembly«. The main objective of this approach is to determine the potential of Human-Robot-Collaboration "HRC" technology with respect to the reduction of physical strain. Therefore two different tailgate assembly scenarios have been implemented. The first experiment presents the current status "manual assembly" while the second scenario illustrates the future concept using the HRC.

These experiments have provided that the muscular tension during the manual process could be reduced to 90% in some muscles groups using HRC-scenario. Besides the ergonomic improvement, the experiments have shown that the cycle time could be also improved. Hence, the worker has more time to concentrate on the tasks where his/her skills are really required.

Keywords

Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), Ergonomie-Monitoring, Elektromyographie, Motion Capturing, kombinierte Bewertungsverfahren

1 Einleitung

Hohe physische als auch psychische Arbeitsbelastung sind weitverbreitete Ursachen für Arbeitsunfähigkeit (AU) – auch in arbeitsorganisatorisch und technisch hoch fortschrittlichen Industrieländern wie Deutschland.

Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) stellen nach wie vor die Hauptursache für Arbeitsunfähigkeitstage dar. Im Jahr 2017 entfielen 21,8 % des Gesamt Krankenstandes und 326,9 AU-Tagen je 100 Versicherte auf diese Krankheitsart [Dak17]. Besonders auffallend hierbei sind Erkrankungen der oberen Extremitäten (AMSE-OE).

Das Produktionsumfeld wird jedoch nicht nur durch die Arbeitsaufgabe an sich bestimmt – die Produktionstechnik der Zukunft steht vor der Herausforderung, der Tendenz zu einem Produktmix mit geringen Stückzahlen (bis hin zu Losgröße 1) in Kombination mit einer hohen Diversität der Produkte, gerecht zu werden. Dieser Trend ist bspw. verstärkt in der Automobilbranche anzutreffen [Har03]. Neben der steigenden Variantenvielfalt sind stetig sinkende Produktlebenszeiten zu verzeichnen.

Zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit gilt es daher für Unternehmen, ihre Produktionsmittel zu einer hohen Wandlungsfähigkeit zu befähigen. Eingeschränkte Produktions-Flächenkapazitäten erfordern neue Fertigungskonzepte. Dabei ergeben sich nicht nur Problemstellungen im Bereich der technischen Sicherheitsanforderungen, welche bspw. durch dynamische Arbeitsraumüberwachungen [Bdi17a] oder dem gezielten Einsatz von Interaktionslevels [Bdi17b] gelöst werden. Dieser Ansatz hebt sich von anderen Forschungsansätzen, welche sich vor allem mit der Arbeitsaufteilung innerhalb der MRK [Kru09, Yan04] auseinandersetzen, durch eine neuartige Klassifizierung der Arbeitstätigkeiten zwischen Mensch und Roboter (Interaktionslevel) ab. Die Bewertung der Wirksamkeit von MRK-Systemen, gerade mit dem Fokus

auf Ergonomie, ist jedoch bislang wenig untersucht.

Zwar existieren aktuell einige Arbeiten auf dem Gebiet der Ergonomie-Betrachtung von Roboter-Assistenzsystemen, der Ansatz des Einsatzes eines Schwerlastroboters im Sinne eines kollaborativen Zusammenspiels zwischen Mensch und Maschine durch das Fraunhofer IWU eröffnet jedoch einen Bedarf an empirischen Studien zum Nachweis des Potentials solcher Arbeitsplätze in künftigen Produktionsszenarien. Bisherige Ansätze befassen sich entweder mit der Untersuchung von MRK-Arbeitsplätzen mit Leichtbaurobotern und dementsprechend kleinen Bauteilabmaßen und -gewichten [Thi05] oder untersuchen den Zusammenhang zwischen MRK und Montageablaufplanung [Sch16]. Ökonomische und organisatorische Veränderungen durch MRK werden ebenfalls diskutiert [Kru09], stehen jedoch losgelöst von Ansätzen in Bezug auf den Nachweis ergonomischer Potentiale. Weitere Ansätze befassen sich mit der optimalen Aufgaben-Aufteilung zwischen Mensch und Roboter zur Montageablaufplanung [Fab16]. Auch hier wird der Einfluss von Schwerlastrobotern innerhalb dieser Szenarien nicht hinreichend untersucht.

Des Weiteren kann die notwendige Flexibilität der Produktion bisher aus wirtschaftlichen Gründen oft nur über Einbindung des Menschen in mehr oder minder komplexe Arbeitsprozesse begegnet werden. Durch seine Fähigkeiten, wie u.a. ganzheitliche Auffassungsgabe, Feinfühligkeit, Intelligenz und Kognition ist er im Vergleich zu Maschinen höchst anpassungsfähig. Dabei ist es jedoch von sehr großer Bedeutung, die Bedarfe der vorhandenen Produktionsprozesse zu analysieren und die neu geplante Produktionstechnik entsprechend dieser anzupassen. In der durch das Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) entwi-

ckelten Methodik werden dabei folgende Kriterien untersucht:

- Wirtschaftliche Einsparungen
- Verbesserung der Arbeitssicherheit
- Entlastung der Mitarbeiter und
- Steigerung der Akzeptanz [Del16]

Dieser Beitrag befasst sich innerhalb des Punkt 3 gezielt mit dem Potential innovativer Mensch-Roboter-Systeme zur Verbesserung der Ergonomie.

Die Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) hat aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive das Potential die Ausfallkosten, welche durch arbeitsbedingte MSE verursacht werden, zu reduzieren. Darüber hinaus kann mit Qualitätsverbesserung - im Sinne der Vermeidung von Fehlern – eine Ergonomieverbesserung erzielt werden [Fal2010].

Prinzipiell bietet eine gezielte Prozessgestaltung mittels MRK das Potential, auch einsatz-eingeschränkte oder leistungsgeminderte Mitarbeiter in die Arbeitsabläufe mit einzubinden und kann damit als Treiber für Flexibilität durch die Bereitstellung einer höheren Anzahl von für Ältere, Frauen und leistungsgeminderten Personen geeignete Arbeitsplätze angesehen werden. Zudem können innovative MRK-Arbeitsplätze als Bereicherung im Arbeitsalltag angesehen werden und somit die Motivation der Mitarbeiter und ihre Bindung zum Unternehmen stärken und auf diese Weise die Attraktivität des Unternehmens für Fachpersonal erhöhen.

Neben den bereits beleuchteten wirtschaftlichen Vorteilen, birgt der kollaborative Einsatz von Robotern auch Potential zur ergonomischen Unterstützung von Arbeitsinhalten. Darüber hinaus werden völlig neue Arbeitsorganisationsformen ermöglicht.

Die in seiner Kinematik begründete Bewegungsfreiheit eines 6-Achs-Industrie-Roboters erlaubt u.a. den Einsatz für diverse Hebe- und Anreichaufgaben. So adressiert der kollaborative Robotereinsatz insbesondere die Entlastung des Mitarbeiters durch:

- Übernahme von Kräften und Lasten
- Unterstützung der Körperhaltung
- Reduzierung von Laufwegen

Zur Analyse der Laufwege und Greifvorgänge bei MRK-Arbeitsplätzen wurden bereits Versuche mit über 100 Probanden am Fraunhofer IWU durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen der Bewegungsvarianz der Mitarbeiter und des Vorhandenseins von Industrierobotern im Arbeitsumfeld genauer zu untersuchen [Har17]. Darüber hinaus kann durch den Einsatz des Roboters als Hebegerät oder Manipulator statische Haltearbeit vermieden werden. Auch hochpräzise Positionierungsaufgaben können durch Handführen des Roboters ausgeführt werden.

Einschränkungen können aufgrund beschränkter Traglast und Reichweiten spezifischer Roboter bestehen. Insbesondere kollaborierende Leichtbauroboter können mit der Performance im Bereich der Lastenhandhabung klassischer Industrie-Roboter nur eingeschränkt mithalten.

Daher wird am Fraunhofer IWU intensiver Forschungs- und Entwicklungsaufwand bezüglich der Gestaltung sicherer und effizienter MRK-Lösungen im Schwerlastbereich betrieben.

Zur ergonomischen Bewertung von manuellen und MRK Arbeitsplätzen ist eine skalierbare Methodik erforderlich, welche einen objektiven arbeitswissenschaftlich Vergleich sowohl manueller als auch roboterassistierter Arbeitssysteme ermöglicht. Diese wurde am Fraunhofer IWU entwickelt und anhand des industriellen Szenarios der Heckklappen-Montage validiert und wird im Folgenden detailliert vorgestellt.

2 Methodik

Konzeptionierung

Zur Bewertung von Körperhaltungen existieren sogenannte Screeningverfahren (Beobachtungsverfahren). Dabei wird prinzipiell zwischen Grob- und Detail-Screeningverfahren unterschieden. Im Bereich der Detailverfahren stellt die Leitmerkmalmethode (LMM) in Folge eines qualitativen Vergleichs [Eic17] eine hinreichend sichere Methode im Rahmen des beschriebenen Vorgehens dar, die sich durch einen vergleichsweise geringen Beurteilungsaufwand auszeichnet [Bun01, Bun02,

Bun12].

Vor dem Detail-Screening mittels der LMM bietet sich ein Grob-Screening als schnelle Einstufung potenziell ergonomisch ungünstiger Arbeitsplätze mittels AWSlight an. Innerhalb kürzester Zeit können mittels AWSlight im Unternehmen Belastungsschwerpunkte durch die relative Bewertung von Gewichts- und Kraftniveaus in Bezug auf definierte Körperbereiche (Beine, Rücken, Schultern/Oberarm, Unterarm/Hand/Finger) ermittelt werden, da die Methodik mit geringem Zeitaufwand verbunden ist und keiner besonderen Fachausbildung des Anwenders bedarf [Tec07].

Screeningverfahren basieren im Allgemeinen auf der Beobachtung durch einen möglichst erfahrenen Ergonomie-Experten. Trotzdem unterliegen diese Methoden einem gewissen Subjektivitätseinfluss seitens des Beobachters.

Zur Sicherstellung der Objektivität erfolgt daher zusätzlich die Aufzeichnung und Auswertung der Bewegungsabläufe mit dem Motion-Capturing Tool XSens MVN BIOMECH. Zur Auswertung der auf-gezeichneten Bewegungsabläufe durch Ausgabe der Gelenkwinkel wird sich an [Dgu13] orientiert. Dementsprechend erfolgt eine Einteilung der 11 Körperbewegungen und Körpergelenk-Winkelbereiche in Anlehnung an ISO 11226 und DIN EN 1005-4 in drei Risikobereiche:

- Risikobereich 1: neutral bzw. akzeptabel (grün)
- Risikobereich 2: mittelgradig bzw. bedingt akzeptabel (gelb)
- Risikobereich 3: endgradig bzw. nicht akzeptabel (rot)

Abbildung 1 zeigt diese Einteilung in Bezug auf den Parameter Rumpfnäigung.

Die Software Xsens MVN Studio berechnet für einige der menschlichen Zwischenwirbelgelenke sowohl Lage- als auch Winkelinformationen. Abbildung 2 stellt den anatomischen Aufbau der Wirbelsäule und die durch die Software MVN Studio analysierbaren Wirbelsäulen-Gelenke dar.

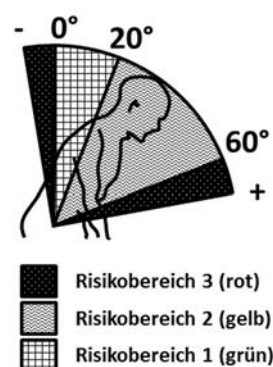


Abbildung 1: Einteilung der Risikobereiche für den Parameter Rumpfnäigung (in Anlehnung an ISO 11226 und DIN EN 1005-4).

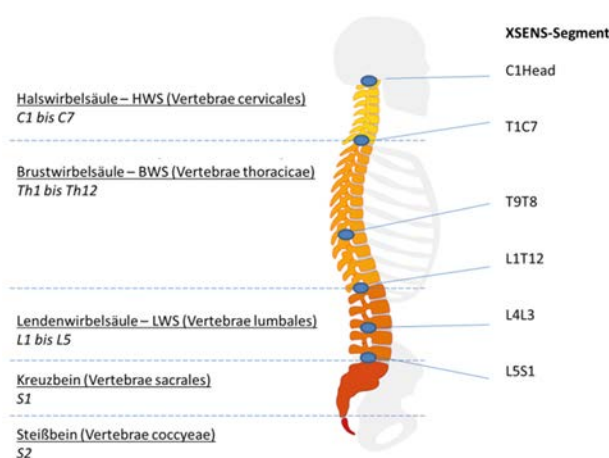


Abbildung 2: Anatomie der Wirbelsäule und Winkeleinteilung in Xsens MVN

Für die Interpretation der Risikobereiche mittels Motion Capturing wurden die von Xsens bereitgestellten Segmente, den in der Studie betrachteten Winkelbereichen zugeordnet (Tabelle 1).

Neben den Screeningverfahren und der messtechnischen Bewegungsanalyse wird mittels Elektromyographie (kurz: EMG, Abbildung 3) die Muskelaktivität ermittelt. Normalisierte EMG-Parameter erlauben die objektive Analyse der physiologischen Beanspruchung der Muskeln.

Tabelle 1: Ermittlung der spezifischen Winkelbereiche über die Xsens Winkel

Bezeichnung Winkelbereich	Berechnung über Xsens Segment
Kopfneigung	C1Head
Kopfseitneigung	T1C7
Halstorsion	T1C7
Halskrümmung	T1C7
Rumpfneigung	L5S1+L4L3+L1T12
Rumpfseitneigung	L5S1+L4L3+L1T12
Rückenkrümmung	L1T12+T9T8+T1C7
Rückentorsion	L5S1+L4L3+L1T12
Oberarm-Adduktion/-Abduktion	RightShoulder bzw. LeftShoulder
Oberarm-Flexion/-Extension	RightShoulder bzw. LeftShoulder
Oberarm-Rotation	RightShoulder bzw. LeftShoulder

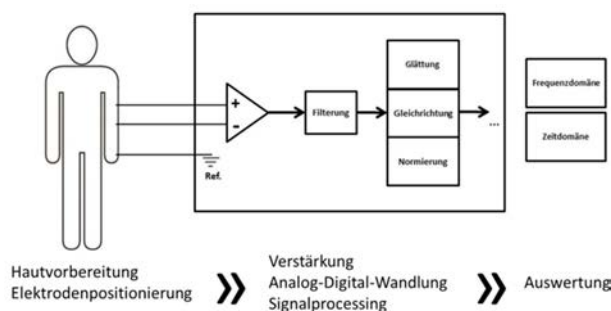


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer EMG-Untersuchung

Allgemeine Empfehlungen zur Signal-Akquisition und zu Signalverarbeitungsmethoden gibt unter anderem das SENIAM-Projekt (Surface EMG for noninvasive assessment of muscles), eine europäische konzertierte Aktion im Biomedizinischen Gesundheits- und Forschungsprogramm (BIOMED II) der Europäischen Union [Sen].

Sowohl die Akquisition der EMG-Signale als auch die Platzierung der Oberflächen-Elektroden erfolgte nach den SENIAM-Richtlinien. Die Platzierung der Oberflächen-Elektroden erfolgte zwischen Muskelansatz der Sehne und Innervationsgebiet des Muskels. Runde Oberflächen-Ag-AgCl-Einweg-Gel-Elektroden kamen zum Einsatz. Der Elektrodenabstand wurde auf 20mm (Mitte-Mitte) festgelegt.

Die Echtzeitdarstellung der EMG-Rohsignale der jeweiligen Kanäle konnte mithilfe der

grafischen Entwicklungsumgebung LabVIEW (Hersteller: National Instruments) umgesetzt werden. Das anschließende Signalprocessing erfolgte mittels MATLAB (Hersteller: MathWorks). Dabei wurde folgendes Signalprocessing vorgenommen:

- Offset-Korrektur
- Hochpassfilterung zur Entfernung von Bewegungsartefakten
- Gleichrichtung
- Glättung des Signals (RMS, 100ms Fenster)

Durch den Einsatz von Messtechnik ergeben sich objektive Messwerte, wodurch der beschriebene subjektive Einfluss des Beobachters minimiert und somit eine qualifizierte Aussage über die real vorherrschende Belastung ermöglicht wird.

Ziel der vorgestellten Methodik ist der Vergleich zweier Arbeitssysteme, unter Berücksichtigung der Beurteilung des Verhältnisses der durch die Montagetätigkeiten auftretenden Belastung und die sich auf den Probanden auswirkende Beanspruchung. Dabei ist eine Beanspruchung aller Muskeln in gleichem Maße bei der Ausführung einer Tätigkeit ausgeschlossen. Die Feststellung der am stärksten beanspruchten Muskelgruppen dient als wichtiger Anhaltspunkt für eine Belastungsoptimierung. Die Identifikation besonders beanspruchter Muskeln wird durch elektromyographische Messungen ermöglicht. Auf die Auswahl konkreter Muskelgruppen wird im Kapitel 3 detailliert eingegangen. Aus den identifizierten stark beanspruchten Körperbereichen lassen sich die Notwendigkeit und das Potential gezielter MRK-Lösungen zur Entlastung dieser funktionalen Muskelgruppen nachweisen. Die EMG-Messung ermöglicht ebenfalls den Nachweis der physischen Entlastung durch den Einsatz des hybriden MRK-Systems.

Industrieller Anwendungsfall Heckklappen-Endmontage

Die Validierung der Methodik erfolgte am Beispiel der Heckklappenmontage im Automobilbau. Dieser Arbeitstakt zeichnete sich ursprünglich durch eine hohe physiologische

Belastung in Folge der Lastenhandhabung beim Heben und Tragen der Heckklappe aus. Um dieser entgegenzuwirken, wurde der Einsatz einer Hebehilfe (Manipulatoren) als Lösungsansatz forciert. Dieser Einsatz war jedoch mit erheblichen Einschränkungen für den Werkern hinsichtlich der Handhabung verbunden, was zu einer eingeschränkten Akzeptanz und damit einer Verweigerung der Nutzung dieses Arbeitsmittels und damit zum Eintreten des Grundzustands geführt hat. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, einen neuen Lösungsansatz zu erarbeiten, um die auftretende Belastung für den Mitarbeiter wirksam zu reduzieren. Im Folgenden werden die beiden Ansätze noch einmal detailliert erläutert. Da sich die einzelnen Teiltätigkeiten der beschriebenen Prozesse stark unterscheiden (bspw. in Körperhaltung, Bewegungsabläufe und Belastungen), wurden diese in der Gegenüberstellung der beiden Montageprozesse getrennt bewertet.

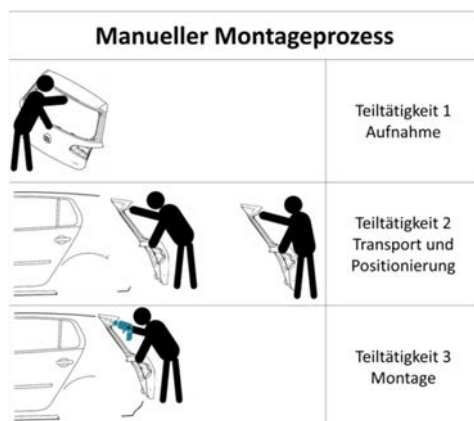


Abbildung 4: Teiltätigkeiten des manuellen Montageprozesses

3 Versuchsaufbau

3.1 Bauteilhandling

Die Handhabung der Heckklappe erforderte einen Roboter mit ausreichender Reichweite und Traglast. Hierfür kam ein KUKA KR180 mit 180kg Nenn-Traglast und maximaler Reichweite von 2896 mm zum Einsatz. Der Roboter wurde zusätzlich mit einer Kraft-Moment-Sensorik am Flansch ausgestattet, um eine physische MRK über Handführung des Roboterendeffektors zu ermöglichen. Das

Greifen der Heckklappe wurde mittels Vakuumsaugtechnik realisiert (vgl. Abbildung 6).

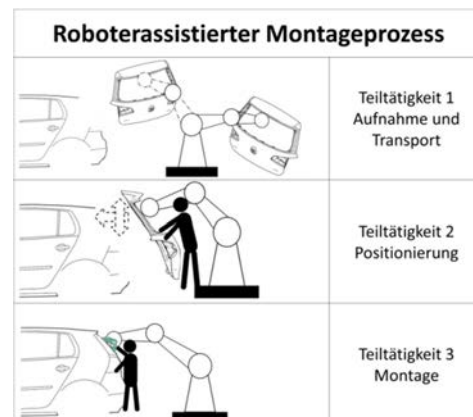


Abbildung 5: Teiltätigkeiten des roboterassistierten (MRK) - Arbeitsprozesses

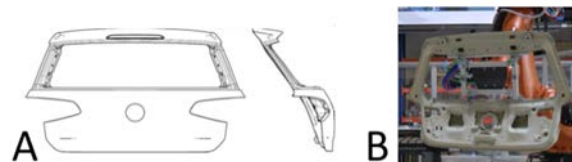


Abbildung 6: Geometrie der Heckklappe (A), durch Roboter gegriffene Heckklappe (B)

3.2 Elektromyographie-System

Zur messtechnischen Ermittlung der Muskel-Aktivität erfolgte die Messung von Muskel-Aktions-Potentialen mittels Oberflächen-Elektromyographie. Hierfür wird sich auf die Auswertung von Amplitudenwerten und eine Signalauswertung in der Zeitdomäne beschränkt. Signalanalysen im Frequenzbereich ermöglichen zusätzlich Aussagen zum Ermüdungsverhalten der Muskeln, sind jedoch weitaus umständlicher und erfordern Elektromyographie-Hardware mit höherer Abtast-rate.

Die Effektivleistung (RMS) wurde als Amplitudenkennwert berechnet. Eine MVC-Normierung (Normierung auf maximal willkürliche Anspannung) ermöglichte den intra- und interindividuellen Vergleich der muskulären Beanspruchung. Hierzu wird die maximale Willkürkontraktion (maximale Willkür-Anspannung des Muskels, MVC) für jeden Probanden und jeden zu messenden Muskel

im Vorhinein ermittelt. Nach den darauffolgenden Messungen bei der Tätigkeitsausführung kann dann das Verhältnis aus maximalem Amplitudenwert der analysierten Tätigkeit (EA_{RMS}) zur maximalen Willkürkontraktion (MVC_{RMS}) gebildet werden, woraus sich der prozentuale MVC-Wert ergibt ($\%MVC$, siehe Formel (1)).

$$\%MVC = \frac{EA_{RMS}}{MVC_{RMS}} \quad (7)$$

Als Messsystem wurde das für Arduino Mikrocontroller entwickelte Erweiterungsboard »Olimex SHIELD-EKG-EMG« genutzt.

Dieses System verfügt über maximal 6 Kanäle mit einer Auflösung von 10bit.

Reinvee et al. verglichen 2015 in einer Studie die Performance kostengünstiger EMG Systeme mit teureren kommerziellen Systemen. Als Ergebnis wurde u.a. festgestellt, dass das Olimex Erweiterungsboard für die Analyse isometrischer Kontraktionen und zur semi-quantitativen Beschreibung von Beanspruchungen geeignet ist [Rei15].

Durch einen durch das Fraunhofer IWU durchgeführten Benchmark mit dem kommerziell verfügbaren EMG-System TeleMyo 2400T G2 der Fa. Noraxon konnte die Eignung für den vorgesehenen Zweck nochmals bestätigt werden. Der Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Thematik arbeitsbedingte MSE der Oberen Extremitäten (AMSE-OE), daher wurden Muskeln der Oberen Extremität und des Rumpfes gewählt (Abbildung 7).

Erste Grobanalysen der Tätigkeit ließen eine besondere Beanspruchung der ausgewählten Muskeln vermuten.

3.3 Probanden

Das in der Studie untersuchte Probandenkollektiv ($n=8$) setzte sich aus 7 männlichen Probanden und einer weiblichen Probandin, im Alter zwischen 18 und 35 Jahren ($SD=4$), zusammen. Alle Probanden wiesen BMI-Werte im normalgewichtigen Bereich auf (gemäß der Adipositas-Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation) [Who00]. Ausschluss-

kriterien waren akute oder chronische gesundheitliche Beschwerden des Bewegungsapparats. Durch eine einheitliche Altersgruppe konnten altersbedingte Leistungsminderungen ausgeschlossen werden. Die Probanden wurden angewiesen, bei der Durchführung der Teiltätigkeiten grobe Bewegungsabläufe nach Vorgabe durchzuführen, um eine inter-individuelle Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

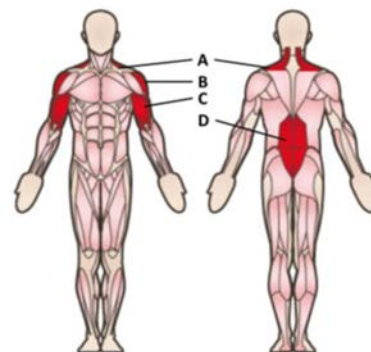


Abbildung 7: Übersicht der ausgewählten Muskeln für die EMG-Messungen. M. trapezius pars descendens (A), M. deltoideus pars acromialis (B), M. biceps brachii (C), M. erector spinae (D)

4 Ergebnisse

Screening-Verfahren

Wichtige Parameter zur Ergonomie-Bewertung sind neben Lastgewicht und Körperhaltungen die Gesamttätigkeitsdauer und Taktzeit und die daraus resultierende Anzahl an Teiltätigkeits-Wiederholungen. Für das Arbeitssystem Heckklappen-Endmontage wurde eine Tätigkeitsdauer für 2 Stunden angesetzt, danach findet ein Wechsel der Tätigkeiten statt. Dies entspricht dem im Automobilbau verbreiteten arbeitsorganisatorischen Konzept der Job-Rotation. Die Mitarbeiter wechseln sich dementsprechend in definierten Zeiträumen ihren Teiltätigkeiten ab. Die Taktzeit wurde auf 100s angesetzt (hypothetische Annahme), wodurch sich ca. 72 Wiederholungen für die Teiltätigkeiten bei einer Tätigkeitsdauer von 2 Stunden ergeben. Das Grob-Screening mit AWSlight ergab eine erhöhte Belastung der Rückenmuskula-

tur. Begründet wird diese durch eine Fehlbelastungen der Wirbelsäule. Aus diesem Grund war die Durchführung der weiteren Detailanalysen angezeigt. Auch die nachfolgende Analyse mittels Leitmerkmalmethode führte zum Ergebnis, dass wesentlich erhöhte Belastungen im Bereich der Lendenwirbelsäule vorliegen.

Motion-Tracking

Die detaillierteren Untersuchung und Identifizierung der besonders beanspruchten Körperpartien erfolgte mittels Bewegungsanalysen und Elektromyographie.

Für jede Teiltätigkeit wurden je Proband 3 Messungen durchgeführt. Für jede Messung erfolgte die Einteilung in die Risikobereiche (»akzeptabel«, »bedingt akzeptabel« und »nicht akzeptabel«), jeweils für die in Tabelle dargestellten Winkelbereiche.

Mittels Software IBM SPSS Statistics und einer angefertigte Programm-Syntax konnte die Auswertung teilweise automatisiert werden. Ein Auswertebereich für jede Messung konnte so teilautomatisiert erstellt werden – dieser umfasst neben den jeweiligen Gelenkwinkel und daraus resultierenden Bewegungsverläufen, die zeitlichen Anteile der Risikobereiche (Abbildung 8).

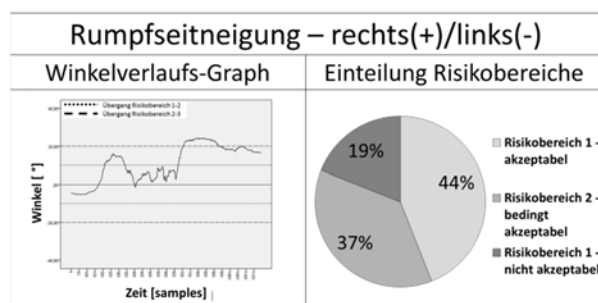


Abbildung 8: Ausschnitt Bewegungsanalyse-Auswertebogen Rumpfsseitneigung

Elektromyographie – muskuläre Beanspruchung

Für die Ausgangsmontagehöhe ergab sich bei der manuellen Montage eine erwartungsgemäß hohe Beanspruchung des Rückenstreckers (M. erector spinae) aufgrund einer relativ starken Rumpfnéigung.

Mittels Umgestaltung durch den Einsatz von MRK konnte eine Entlastung der betrachteten Muskelgruppen erreicht werden. Eine weitere Optimierung und Entlastung, insbesondere der Wirbelsäule, konnte durch werker-individuelle Anpassung der Montagehöhe erreicht werden. Somit konnte u.a. die Flexion der Wirbelsäule auf ein Minimum reduziert werden.

Final konnte die muskuläre Beanspruchung somit - gegenüber des Vergleichsprozesses der manuellen Montage - um 92% für den Bizeps, 78% für den mittleren Deltamuskel, 79% für den Trapezmuskel und 61% für den Rückenstrecker reduziert werden.

Beispielhaft sind die Auswertungen für Teiltätigkeit 3 in Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt (Datengrundlage: Mittelwerte der %MVC-Werte der Probanden).

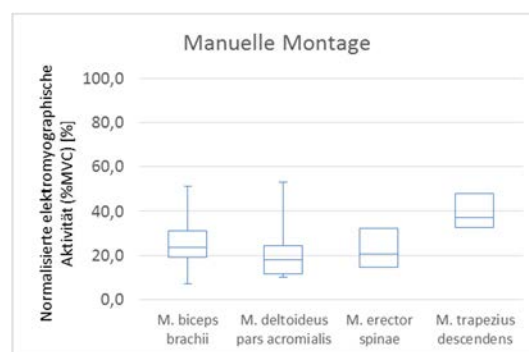


Abbildung 9: Normalisierte elektromyographische Aktivität - Teiltätigkeit 3 – manuelle Ausführung

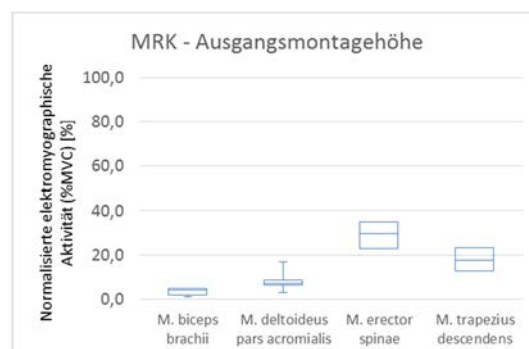


Abbildung 10: Normalisierte elektromyographische Aktivität - Teiltätigkeit 3 – roboter-assistierte Ausführung

5 Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen bestätigte sich die Eignung der erarbeiteten Methodik zur Untersuchung der muskulären Beanspruchung für manuelle als auch MRK-Arbeitsysteme. Der Nachweis einer signifikanten Entlastung der Probanden durch Umgestaltung der Applikation Heckklappen-Endmontage wurde erbracht.

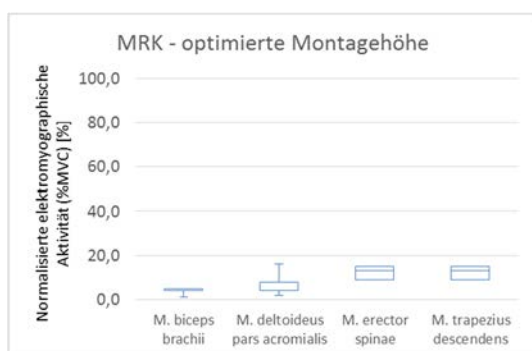


Abbildung 11: Normalisierte elektromyographische Aktivität - Teiltätigkeit 3 – roboterassistierte Ausführung mit optimierter Montagehöhe

Nutzen und Aufwand gilt es, wie auch bei der Anwendung anderer Ergonomie-Bewertungsverfahren, im Vorhinein abzuschätzen. Hierbei sind klassische Beobachtungsverfahren

(Screening-Methoden) tendenziell mit weniger Aufwand verbunden, verglichen mit messtechnischen Analysen. Insbesondere die Elektromyographie ist mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden – ist für den objektiven messtechnischen Nachweis der muskulären Beanspruchung aber nicht zu ersetzen. Weitere Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz von EMG-Messungen zur Ergonomiebewertung sind fundierte Kenntnisse zur menschlichen Anatomie. Sowohl die Wahl der elektromyographisch zu untersuchenden Muskeln, als auch die gewissenhafte Platzierung der Elektroden sind ausschlaggebend für die Ergebnisse.

Daraus ergeben sich neue mögliche Ansätze, die Methode über ihre prinzipielle Eignung zur Bewertung der Ergonomie hinaus, auf einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz hin zu untersuchen.

Des Weiteren wurde auf die in Kapitel 2 aufgegriffene Problematik der Akzeptanz der Nutzer nicht detaillierter eingegangen. Eine Wechselwirkung zwischen psychologischer und physiologischer Belastung wurde in diesem Zusammenhang ebenfalls vernachlässigt und bietet Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen.

Literatur

- [Bdi17a] M. Bdiwi und S. Krusche: Zone-Based Robot Control for Safe and Efficient Interaction between Human and Industrial Robots. In: International Conference on Human-Robot Interaction, 2017.
- [Bdi17b] M. Bdiwi, M. Pfeifer, und A. Sterzing: A new strategy for ensuring human safety during various levels of interaction with industrial robots. CIRP Annals, Volume 66, Issue 1, S. 453-456, 2017.
- [Bun01] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Leitmerkmal-methode - Heben, Halten, Tragen. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Heben-Halten-Tragen.pdf>
- [Bun02] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Leitmerkmal-methode - Ziehen, Schieben. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Ziehen-Schieben.pdf>
- [Bun12] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Leitmerkmal-methode - Manuelle Arbeitsprozesse. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Manuelle-Arbeit.pdf>
- [Dak17] DAK Gesundheit: Gesundheitsreport 2018.

- [Del16] K. Delang, L. Winkler, M. Bdiwi, M. Breiffeld und M. Putz: Bedarfsgerechte Industrieanwendungen kollaborierender Mensch-Roboter-Systeme in Produktionsprozessen. Ein Ansatz zur Analyse konkreter Industriebedarfe. In: Univ. der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik: Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema "Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen", S. 163-172, 2016.
- [Din09] DIN EN 1005-4:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen; Deutsche Fassung EN 1005-4:2005+A1:2008
- [Dgu13] DGUV Information 208-033 des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
- [Eic17] P. Eichler und M. Breiffeld: Messtechnische Evaluierung biomechanischer Potentiale bei Kooperation von Mensch und Roboter, Chemnitz: Fraunhofer IWU, 2017.
- [Fab16] M. Faber, S. Kuz, A. Mertens und C. Schlick: Model-Based Evaluation of Cooperative Assembly Processes in Human-Robot Collaboration. In: Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future. Springer Nature, S. 101-112, 2016.
- [Fal10] A.-C. Falck, R. Örtengren und D. Högborg: The Impact of Poor Assembly Ergonomics on Product Quality: A Cost-Benefit Analysis in Car Manufacturing. In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries 20(1):24-41. Göteborg, Sweden, 2017.
- [Har03] P. Harms und S. Paul: Variantenmanagement. In: B. Ebel, M. B. Hofer (Hrsg.) Automotive Management. Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2003.
- [Har17] A.-K. Harsch, K. Delang, M. Bdiwi, M. Breiffeld, M. Putz: Safe Human-Robot-Collaboration (HRC) based on a new concept considering human movement variability. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), S. 2, 2017.
- [Iso00] ISO 11226:2000-12: Ergonomie-Evaluierung von Körperhaltungen bei der Arbeit
- [Kru09] J. Krüger, T. K. Lien und A. Verl: Cooperation of Human and Machines in Assembly Lines CIRP Annals – Manufacturing Technology (2), S. 628-646, 2009.
- [Rei15] M. Reinvee, P. Vaas, J. Erelne und M. Pääsuke: Applicability of Affordable sEMG in Ergonomics Practice. In: Procedia Manufacturing 3, S. 4260-4265, 2015.
- [Sch16] D. Schröter, P. Kuhlmann, T. Finsterbusch, B. Kuhrke und A. Verl: Introducing Process Building Blocks for Designing Human Robot Interaction Work Systems and Calculating Accurate Cycle Times. In: Procedia CIRP 44, S. 216-221, 2016.
- [Sen] Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting: expert perspectives. <https://www.seniam.org/>.
- [Tec07] Technische Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaften: AWS light (Assembly Worksheet light). http://www.kobra-projekt.de/system/files/download/files/AWSlight_Einstufungsbogen.pdf.
- [Thi05] S. Thiemermann: Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter, 2005.
- [Who00] WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. WHO Technical Report Series 894, Genf 2000.
- [Yan03] H. A. Yanco, J. L. Drury: Classifying Human–Robot Interaction: An Updated Taxonomy. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, S. 2841-2846, 2004.

Praktische Bedarfsanalyse am Beispiel der Entwicklung eines Bewegungsunterstützungssystems für die Treppenüberwindung

M. Böhme, F. Weiske, J. Jäkel und J. Zentner

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig,
Fakultät Maschinenbau und Energietechnik, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
max.boehme@htwk-leipzig.de, felix.weiske@htwk-leipzig.de

Kurzzusammenfassung

Für die Entwicklung eines mobilen Bewegungsunterstützungssystems (BUS) zur Treppenüberwindung wurde eine Bedarfsanalyse durchgeführt. Im Rahmen einer Studie wurden hierzu 25 Probanden biomechanisch untersucht und hinsichtlich Problemkontext und Technikakzeptanz befragt. Ziel war es, den biomechanischen Bedarf durch den hier ermittelten subjektiv empfundenen Bedarf zu ergänzen. Somit konnten Aussagen für eine Systemarchitektur getroffen werden sowie die generelle Akzeptanz gegenüber derartiger Systeme ermittelt werden. Wesentliches Problem bei der Überwindung betrifft das Kniegelenk. Gegenüber BUS als Lösung konnte insbesondere in der älteren Gruppe eine Offenheit festgestellt werden. Der gewählte, praktische Ansatz der Bedarfsanalyse validiert die Erkenntnisse und bestätigt die Technikentscheidung hinreichend.

Abstract

Practical requirements analysis for the development of an exoskeleton for stair negotiation

For the development of a mobile exoskeleton for stair negotiation a requirements analysis was conducted. 25 participants were examined to (investigate gait biomechanics and) assess the validity of the technical solution with respect to problem context and technical acceptance via questionnaire. The objective was to compile an understanding of the subjective requirements adding to the biomechanical problem of stair negotiation. Specifications for the general system architecture and conclusions about technical acceptance for exoskeletons were compiled. Major challenges originate from missing torque in the knee joint. A result worth mentioning is general openness for exoskeletal solutions by the elderly group. The chosen practical requirements analysis validates the insights and supports the technology decision sufficiently.

Keywords

Bewegungsunterstützungssysteme, Bedarfsanalyse, Treppenüberwindung, Unterstützungsbedarf, Exoskelett

1 Einleitung

Die Treppenüberwindung ist ein alltäglicher Bewegungsvorgang des Menschen, der mit zunehmendem Alter zur täglichen Hürde werden kann. Unter Treppenüberwindung ist sowohl Treppenaufstieg als auch -abstieg zu verstehen. Durch altersbedingte Veränderungen im menschlichen Körper, wie Muskelkraftver-

lust oder Gelenkverschleiß, treten bei Senioren Veränderungen im Gangbild, Balanceprobleme und eine erhöhte Angst vor dem Stürzen auf [Ver08, Ree09].

Um diesen Problemen zu begegnen, soll ein am Körper getragenes Bewegungsunterstützungssystem (BUS) entwickelt werden. Ein derartiges, leicht an- und ablegbares System

würde den Menschen in seiner Bewegung unterstützen, ohne dabei seine Funktion zu ersetzen. Durch das BUS soll verhindert werden, dass der Anwender auf aufwändigere Strategien zur Treppenüberwindung zurückgreifen muss.

Die Systemarchitektur eines minimal aktuierten BUS unterliegt dem biomechanischen und dem subjektiv empfundenen Bedarf der potentiellen Anwender. Der potentielle Anwender ist hier eine gehschwache Person, welche Treppen im eigenen Wohnbereich überwindet und dazu aktuell auch noch die Fähigkeit besitzt. Der subjektiv empfundene Bedarf kann indirekt durch Befragung oder auch direkt durch Beobachtungen in der Problemsituation ermittelt werden.

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob die potentiellen Nutzer ein derartiges System überhaupt nutzen würden. Dabei soll auch der Frage nachgegangen werden, welche Einstellungen die potentiellen Anwender gegenüber am Körper getragene Systeme generell haben. Die erhobenen Ergebnisse müssen in Folge geeignet ausgewertet werden, um das Nutzerbedürfnis mit den Systemanforderungen zum bestehenden Bedarf zusammenzufügen. Man spricht von Nutzerpartizipation [Sar06]. Hierzu müssen die Ergebnisse aus Sicht des Nutzers interpretiert werden. Beim Entwurf der Erhebungsinstrumente ist die Interpretationsperspektive ebenfalls ausschlaggebend. Es gibt zwei wesentliche Perspektiven, die angestrebte Lösung aus Sicht des Nutzers zu beschreiben: mit Fokus auf die User Experience oder mit Fokus auf die Technikakzeptanz.

Zur Bewertung der User Experience werden neben der Gebrauchstauglichkeit auch erfahrungsbezogene Wirkungen beim Nutzer wie z. B. emotionale Zustände verwendet (auch „Anwendungserlebnis“ [Has10]). Für die Akzeptanzbewertung spielt das UTAUT-Modell [Ven03] eine wesentliche Rolle. Dieses Modell beschreibt, inwiefern die Nutzungsabsicht durch Erwartungen an den Nutzen und das soziale Umfeld moderiert wird.

Laut [Wei16, S. 203-211] beschreiben diese Perspektiven jedoch nicht die kontextabhän-

gigen Aspekte, die für die Problemwelt hinsichtlich kognitiver (und sozialer) Dimension wesentlich sind. Es wird daher als Ergänzung eine kontextintegrierende, praxiszentrierte Bedarfsanalyse angewendet. Wesentlich für die Auswertung der Ergebnisse sind hierbei Alltagsroutinen und Bewältigungsstrategien, die mit dem Problemfeld im Zusammenhang stehen.

Für die Bedarfserhebung im Rahmen der BUS-Entwicklung verstehen die Autoren es als „praktisch“, die unterschiedlichen Perspektiven nicht in vollem Umfang aber gleichzeitig zu erheben. Die vollständige Auswertung der Ergebnisse soll so ein grobes aber umfassendes Bild des Systems zeichnen, wie es für den gewollten Nutzen und seine Nutzung hin konzipiert sein muss. Bezüglich der Entwicklung wird so bereits früh bedingt, dass das angestrebte Konzept auch wirklich akzeptiert und im Problemkontext (gerne) genutzt wird.

2 Methode

Für die Bedarfsanalyse wurde eine Studie zur Treppenüberwindung durchgeführt. Teilgenommen haben 13 Probanden (sechs männlich, sieben weiblich) im Alter von 22 bis 28 Jahren sowie zwölf Probanden (fünf männlich, sieben weiblich) im Alter von 69 bis 77 Jahren. Die erste Gruppe galt als Referenzgruppe und umfasste die jungen Probanden. Die zweite Gruppe umfasste die potentiellen Nutzer des zu entwickelnden BUS.

Wesentliche Aufgabe war die Erhebung der Probleme bei der Treppenüberwindung und wie der Bedarf einer technischen Lösung charakterisiert werden kann. Der Bedarf war bezüglich User Experience [Has10], Technikakzeptanz [Ven03] und Problemkontext [Wei16, S.203-211] zu erheben. Zwecks User Experience spielt die emotionale Bewertung des BUS eine Rolle. Die Akzeptanzbewertung bezieht sich auf die konkrete Frage, ob eine Lösung mit einem BUS akzeptiert werden würde und den Bedarf alltagsintegrierend und kontextbezogen deckt. Der Problemkontext meint Ursachen, Bewusstsein und Bewältigungsstra-

tegien des Problems einer erschwerten Treppenüberwindung.

Aus dem methodischen Ansatz ist ein Fragebogen entstanden. Folgende Fragen bezogen sich auf den Bedarf zur Ermittlung der Systemarchitektur:

- Wie oft werden täglich Treppen überwunden?
- Werden im Heimbereich Treppen überwunden?
- Fällt der Auf- oder der Abstieg schwerer?
- Was genau fiel an einer der beiden Aufgaben schwerer?
- In welchen Gelenken wird sich eine Unterstützung gewünscht?
- Welche Eigenschaften sollte ein am Körper getragenes Unterstützungssystem haben?

Bei der Ermittlung der Eigenschaften wurde die imaginierte Systemarchitektur im Dialog erklärt. Ziel war es dabei, den Probanden ein am Körper getragenes Unterstützungssystem vorstellbar zu machen, ohne Visualisierungen nutzen zu müssen. Bei der Frage nach den Eigenschaften wurden die Antwortmöglichkeiten jeweils vorgegeben. Zu jeder Eigenschaft des Systems sollten entweder *Forderung*, *Wunsch* oder *nicht wichtig* angekreuzt werden. Nachfragen zu einzelnen Eigenschaften wurden direkt im Dialog beantwortet, um eine möglichst einheitliche Vorstellung des Systems und dessen Eigenschaften wiederzugeben.

Weitere Fragen zur Akzeptanz und generellen Einstellung lauteten:

- Würden Sie ein derartiges System nutzen wollen?
- Wie finden Sie Bewegungsunterstützungssysteme im Allgemeinen? (ankreuzen von Adjektivpaaren)

Der Fragebogen wurde parallel und nach den biomechanischen Versuchen mit den Probanden im Gespräch ausgefüllt. Für die biomechanischen Versuche wurde ein Treppenaufbau mit einem Steigungswinkel von 30° bestehend aus vier Stufen und einer integrierten Kraftmessplatte verwendet. Der Treppenaufbau wurde jeweils sechs Mal auf- und abgestiegen. Abschließend sollten die Probanden eine zwölfstufige Treppe im Gebäude für eine

Minute im Wechsel auf- und absteigen. Der biomechanische Bedarf wurde ergänzend zum subjektiven Bedarf aufgenommen. Die Probanden wurden zu den Versuchen beobachtet und Vermutungen bezüglich vorhandener Bewältigungsstrategien notiert.

Je Proband wurden die Beobachtungen und die biomechanischen Verläufe mit den Angaben aus dem Fragebogen weitestgehend auf Konsistenz überprüft. Ein subjektiv höheres Belastungsempfinden sollte zum Beispiel mit höherer Gelenkleistung und Ausgleichsbewegungen einhergehen. Mit Blick auf alle Probanden konnten so Bewältigungsstrategien für die erhöhte Belastung bei Treppenüberwindung identifiziert und validiert werden. Angaben im Fragebogen zur Akzeptanz wurden zu den entsprechenden Aspekten des UTAUT-Modells in Verbindung gesetzt. In Kombination waren Festlegungen zur Systemarchitektur des BUS auszumachen, die einerseits kontextbedingt nötig, und andererseits bezüglich User Experience und Technikakzeptanz wünschenswert sind.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse zur Systemarchitektur

Die Ergebnisse zur allgemeinen Einordnung der befragten Personen zeigten, dass nur einer von 13 Senioren zum Zeitpunkt der Befragung in seinem Alltag auf Gehstützen, Rollatoren oder Rollstühle zurückgegriffen hat. Des Weiteren nahm keiner der insgesamt 25 befragten Personen körperliche Unterstützung in Anspruch.

Die Senioren gaben außerdem an, dass sie durchschnittlich sechs Mal täglich die Treppe überwinden. Diese Aussagen sind für eine nachgelagerte Dimensionierung relevant, um Lastwechsel und Nutzungszyklen festlegen zu können. Des Weiteren gaben drei Viertel der befragten Senioren an, dass sie Treppen in ihrem Heimbereich überwinden.

83 % der jungen Personen gaben an, dass der Aufstieg im Vergleich zum Abstieg die anspruchsvollere Aufgabe ist. Demgegenüber sind es nur 30 % der Senioren. 70 % der befragten Senioren empfanden den Abstieg als die anspruchsvollere Aufgabe. Die von den

jungen Personen eigens angegebenen Ursachen dafür sind folgende:

Aufstieg:

- Arbeit gegen die Schwerkraft
- Höherer Kraftaufwand
- Anheben der Beine
- Treffen der höheren Stufe
- Belastung des stehenden Beines

Abstieg:

- Gewicht muss abgefangen werden
- Höhere geforderte Aufmerksamkeit

Die Begründungen der Senioren hingegen sind nachstehend aufgelistet:

Aufstieg:

- Arbeit gegen die Schwerkraft
- Kraftverlust bei längeren Treppen

Abstieg:

- Balanceprobleme
- Stufen sind nicht gut sichtbar
- Blickrichtung nach unten
- Bein nach vorne/unten bewegen

Weitere Probleme der Senioren sind für den Auf- und Abstieg die Angst vor dem Stürzen und die verringerte Sehfähigkeit.

Des Weiteren wurden die Senioren gefragt, in welchen Gelenken sie sich eine Unterstützung wünschen. Dabei sollte eine Reihenfolge zwischen Hüftgelenk, Kniegelenk und Fußgelenk festgelegt werden, wobei das Gelenk mit dem höchsten Unterstützungswunsch an erster Stelle genannt wird.

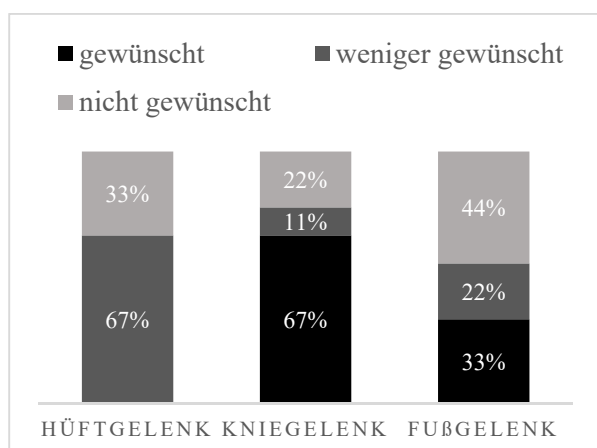


Abbildung 1: Unterstützungswunsch nach Gelenken (Gruppe Senioren)

Die Ergebnisse in Abbildung 1 zeigen, dass das Kniegelenk bei zwei Dritteln der befragten Senioren den höchsten Unterstützungsbedarf hat. Ein Drittel der Senioren äußerte hingegen, dass das Fußgelenk unterstützt werden sollte. Das Hüftgelenk wurde von keinem der Senioren als zu unterstützendes Gelenk angegeben. Zudem gaben zwei Drittel der Befragten an, dass eine Unterstützung im Hüftgelenk weniger gewünscht wird.

Abschließend wurden die Senioren zu den Anforderungen, welche sie an ein derartiges System stellen würden, befragt. Hierbei sind Forderungen zwingend nötige Eigenschaften, die das System haben soll. Der Wunsch ist für die Kernfunktion nicht relevant, würde aber das System in seinen Funktionen hinsichtlich User Experience aufwerten. Unwichtige Eigenschaften sollten in der Systemarchitektur unberücksichtigt bleiben.

Forderungen sind das schnelle An- und Ablegen des Systems, ein ergonomisches Tragegefühl, die einfache Bedienung und eine vom Kleidungszustand unabhängige Funktionsweise des BUS. Des Weiteren gab die Hälfte der Befragten als Forderung sowie als Wunsch an, dass das Gehen uneingeschränkt möglich sein sollte. Kein potentieller Nutzer hat sich gegen diese Eigenschaft ausgesprochen. Gegen ein automatisches An- und Ablegen haben sich zwei Drittel der Senioren ausgesprochen. Dass das System auch das Gehen unterstützen soll, haben nur 36 % gefordert. Allerdings wünschten sich diese Eigenschaft 55 % der Befragten. Dass das System auch außerhalb des Treppenbereiches tragbar ist gaben 40 % als Forderung und weitere 40 % als Wunsch an. Ein Fünftel fand diese Eigenschaft eher unwichtig.

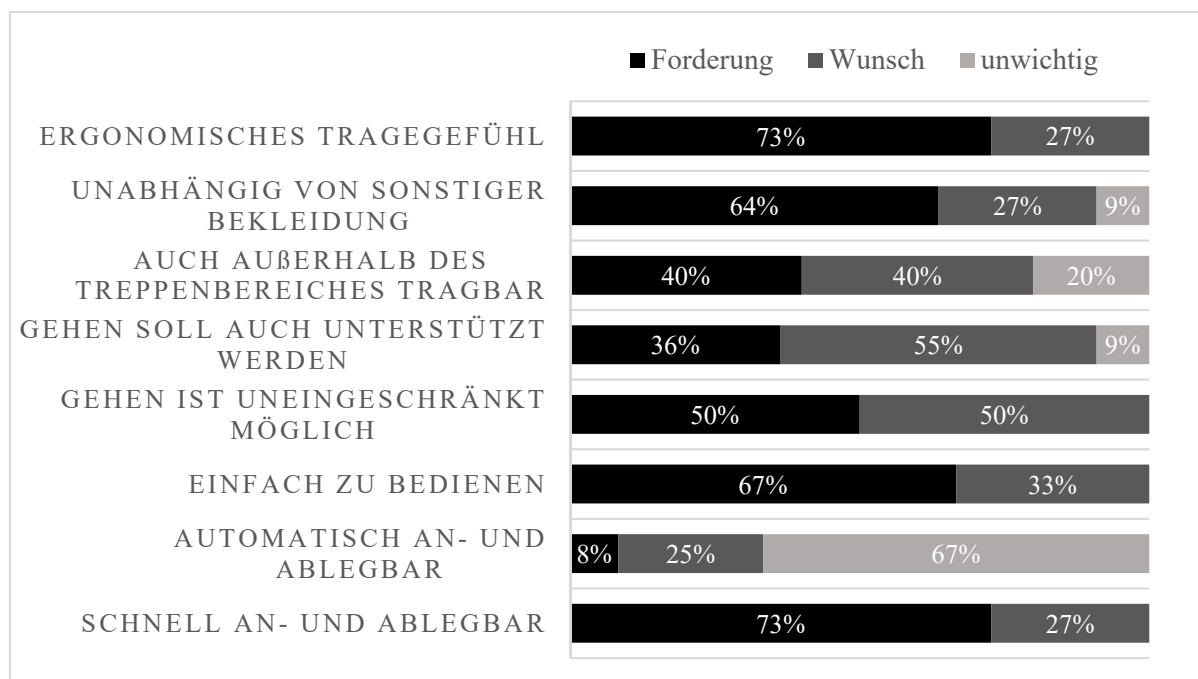


Abbildung 2: Anforderungen an das BUS

3.2 Ergebnisse zur Akzeptanz

Bei der Untersuchung zur Akzeptanz wurden alle 25 Probanden gefragt, ob sie ein entsprechendes System tragen würden. Zwei Drittel der jungen Menschen lehnten eine Verwendung des BUS ab (siehe Abbildung 3). Bei den Senioren ist hingegen erkennbar, dass ein Viertel eine hohe Bereitschaft zeigt, ein BUS zu tragen. Dennoch lehnten auch genauso viele eine Verwendung ab.

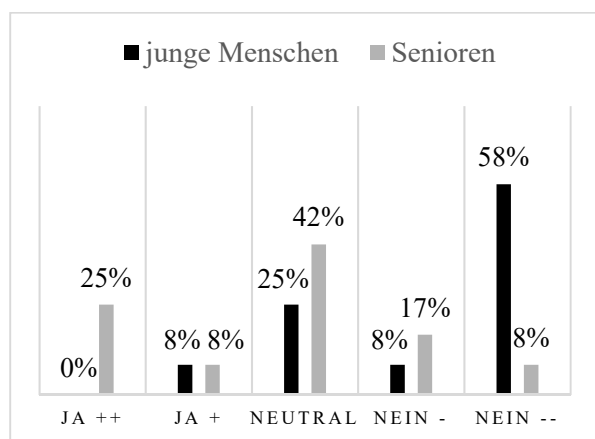


Abbildung 3: Bereitschaft, BUS zu Tragen

In Abbildung 4 ist die generelle Einstellung von 23 Probanden gegenüber BUS dargestellt. Im Vorfeld zu dieser Fragestellung wurden diverse Bilder von aktuell existierenden BUS

des unteren Bewegungsapparates gezeigt. Die Angaben sind in Prozent dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass BUS überwiegend mit positiven Adjektiven in Verbindung gebracht wurden. Die Mehrheit beider Probandengruppen gab an, dass sie BUS nützlich und gut finden. Alle 23 Probanden finden BUS hilfreich. Bei der Frage, ob BUS wünschenswert oder nicht wünschenswert sind, liegt eine breitere Verteilung vor. Bei den Adjektivpaaren angenehm-unangenehm, nett-nervig und erfreulich-ärgerlich hat die Mehrheit aller Befragten eine neutrale Einstellung. Die Senioren fanden BUS eher aktivierend als einschläfernd und effizient als unnötig.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse

Da die befragten Personen zum Versuchszeitpunkt keine körperliche Unterstützung in Anspruch nahmen und nur einer auf unterstützende Technik zurückgriff, sind die Probanden mehrheitlich als nicht gehschwach und somit auch nicht zwangsläufig als Teil der definierten Zielgruppe einzuschätzen.

Die Diskussion der Ergebnisse beinhaltet nach

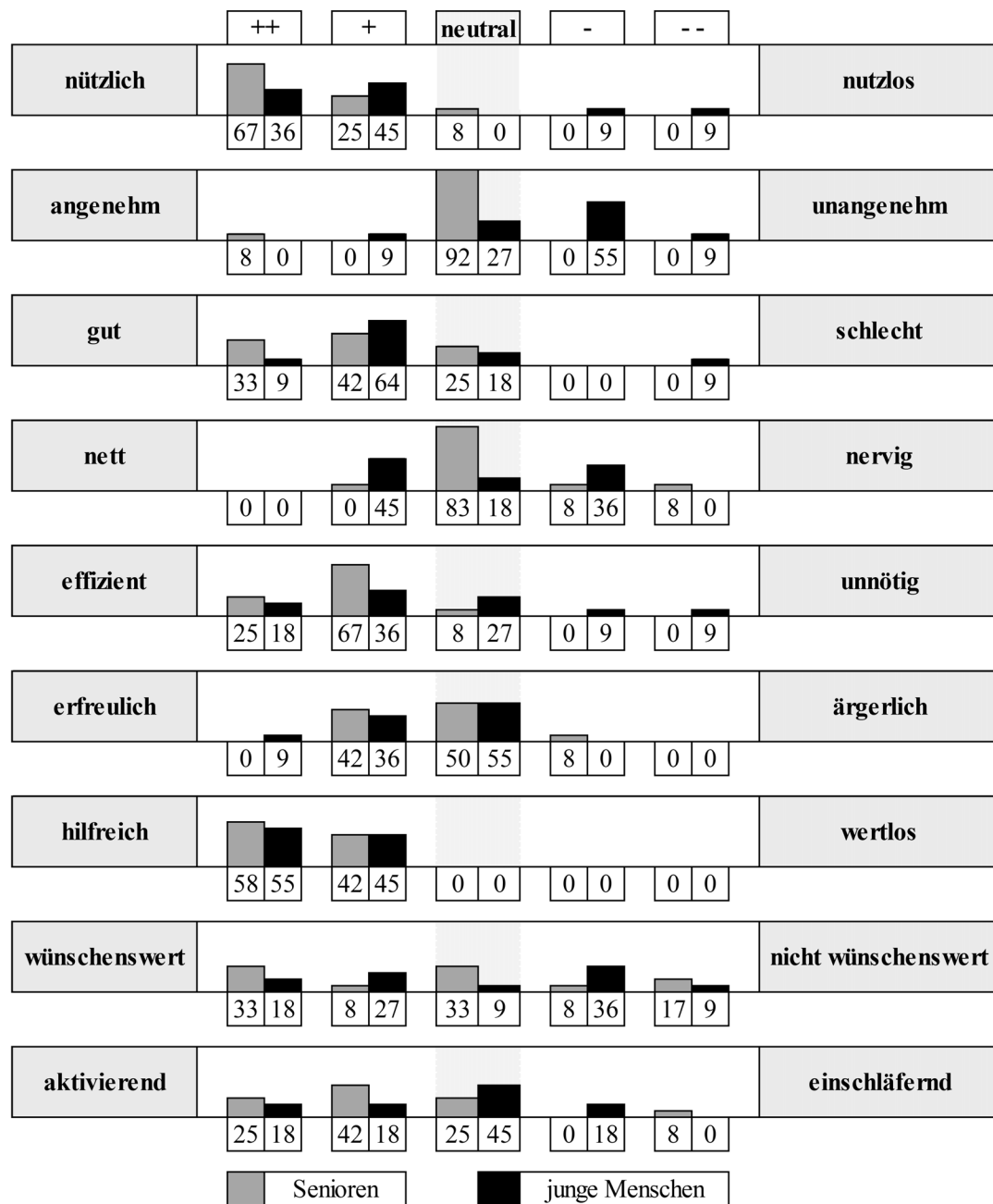


Abbildung 4: Generelle Einstellung gegenüber BUS (Angaben in %)

folgend den Einfluss auf die Systemarchitektur sowie die Interpretation der Akzeptanz gegenüber dem imaginierten System.

4.1.1 Diskussion zur Systemarchitektur

Der Bewegungsvorgang des Treppenaufstieges unterscheidet sich bereits vom Treppenabstieg in der Kinematik sowie in der Kinetik [Pro07]. Daher ist zu vermuten, dass die unterschiedlichen biomechanischen Anforderun-

gen auch zu unterschiedlichem Schwierigkeitsempfinden führen könnten. Die Ergebnisse der Befragung bestätigen diese Vermutung. Da die Senioren den Abstieg als wesentlich anspruchsvollere Aufgabe einschätzen als den Aufstieg, ist bei der Wahl der Systemarchitektur besonders auf die Kinematik und Kinetik dieses Bewegungsvorganges zu achten. Die Problembegründungen für den Abstieg sind allerdings nicht ausschließlich Einschrän-

kungen am Gehäpparat wie z.B. ein Kraftmangel, sondern auch Probleme mit der Sichtbarkeit der Stufen, der nach unten gerichteten Blickrichtung und dem Halten der Balance. Die Balanceprobleme könnten durch die Eliminierung der Freiheitsgrade des unteren Sprunggelenks verringert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Gelenkachsen des Systems kongruent zu den Körpergelenkachsen sind [Yan08]. Der Balance dienlich könnte auch eine Einschränkung der Freiheitsgrade im Hüftgelenk sein, wodurch die Abduktion und Adduktion eingeschränkt wird. Dies könnte allerdings dazu führen, dass ein Kurvenlauf, der für die Überwindung von Wendeltreppen und mehrläufigen Treppen unabdingbar ist, in einem praktischen Aufbau nicht mehr gewährleistet sein könnte. Im Allgemeinen werden Einschränkungen der Freiheitsgrade des menschlichen Körpers als unangenehm empfunden, da das ergonomische Tragegefühl dadurch beeinträchtigt wird. Beim Aufstieg geben beide Probandengruppen die Schwierigkeit an, gegen die Schwerkraft arbeiten zu müssen. Demnach sollte das System den menschlichen Körper in der Standphase beim hoch drücken unterstützen, wobei muskuläre Kraft zur Gewinnung von potentieller Energie aufgebracht werden muss. Somit sind für beide Bewegungsvorgänge ideale Systemarchitekturen zu synthetisieren, welche im Nachgang in einer Systemintegration zusammengeführt werden sollten.

Dem Kniegelenk sollte in der Systemarchitektur die höchste Beachtung geschenkt werden, da sich hier nach den Ergebnissen in Abbildung 1 der höchste Unterstützungsbedarf ergibt. Demnach sind auch die biomechanischen Ergebnisse, vor allem die vorhandenen Differenzen der aufgetragten Kniegelenkmomente beider Gruppen [Nov11a, Nov11b], näher zu untersuchen. Ein Unterstützungsbedarf im Fußgelenk ist ebenfalls festzustellen. Da eine Unterstützung des Hüftgelenks bei keinem der Probanden als erstes gewünscht wurde, ist hier von einer Unterstützung abzu- sehen, obwohl diese durch die Befragung alleine nicht vollständig ausgeschlossen werden

kann. Im Allgemeinen ist nicht davon auszu- gehen, dass ein Proband fähig ist seine Ein- schränkungen exakt zu lokalisieren. Daher sind die Ergebnisse der subjektiven Abfrage des Unterstützungsbedarfs mit der biomecha- nischen Analyse abzugleichen. Dieser Ab- gleich ergibt, dass im Fuß- sowie im Kniege- lenk doppelt so hohe Gelenkmomente auftre- ten wie im Hüftgelenk [Nov11a]. Außerdem sind die Unterschiede der kinetischen Ver- läufe im Hüftgelenk zwischen jungen Men- schen und Senioren sehr gering. Die Ergeb- nisse der praktischen Bedarfsanalyse sichern die biomechanischen Ergebnisse also tenden- ziell ab. Es entsteht auch die neue Hypothese, dass das Kniegelenk in jedem Fall aktiv unter- stützt werden sollte. Es bleibt zu untersuchen, ob das Fußgelenk passiv unterstützt werden kann. Da das Hüftgelenk sowohl in der biome- chanischen Analyse als auch bei der subjektiven Einschätzung keinen Unterstützungsbe- darf hat, sollte es auch nicht in der Systemar- chitektur berücksichtigt werden. Demnach sind auch deren Freiheitsgrade nicht einzu- schränken.

Die Ergebnisse der Anforderungsuntersu- chung zeigen, dass auf fünf wesentliche For- derungen bei der Gestaltung des Systems ge- achtet werden sollte:

- Schnelles An- und Ablegen des Systems
- Ergonomisches Tragegefühl
- Einfache Bedienung
- vom Bekleidungsstand unabhängige Funktionsweise
- Gehen ist uneingeschränkt möglich

Das schnelle An- und Ablegen des Systems sowie die einfache Bedienung prägen vor al- lem die Gestalt der Fixierung des Systems am menschlichen Körper. Das System muss also mit wenigen und intuitiven Handgriffen am Körper anzulegen und funktionsfähig sein. Von einem automatischen An- und Ablegen sollte abgesehen werden. Das ergonomische Tragegefühl wird zum einen durch die Schnitt- stelle zwischen Mensch und System bestimmt und zum anderen bei der Wahl der Freiheits- grade des Systems. Hier ergibt sich ein Ziel- konflikt, da eine Einschränkung der Freiheits- grade das Balanceproblem lösen könnte, aber

das einem ergonomischen Tragegefühl entgegenstehen könnte.

Dass das System auch außerhalb des Treppenbereiches tragbar sein sollte, hat eine eher geringere Bedeutung. Somit ist auch ein System, welches dauerhaft oder über einen längeren Zeitraum am Körper getragen werden soll, für die weitere Entwicklung auszuschließen. Dass das Gehen auch unterstützt werden soll, wünschen sich 55 % der befragten Probanden. Hier ist für die Entwicklung der Systemarchitektur zu entnehmen, dass mit einer reinen Unterstützung der Treppenüberwindung fortgefahren werden kann, die zusätzliche Unterstützung des Gehens aber durchaus Potential für Weiterentwicklungen bietet.

4.1.2 Diskussion zur Akzeptanz

Da sich ein Viertel der befragten Senioren vorstellen könnte, ein BUS zu tragen, kann eine vollständige Ablehnung ausgeschlossen werden. Dennoch ist festzustellen, dass sich die jungen Menschen eher dagegen aussprechen. Dies könnte daran liegen, dass sie aktuell keinen Bedarf an der Verwendung eines BUS haben. Dies betrifft vermutlich auch die Mehrheit der befragten Senioren. Gestützt wird diese Vermutung durch die Aussagen, dass die Probanden ein derartiges System tragen würden „wenn es nötig wird“ oder „wenn der Fall eintritt“. Da nur einer von 25 Probanden vergleichbare technische Unterstützungssysteme im Alltag nutzt ist der Bedarf der befragten Personen im Allgemeinen als gering einzuschätzen. Daher sind die Ergebnisse im Hinblick auf die Aufgeschlossenheit gegenüber einem am Körper getragenen BUS zu interpretieren.

Bei der Analyse der generellen Einstellung gegenüber BUS ist ein durchaus positiver Trend erkennbar, was sich in den Adjektiven nützlich, gut und hilfreich widerspiegelt. Da die befragten Probanden BUS tendenziell eher mit effizient als unnötig beschreiben, kann dies als weitere Bestätigung für die Entwicklung derartiger Systeme interpretiert werden. Die Effizienz von BUS könnte darin begründet sein, dass sie direkt am menschlichen Körper arbeiten, der Bewegungsvorgang beibehalten wird

und somit eine spürbare Unterstützung erfolgt. Daher werden von den Senioren BUS auch eher mit aktivierend bezeichnet und nicht mit einschläfernd. Es kann keine klare Aussage darüber getroffen werden, ob BUS wünschenswert sind oder nicht. Ursache dafür ist die mehrdeutige Interpretation dieser Frage. Die Anwendung von BUS ist durchaus wünschenswert.

Der Aspekt, generell ein BUS anwenden zu müssen ist selbstverständlich nicht wünschenswert. Aufgrund dieser Mehrdeutigkeit ist dieses Teilergebnis nicht einwandfrei zu interpretieren, da die mehrdeutige Interpretationsweise erst im Verlauf der Untersuchung identifiziert werden konnte. Tendenziell wurden BUS als unangenehm bewertet. Dies könnte darin begründet sein, dass das Tragen von BUS unter Umständen die Bewegungsfreiheit einschränken könnte und unnatürliche Bewegungen bei dessen Nutzung erwartet werden.

4.2 Diskussion zur Methode

Die gewählte Methodik ermöglichte es, die bei der Treppenüberwindung auftretenden Probleme zu identifizieren und diese mit der möglichen Lösung mit BUS im Nutzer bewusst zu machen. Die Erhebung beider Perspektiven machte eine Konzentration und Validierung der Ergebnisse in zwei Richtungen möglich. Gleichzeitig kann eine Problemlösung im Kontext des potentiellen Nutzerszenarios bewertet werden. In Folge bedingen die Festlegungen zur Systemarchitektur bereits während der Entwicklung die zukünftige Akzeptanz des BUS. Insofern bestätigt die praktische Bedarfsanalyse die getroffene Technikentscheidung hinreichend.

Demgegenüber steht der Aufwand zur Konzeption, Durchführung und Auswertung der Studie. Insbesondere die Gestaltung des Experimentes und des Fragebogens sind hier prominente Herausforderungen gewesen. Es bleibt aufgrund der zur Verfügung stehenden Mittel offen, inwiefern diese als Erhebungsinstrumente der genannten Aspekte - Problemkontext und Technikakzeptanz – gelten dür-

fen. Ebenso problematisch war die unmittelbare Übersetzung in der Kommunikation vom problem-verorteten Nutzer zum technisch-lösungsorientierten Entwickler. Insbesondere die mangelnde Erfahrung der Probanden mit Exoskeletten macht eine Interpretation der Antworten hinsichtlich Systemarchitektur und Akzeptanz schwierig. Nach der Erhebung ist es als weiterer Schritt nötig, die subjektiven Bedarfe in ein allgemeines Bedarfsprofil zu übersetzen, das dann auch technisch umgesetzt werden kann. Somit ist eine erneute Befragung mit physischem BUS in der Anwendung in weiteren Entwicklungsphasen unabdingbar.

Dem Ideal, vor jeglicher Technikentscheidung Bedarfe zu erheben [Wei15], steht gegenüber, mögliche Lösungskonzepte und deren technische Umsetzung überhaupt erst zu antizipieren. Wir vermuten, dass eine nicht verbindliche Technikentscheidung als Ausgangspunkt im Gespräch wertvoller ist. Am konkreten Beispiel können dann Probleme leichter identifiziert und besprochen werden. Durch ein vorgegebenes System wird die Lösungsvielfalt bezüglich der Forderungen und Wünsche des individuellen Nutzers beschränkt. Das erlaubt eine klarere Bewertung der einzelnen

Aspekte, insbesondere in Bezug auf die Relevanz für den Nutzer. Die Relevanz der gewählten Aspekte wurde auch dadurch bestätigt, dass die wenigsten der gewählten Anforderungen als nicht wichtig erachtet wurden. Im iterativen Vorgehen kann so ein Technikkonzept entstehen, dass dem Bedarf besser entspricht. Gleichzeitig wird die erste Distanz zum technischen System begleitet abgebaut. Das sollte wiederum für die spätere Nutzerakzeptanz von Wert sein.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die praktische Bedarfsanalyse können bereits in einem frühen Entwicklungsstadium wertvolle und relevante Erkenntnisse erzielt werden. Durch den direkten Kontakt mit den potentiellen Nutzern lässt sich nicht nur der Bedarf spezifizieren, sondern auch die Akzeptanz der imaginierten technischen Lösung hinreichend überprüfen. Die mit der praktischen Bedarfsanalyse ermittelten Ergebnisse sind nur in Kombination mit den biomechanischen Ergebnissen sinnvoll. Von einer allein stehenden Interpretation ist aus Sicht der Autoren abzusehen.

Literatur

- [Has10] M. Hassenzahl: Experience Design. Technology for All the Right Reasons. In Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, 3; S. 1-95, 2010.
- [Nov11a] A. C. Novak und B. Brouwer. Sagittal and frontal lower limb joint moments during stair ascent and descent in young and older adults. In: Gait & Posture 33.1, S. 54-60. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.09.024, 2011.
- [Nov11b] A. C. Novak, Q. Li, S. Yang, and B. Brouwer: Mechanical energy transfers across lower limb segments during stair ascent and descent in young and healthy older adults. In: Gait & Posture, 34; S. 384-390, , 2011.
- [Pro07] A. Protopapadaki, W. I. Drechsler, M. C. Cramp, F. J. Coutts und O. M. Scott. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals«. In: Clinical biomechanics (Bristol, Avon) 22.2, S. 203-210. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2006.09.010, 2007
- [Ree09] N. D. Reeves, M. Spanjaard, A. A. Mohagheghi, V. Baltzopoulos und C. N. Maganaris. Older adults employ alternative strategies to operate within their maximum capabilities when ascending stairs. In: Journal of electromyography and kinesiology, 19.2, e57-68. doi: 10.1016/j.jelekin.2007.09.009, 2009.
- [Sar06] F. Sarodnick und H. Brau: Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. Huber, Bern, 2006.

- [Ven03] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, F. D. Davis: User Acceptance of Information Technology. Toward a Unified View. In MIS Quarterly, 27; S. 425, 2003.
- [Ver08] J. Verghese, C. Wang, X. Xue und R. Holtzer. Self-reported difficulty in climbing up or down stairs in nondisabled elderly. In: Archives of physical medicine and rehabilitation 89.1, S. 100-104. doi: 10.1016/j.apmr.2007.08.129, 2008.
- [Wei16] R. Weidner (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Zweite Transdisziplinäre Konferenz smartASSIST, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik, 2016.
- [Wei15] R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg: Technische Unterstützungssysteme. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [Yan08] C.-J. Yang, J.-F. Zhang, Y. Chen, Y.-M. Dong und Y. Zhang. A review of exoskeleton-type systems and their key technologies. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 222.8, S. 1599-1612. doi: 10.1243/09544062JMES936, 2008.

SmartSensX: Ein Konzept für vernetzte tragbare Sensoren zur Anwendung in der Softrobotik und Mensch Maschine Interaktion

**R. Hackbart¹, J. Kostelnik¹, J. Kuschan², H. Schmidt², J. Krüger²,
R. Viero³ und K.-D. Lang⁴**

¹ Würth Elektronik GmbH & Co. KG
{Roman.Hackbart; Jan.Kostelnik}@we-online.de

² Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
{Jan.Kuschan; Henning.Schmidt; Joerg.Krueger}@ipk.fraunhofer.de

³ Technische Universität Berlin
Viero@tu-berlin.de

⁴ Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)
Klaus-Dieter.Lang@izm.fraunhofer.de

Kurzzusammenfassung

Technische Unterstützungssysteme, wie softorthetische Assistenzroboter oder Exoskelette, bilden eine zusätzliche Ebene in der Interaktion zwischen Mensch und Umwelt. Die Kenntnis über den Zustand von physikalischen Größen in dieser Ebene ermöglicht den Einsatz von aktiven, geregelten Unterstützungsmechanismen. Im Kontext körpernaher Unterstützungssysteme und in der Soft-Robotik ist es daher erforderlich „Soft-Sensorik“-Systeme zu entwickeln, die neue Möglichkeiten in der Konstruktion und Anwendung eröffnen. SmartSensX ist die Umsetzung eines Sensornetzwerks bestehend aus einer Haupteinheit und mehreren körpernah getragenen Sensormodulen mit Inertialsensoren. Die Sensormodule haben den Charakter von eingebetteten Systemen, sie können während des Betriebs aus- oder zugesteckt werden (Plug and Play). Das Konzept ermöglicht durch ein gemeinsames Übertragungsprotokoll die Integration verschiedenartiger weiterer Sensoren. Die Bitübertragung findet leitungsgebunden auf elastischen, hautverträglichen Leiterplatten aus Polyurethan (TWINflex-Stretch) oder textilintegriert auf e-Textiles statt. Eine weitere Möglichkeit zur Datenübertragung zwischen Haupteinheit und Sensormodulen bietet die USB 3.1 Typ C Schnittstelle. Die Anordnung der Sensormodule erfolgt in einer Bus-Topologie. Eine symmetrische Signalübertragung wird zur Erhöhung der Robustheit gegenüber Störeinstrahlungen genutzt. Die Messwerte des Sensornetzwerks werden in Echtzeit erfasst, aufbereitet und weitergegeben.

Abstract

SmartSensX - A concept for networked portable sensors for use in softrobotics and human-machine interaction

Technical support systems, such as soft orthotic assistive robots or exoskeletons, provide an additional level of interaction between humans and the environment. Knowledge of physical parameters (e.g. speed, distance, etc.) in this level enables the use of active, controlled support mechanisms. Therefore, in the context of support systems close to the human body and in soft robotics, it is necessary to develop "soft sensor systems" that present new possibilities in design and application. SmartSensX is the implementation of a sensor network consisting of a main unit and several sensor modules with inertial sensors worn close to the body. The sensor modules have the character of embedded systems – they can be connected or disconnected during

operation (plug and play). The concept enables the integration of various other sensor types by using a common transmission protocol. Data transfer takes place by wire on elastic, skin-compatible printed circuit boards made of polyurethane (TWINflex-Stretch) or textile-integrated on e-textiles. Another possibility for data transfer between the main unit and sensor modules is the USB 3.1 Type C interface. The sensor modules are arranged in a bus topology. Differential signal transmission is used to increase the sensor modules' robustness against signal noise. The measured values of the sensor network are recorded, processed, and transmitted in real time.

Keywords

Wearable Electronics, Smart robotics, Soft robotics, Exoskeleton, TWINflex

1 Einleitung

Industrielle Fertigungsprozesse werden immer häufiger automatisiert. Dennoch gibt es viele Szenarien, in denen der Mensch durch seine kognitiven sowie haptischen Fähigkeiten, als auch den flexiblen Einsatz den Robotern überlegen ist. Bei vielen Tätigkeiten werden dabei Werkzeuge oder Objekte über Schulter- oder sogar Kopfniveau gehalten. Dies führt, laut Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) [Sch12], bereits bei kurzzeitigen Tätigkeiten zu einer Reduzierung der Ergonomiebewertung des Arbeitsplatzes, welche darauf hin angepasst werden sollten. Da dies teilweise nicht möglich ist, führen diese Tätigkeiten oftmals weiterhin zu Verletzungen und langfristig zu Schäden des muskuloskelettalen Systems. Besonders mit Hinblick auf den demographischen Wandel, der in vielen Industrieländern aktuell voranschreitet (z.B. Wachstum der Bevölkerung über 65 von 16% in 2002 auf 19,2% im Jahr 2016 [Eur17]), führt das zu einem Ungleichgewicht zwischen wachsenden Produktionszahlen und sinkenden Arbeiterzahlen. Als Konsequenz müssen Arbeiter länger arbeiten und Firmen müssen einen Weg finden unangenehme Arbeit angenehmer oder wenigstens physisch nicht so belastend zu gestalten.

Ein Ansatz, der sehr fiktiv anmutet, ist die Reduzierung der körperlichen Belastung durch Unterstützung der menschlichen Kraft mittels eines Anzugs oder einer anderen tragbaren Struktur, wie einem Exoskelett. Exoskelette werden heutzutage besonders im militärischen oder Rehabilitationsumfeld genutzt, um die Kraft oder Mobilität des Trägers zu erhöhen

[Gop09], [Mar11]. In anderen Bereichen werden Exoskelette evaluiert. Ein solches Exoskelett aus dem BMBF-Projekt 3. Arm ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Unterstützungssystem für Handwerker - 3. Arm (Würth Elektronik)

Auch wenn der Gebrauch von Exoskeletten in anderen Bereichen, wie der Automatisierung oder der Montage, langsam zunimmt, sind nahezu alle bekannten Systeme für einen durchgängigen Gebrauch zu ineffizient oder zu unpraktisch. Dabei führen besonders die steifen Kinematik-Konstruktionen zu einem hohen Justage- und Kalibrationsaufwand, der vor jedem Anlegen für jeden Anwender individuell durchgeführt werden muss (z.B. eine genaue Gelenkachsen-Anpassung). Aufgrund dieser Versteifung ist eine sehr sensitive und genaue Regelung notwendig, um einen angenehmen Tragekomfort zu erreichen. Darüber hinaus müssen alle Freiheitsgrade des Trägers abgebildet werden, um diesen in seinen Bewegungen nicht einzuschränken. All diese Voraussetzungen führen zu schweren, klobigen und energieineffizienten Systemen. Durch die zusätzliche Masse resultierend aus Motoren und

Energiespeichern, müssen meist Komplettsysteme getragen werden, die eine serielle Bypass Struktur bis zum Boden umsetzen.

Des Weiteren sind Exoskelette oft so konzipiert, dass sie die menschliche Kraft mindestens verdoppeln, was wiederum hohe Anforderungen an die extrinsische und intrinsische Sicherheit des Systems stellt. Das sind nur einige Probleme, die zu der Entwicklung eines softrobotischen kraftunterstützenden intelligenten Wearable-Systems führten.

Innerhalb des Projektes PowerGrasp, wurde eine intelligente Arm-Hand-Finger-Orthese mit weicher Kinematik entwickelt, die Arbeiter bei physisch belastenden Tätigkeiten unterstützt. Um eine möglichst hohe Akzeptanz bei den Endanwendern zu erhalten wurden in partizipativen Interviews nach [Lor18] folgende Punkte ermittelt, die berücksichtigt werden sollten:

- Keine Beschränkung oder Beeinträchtigung der menschlichen Bewegungen
- Adaptive Anpassungen an den Arbeitsablauf
- Adaptive Anpassung an die Fähigkeiten des Nutzers
- Keine Diskriminierung bezüglich Alter, Geschlecht, Konstitution oder ähnliches

Um dies umzusetzen, wurde ein neuartiges bionisches Konzept verfolgt, welches ein inhärentes und multiparametrisches Sensorsystem mit adaptiver Intelligenz und neuartigen nutzerfreundlichen Softaktuatoren verbindet.

2 Gesamtkonzept

Abbildung 2 zeigt eine Kombination des gesamten Konzepts, bestehend aus Aktoren, Recheneinheiten und pneumatischer Zufuhr in Kombination mit tragbaren textilen Strukturen. Das Hauptaugenmerk dieses Beitrags liegt auf der Sensorik und textilen Leitung.

Ein zentraler Teil des Konzeptes liegt in der Teilunterstützung des Menschen. Ein Workshop mit Ärzten und Physiotherapeuten ergab, dass das System maximal 20% der eigenen menschlichen Kraft und der spezifischen Gelenke unterstützen sollte, um keine Schädigungen am Bewegungsapparat hervorzurufen. Dabei ist zu beachten, dass das PowerGrasp

System keine geschlossene Kraftleitung vom Finger zum Rücken vornimmt, sondern die Kräfte direkt vor, beziehungsweise nach dem aktuierten Gelenk in den Körper einleitet. So kann zum einen Muskelatrophie verhindert werden, zum anderen ist es ein Schlüsselfeature für die Regelung, die den Menschen dadurch nicht Zwangsführen kann, sondern lediglich, abhängig vom individuellen Ermüdungsgrad des Nutzers, unterstützt.

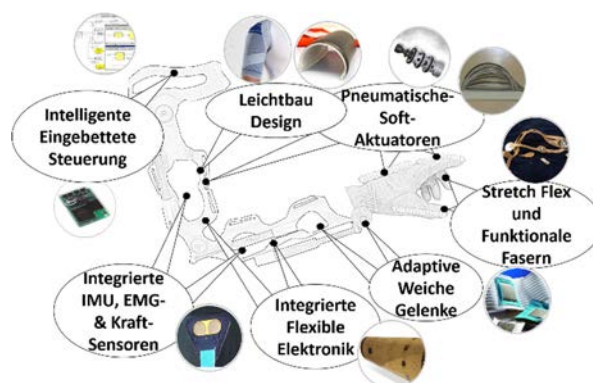


Abbildung 2: System Konzept PowerGrasp, vgl. [Kus18]

2.1 SmartSensX Sensorkonzept

Aktive Softorthesen, wie das PowerGrasp System verfügen über Aktoren, die für eine situationsabhängige Kraftunterstützung des Menschen genutzt werden. Um eine kontrollierte Wechselwirkung zwischen dem technischen Unterstützungssystem und dem Menschen zu ermöglichen, wird eine Regelung für die Aktoren benötigt. Voraussetzung für die Funktion einer Regelung ist die Kenntnis der zu regelnden Größen (oder anderer Hilfsgrößen). Das macht ein Sensorkonzept und bei elektrischen Sensoren ein dazugehöriges Elektronikkonzept notwendig. SmartSensX ist ein vernetztes Multisensorkonzept, das Sensormodule in einer Bus-Topologie verbindet und dadurch Messgrößen für eine Regelung bereitstellt. Abbildung 3 zeigt das Konzept schematisch.

Neben einer Übertragung von Messwerten ist eine Energieversorgung der Sensormodule auf dem Bus vorgesehen.

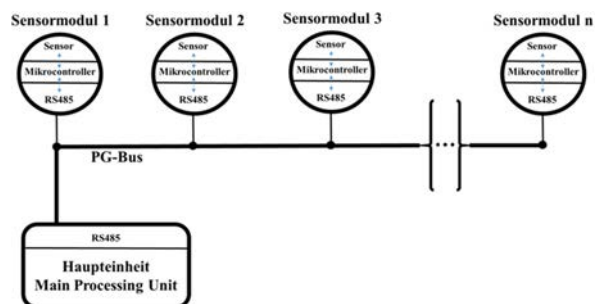


Abbildung 3: PowerGrasp Sensorkonzept Topologie

Die Vernetzung von mehreren Teilnehmern zur Kommunikation auf einem Bus erfordert eine einheitliche technische Spezifikation der Module. Die Anforderungen an die Sender und Empfänger im Netzwerk für die Kommunikation mittels SmartSensX orientieren sich an folgenden Punkten:

- Der Bus verfügt über ein symmetrisches Leiterpaar. Am Bus ist immer nur ein Teilnehmer als Sender aktiv.
- Eine Beeinflussung der Busleitung von nicht-aktiven Sendern muss ausgeschlossen werden.
- Operationen auf dem Bus folgen einem definierten Ablauf (SmartSensX Busprotokoll). Die Teilnehmer besitzen eine auf dem Bus einmalige Adresse und können individuell angesprochen werden.
- Das Lastverhalten (Fan-Out) der Bauelemente im System muss so ausgelegt werden, dass ein fehlerfreier Betrieb möglich ist. (Anzahl Busteilnehmer, Ausgangsimpedanz, Logiklevel,...)

Um die Spezifikationen einzuhalten und gleichzeitig eine maximale Flexibilität für mögliche Implementierungen zu gewährleisten, fiel die Wahl auf ein existierendes Übertragungsverfahren. Es handelt sich hierbei um eine RS-485 basierte Lösung. Die Transceiver sind in großer Stückzahl und preiswert verfügbar. Das ist entgegen einer proprietären Lösung ein deutlicher Vorteil. Das Verfahren nutzt eine Halbduplex Übertragung, damit die Zahl der Leiter auf vier begrenzt werden kann. Die Übertragung größerer Datenmengen über längere Strecken wird dadurch ermöglicht. Beispielhaft wurde beim Sensorkonzept ein

SN65HVD7x von Texas Instruments eingesetzt. Das Bauelement erlaubt eine maximale Anzahl von 213 Teilnehmern. Bei der Übertragungsgeschwindigkeit von 250000bps ergibt sich nach selbst nach konservativer Betrachtung für die Kommunikationsleitung eine maximale Länge von ca. 1Km. Die Anzahl an Teilnehmer, die Übertragungsgeschwindigkeit und die theoretische Länge des leitungsgebundenen, physikalischen Leiters sind ausreichend für die meisten Anwendungen am Menschen. Für den Betrieb des Buses gibt es eine inverse Beziehung zwischen Übertragungsgeschwindigkeit und Bus-Länge, wie in Abbildung 4. Die Datenrate sollte daher je nach Anwendungsfall beschränkt werden. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung von RS-485 für eine Vernetzung von Mikrocontrollern. Nahezu alle kommerziellen Mikrocontroller verfügen über Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART), was als digitale serielle Schnittstelle in Zusammenhang mit einem, an die eigenen Anforderungen angepassten, Übertragungsprotokoll genutzt werden kann.

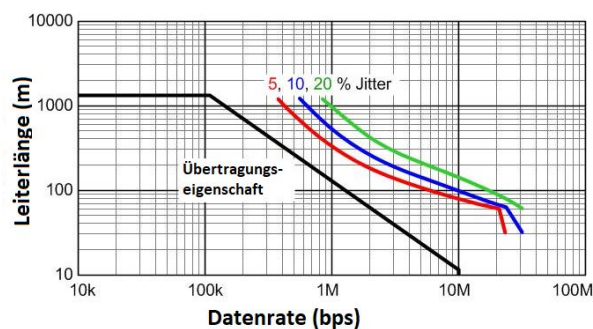


Abbildung 4: Zusammenhang Übertragungsgeschwindigkeit und Leitungslänge (Texas Instruments)

2.2 Neues Verbindungskonzept

Die Module geben ihre Daten an eine zentrale Steuerungseinheit weiter. Eine Datenübertragung könnte z.B. drahtlos erfolgen. Dabei fehlt aber die Energieversorgung der Sensormodule, was eine dezentrale und aufwendige Lösung erfordert. So wäre in jedem Sensorknoten eine eigene Energiequelle erforderlich, die geladen sein muss. Außerdem sind in vielen Umgebungen, z.B. dem menschlichen

Körper, drahtlose Verbindungen nicht dauerhaft zuverlässig. Die Bildung des Funkkanals ist hier fast ausschließlich stark indirekt. Es ist somit unmöglich, eine bestimmte Zuverlässigkeit der Verbindung zu garantieren. Es ist keine Sicherung des QoS (quality of service) vorhanden. Dies ist ein Ausscheidungskriterium im aktuellen Szenario. Auch die Latenz in der Datenübertragung ist bei den gebräuchlichen digitalen Verfahren, ganz besonders unter Einbeziehung des Protokoll-Stacks, nicht immer ausreichend. Für viele Anwendungen, wie auch diesem, ist ein leitungsgebundenes Bus-System zur Versorgung mit Energie und zur Übertragung von Daten nötig. Daher wird häufig auf eine Lösung mit konfektionierten Kabeln zurückgegriffen. Allerdings hat dieser Ansatz einen großen Nachteil. Viele Menschen empfinden Kabel am Körper als unangenehm. Im Konzept wurden daher Alternativen gesucht. Dabei wurden elastischen Leiterplatten (TWINflex-Stretch) und textile Leiterplatten (textiler Bus) eingesetzt. Abbildung 5 zeigt eine elastische Leiterplatte aus hautfreundlichem und biokompatiblen Polyurethan [Kos17].



Abbildung 5: Elastische Leiterplatte (TWINflex Stretch)

SmartSensX Module können entweder lösbar oder unlösbar verbunden werden. Typische unlösbare Verbindungen sind z.B. Lötverbindungen. Zu den lösbaren Verbindungen zählen Steckverbindungen. Hierfür kann beispielsweise USB3.1 Typ C, wie in Abbildung 6, eingesetzt werden.

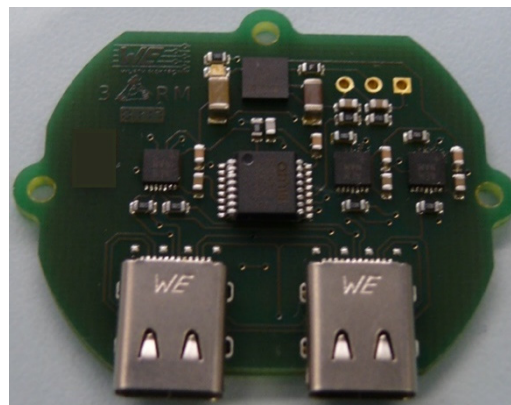


Abbildung 6: SmartSensX Hall-Winkelsensor mit USB3.1 Typ C (Projekt 3.Arm) [Wür17]

Gegenüber anderen elektromechanischen Steckverbindungen hat USB3.1 signifikante Vorteile:

- seine Kompaktheit. Abbildung 7 zeigt den Größenunterschied zwischen USB3.1 Typ C und RJ45 Steckverbindungen.
- USB3.1 Typ C verfügt über abgeschirmte differenzielle Leitungspaare, serielle Leitungen und zwei Leitungen für die Energieversorgung (bis 100Watt)
-

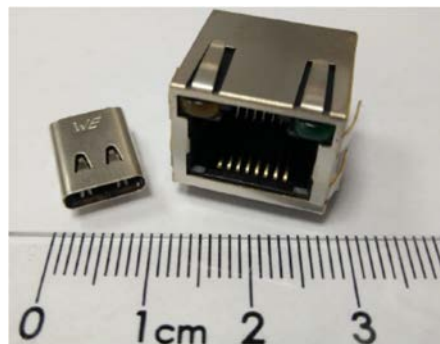


Abbildung 7: Größenvergleich USB3.1 Typ C, RJ45

2.3 Textilintegration

Textilintegrierte Elektroniksysteme (e-Textiles) zeichnen sich meist durch eine räumlich verteilte Systemarchitektur aus. So messen solche Systeme, wie beispielsweise auch im PowerGrasp-Szenario, Beschleunigungswerte an verschiedenen Positionen auf dem menschlichen Körper. Dafür werden an den Messstellen Sensormodule verbaut.

Für den möglichst universellen Einsatz in e-Textile Systemen müssen die Anforderungen

des Bussystems mit den praktischen Gegebenheiten von textilbasierten Leiterstrukturen vereinbar sein.

Hier ist der erste Punkt der Gleichspannungswiderstand der verwendeten Leiter. Dieser liegt üblicherweise bei 0,5-10 Ohm/m [Foe14]. Es gibt auch Leitermaterialien mit höheren Widerständen. Diese sind dann aber meist ungeeignet. Hierfür ist nicht die Datenübertragung verantwortlich, sondern die Erfordernisse der Energieübertragung. Eine einfache Berechnung des Spannungsabfalls von Anfang bis Ende des Bussystems liefert hier eine Aussage über die Eignung der verwendeten Materialien. In diesem Szenario wurde der maximale Stromfluss auf 500mA festgelegt. Das betrifft aber nur die Stromtragfähigkeit. Der erwartete durchschnittliche Verbrauch allerdings wird ca. 50mA nicht überschreiten. Die verwendeten Leiter haben einen Widerstand von 10 Ohm/m. Daraus ergibt sich ein Worst-Case Spannungsabfall von 100mV/m über Hin- und Rückleiter. Dieser Wert ist in Verbindung mit der Versorgungsspannung von 3,3V gut vereinbar für Längen bis ca. 3m. Diese Auslegung muss für jedes System individuell erfolgen. Unter Umständen müssen die Leitermaterialien angepasst werden.

Der zweite Punkt ist die Bandbreite der Datensignale. Generell handelt es sich hierbei um ein klassisches Highspeed Signalintegritätsproblem. Werden die Datensignale nicht im Zeit- sondern im Frequenzbereich betrachtet, so zeigt sich hier eine markante Konzentration von Energieanteilen bei hohen Frequenzen. Dafür sind vor allem die Signalfanken verantwortlich. Je steiler diese Flanken sind, desto höher sind die auftretenden Frequenzen. Wenn die Wellenlänge dieser Frequenzen auf der Leitung nicht deutlich länger als die Leitungslänge ist, so spricht man von einer elektrisch langen Leitung. Dann wandelt sich der Energietransportmechanismus auf der Leitung von der stark vereinfachten Gleichspannungs Betrachtung zur Wellenausbreitung. Wird z.B. am Anfang der Leitung schlagartig eine Spannung von 3,3V angelegt, so ist die Spannung am Ende der Leitung solange 0V, bis die Welle sich bis zum Leitungsende ausgebreitet

hat. Wenn dieses Leitungsende offen liegt, wird diese Welle vollständig reflektiert und würde an den Sender zurücklaufen bzw. sich mit entgegenkommenden Wellen überlagern. Der Leiter müsste als Wellenleiter ausgeführt werden [Rit03]. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wurde die Anstiegsrate der Signalfanken so begrenzt, dass keine Reflexionen auftreten. Damit sind auch beliebige Topologien möglich und es bedarf keiner Wellenleiter oder Terminierungen. Die maximale Leiterlänge kann aktuell bis zu 15m betragen. Durch die Begrenzung der Anstiegszeiten wird aber auch automatisch die Datenrate reduziert. Die Grenzen verlaufen hier nicht hart, sondern über einen breiten Graubereich. Für das verwendete System wurde eine Datenrate von 115200bps gewählt. Damit lassen sich die meisten Sensor- und Steuerungsanwendungen gut bedienen. Auch die Latenzen sind so für die meisten Echtzeitsysteme geeignet. Da ein e-Textile System viele lange ungeschirmte Datenleiter besitzt und in einer sehr störgefährdeten Umgebung betrieben wird, müssen diese Betrachtungen in die Datenübertragungsverfahren miteinfließen.

Für das Leitersystem wurde ein spezieller textilbasierter Leiter verwendet. Dieser ist in Abbildung 8 dargestellt.

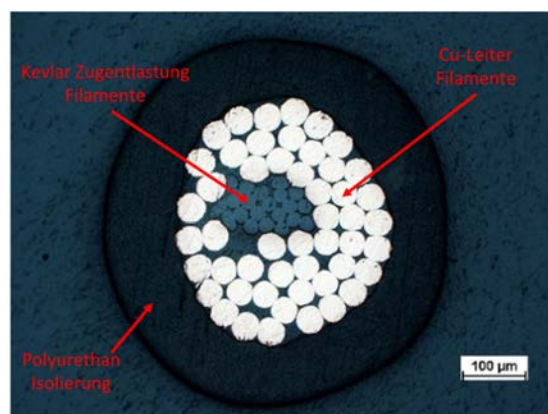


Abbildung 8: Querschnitt durch den textilbasierten Leiter mit Kevlar Kern

Der Kern des Leiters besteht aus einem Multifilament Kevlargarn zur Aufnahme von Zugkräften. Darum sind hochfeine Kupferfilamente gewickelt, deren Oberfläche versilbert

ist. Der gesamte Aufbau ist mit einer thermoplastischen Polyurethanschicht isoliert. Der Leiter ist hochstabil, dünn, mit ca. 10 Ohm/m gut leitfähig und mit verschiedensten Verfahren elektrisch kontaktierbar. So erlaubt er die Kontaktierung per Lötcolben für Prototypen, aber auch die thermische oder ultraschallbasierte Ankontaktierung in automatisierten Prozessen.

In diesem Szenario wurden die Leiter mit einer Industriestickmaschine in einem Soutage-Verfahren auf ein Trägertextil gelegt. So können die Leiterstrukturen den Schnittbildern des Systems angepasst werden. Abbildung 9 zeigt beispielhaft ein gelegtes textiles Bussystem.

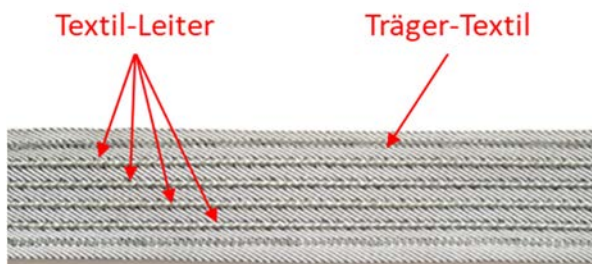


Abbildung 9: Gelegte textile Bus-Struktur

Für die Kontaktierung der Sensorknoten erlaubt die Konzeption des Bus-Systems die Verwendung von verschiedenen Verfahren. Im Hinblick auf eine industrielle Fertigung wurden die Einzelkomponenten so ausgelegt, dass alle oben erwähnten Verfahren zum Einsatz kommen können. Für die Herstellung der Prototypen ist ein manueller Lötprozess das Optimum. Abbildung 10 zeigt exemplarisch einen Sensorknoten zur Erfassung von Bewegungen im Raum mittels Inertialsensoren. Auf der Unterseite sind die vier Anschlusspads zu sehen, die aus Gründen der Redundanz zweimal vorhanden sind. Somit funktioniert der Sensorknoten auch noch, wenn eine Lötverbindung defekt ist.

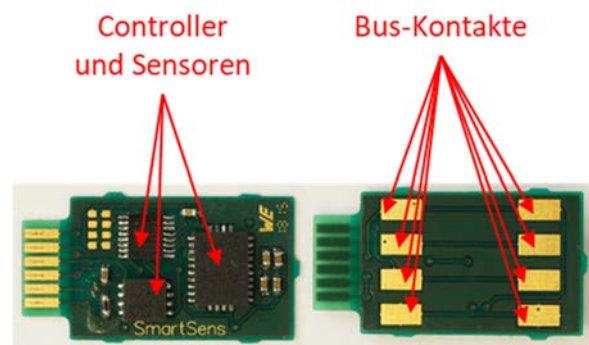


Abbildung 10: PowerBus Sensorknoten zur Erfassung von Bewegungen

Um die Sensorknoten mechanisch und elektrisch zu schützen, wurde eine Lösung entwickelt, die sowohl im industriellen als auch im Prototypenmaßstab funktioniert. Dafür wurden flexible Polyurethanhüllen mittels 3D-Druck hergestellt und mit einer geeigneten Polyurethan-Vergussmasse gefüllt. Anschließend wurden die Module in die Füllmasse gepresst. Dadurch erfüllt der gesamte Busaufbau die Schutzklasse IP66.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Softrobotische Anwendungen machen interdisziplinär organisierte Herangehensweisen für die gute Lösung von Problemstellungen nötig. Anhand des Projekts PowerGrasp wurde eine textilintegrierte und eine leiterplattenbasierte Elektroniklösung mit vernetzten SmartSensX Sensormodulen vorgestellt. Das System erfasst Messwerte, die in eine Regelung von pneumatischen Aktoren einfließen. Die Validierung des PowerGrasp Systems und des darin enthaltenen SmartSensX-Systems erfolgt in einer baldigen Nutzerstudie durch einen Arbeitsprozess, bei dem über dem Kopfniveau manuell Komponenten an der Unterseite eines Fahrzeugs montiert werden. Dabei ist das primäre Ergonomieproblem das Befestigen von 8 Schrauben mittels Akkuschraubers (ca. 3,5 kg), was ca. 20% der Arbeitszeit dieses Prozessschrittes ausmacht. Da dieser Anwendungsfall sowohl eine Überlastung der Schulter- und Rückenmuskulatur, wie auch der Finger, Handgelenk und Ellenbogen Stabilisation adressiert, eignet er sich besonders gut. Die Validierung wird an einer Produkti-

onslinie unter Beobachtung ergotherapeutischer Experten stattfinden, um die Gefahr einer möglichen Überlastung zu minimieren. Darüber hinaus werden weitere unterschiedliche nutzerzentrierte Studien durchgeführt. Eine Vergrößerung der SmartSensX-Plattform um weitere Sensoren sind nächste Schritte. Dafür müssen neue Wearable Electronics-Anwendungen identifiziert werden. Ebenfalls denkbar ist die Erweiterung der Plattform um Funktionen. Zukünftige Szenarien wie das

IoT, Industrie 4.0 oder Virtuelle Realitäten eröffnen vielfältige Anwendungsgebiete für echtzeitfähige, vernetzte Sensoren. E-Textile präsentieren sich dabei als eine komfortable Möglichkeit zur Integration am Menschen.

4 Danksagung

Die F&E Arbeiten für den vorliegenden Beitrag wurden im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojekts PowerGrasp durchgeführt.

Literatur

- [Eur17] Eurostat: Population: Structure indicators, 2017, <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> - Accessed on 30.10.2017
- [Foe14] P. Foerster, E. Simon, F. Hänsch, C. Kallmayer, M. Schneider-Ramelow und K-D. Lang: Textile Leiterplatte – Large-area, wirtschaftlich und umweltschonend. Elektronische Baugruppen und Leiterplatten, 2014.
- [Gop09] R. A. R. C. Gopura, K. Kiguchi und Y. Li: SUEFUL-7: A 7DOF upper-limb exoskeleton robot with muscle-model-oriented EMG-based control. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, MO, S. 1126-1131. doi: 10.1109/IROS.2009.5353935, 2009.
- [Kos17] J. Kostelnik: Flexible and Stretchable PCBs for Smart Electronics - The TWINflex Concept. Visions to Products - MID and beyond, Stuttgart, October 2017, DOI: 10.13140/RG.2.2.16785.48485, 2017.
- [Kus18] J. Kusch, J. Goppold, H. Schmidt und J. Krueger: PowerGrasp: Concept for a novel Soft-Robotic Arm Support System. ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, Munich, Germany, S. 1-6, 2018.
- [Lor18] K. Lorenz, R. Flechtner und G. Joost: Partizipative Methoden als Werkzeug zur Diskussion moralischer Aspekte im Designprozess. In: R. Dachsel und G. Weber (Hrsg.), Mensch und Computer 2018 - Workshopband. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2018.
- [Mar11] S. Marcheschi, F. Salsedo, M. Fontana und M. Bergamasco: Body Extender: Whole body exoskeleton for human power augmentation. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, S. 611-616. doi: 10.1109/ICRA.2011.5980132, 2011.
- [Rit03] L. W. Ritchey: Right the First Time – A Practical Handbook on High-speed PCB and System Design. ISBN-0-9741936-0-7, 2003.
- [Sch12] K. Schaub, G. Caragnano, B. Britzke und R. Bruder: The European Assembly Worksheet. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science, Vol. 14, S. 1-23, 2012.
- [Wür17] Würth Elektronik: „3.Arm - Handwerker-Kraftassistenzsystem mit adaptiver Mensch-Technik-Interaktion“, 16SV6174K, Teilvorhaben SIKa, Abschlussbericht, 2017.

Qualitätsbezogenes Target Costing als integriertes Steuerungsinstrument im Entwicklungsprozess von Exoskeletten

N. Gerhardt¹, R. Weidner^{2,3} und B. Zirkler⁴

¹ Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Institut für Controlling und Unternehmensrechnung (ICU)
Nadine.Gerhardt@hsu.hh.de

² Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Robert.Weidner@hsu-hh.de

³ Universität Innsbruck, Institut für Mechatronik, Professur für Fertigungstechnik
Robert.Weidner@uibk.ac.at

⁴ Westsächsische Hochschule Zwickau (WHZ), Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen/Controlling
Bernd.Zirkler@fh-zwickau.de

Kurzzusammenfassung

In der Entwicklung von Exoskeletten, wie beispielsweise eines Unterstützungssystems für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, namens Lucy, werden potentielle Kunden frühzeitig involviert, um Unterstützungssysteme herzustellen, die die Kunden wirklich wollen. Dabei liefern Kundeninformationen über die gewünschte Produktqualität wertvolle Informationen für die Produktentwicklung. Gleichzeitig können diese Informationen mit Hilfe des qualitätsbezogenen Target Costing (QTC) auch für die wirtschaftliche Steuerung der Entwicklung und Produktion des Exoskeletts genutzt werden. In diesem Beitrag wird das Konzept QTC vorgestellt und die Einbindung in den Entwicklungsprozess erläutert. QTC nutzt die Kundenwünsche hinsichtlich der Produktqualität zur kosteneffizienten Gestaltung des Entwicklungs- und Produktionsprozesses.

Abstract

Management of the development process of exoskeletons with quality-based target costing

Exoskeletons, such as the support system Lucy provide support to their users for several activities. Therefore, users are involved in the development process to design an exoskeleton that serves their needs. Data gathered from users about exoskeletons' quality can be also used for the management of its development process. By applying quality-based target costing (QTC), information on users' willingness to pay and quality requirements are used to identify, split, and manage cost budgets of exoskeletons. In this paper, we present the application of QTC by using the example of exoskeleton Lucy and show how this instrument is used in the development process.

Keywords

Exoskelett, Entwicklungsprozess, Qualitätsmerkmale, Kostensteuerung

1 Einleitung

Exoskelette lösen abhängig von ihrem Einsatz ein Qualitätsversprechen ein: zum Beispiel die Erhaltung von Lebensqualität in der medizinischen Pflege [Her16] oder in der Sicherung der Produktqualität in Produktionsprozessen [Tho15]. Für diese und weitere Einsatzzwecke werden Exoskelette in adäquater Qualität entwickelt. Produktqualität von Exoskeletten ist dabei nicht nur ein Abgrenzungsmerkmal zu Produkten von Wettbewerbern, sondern auch eine steuerungsrelevante Information im Produktlebenszyklus von Exoskeletten. Die Produktqualität hat Kosten-, Erlös-, und Erfolgswirkung und wird bereits in der Entwicklungsphase definiert. In den weiteren Phasen des Produktlebenszyklus kann sich Produktqualität durch neue Kundenwünsche, technische Innovationen und gesetzliche Vorgaben weiter verändern.

Das qualitätsbezogene Target Costing (im Folgenden QTC genannt) nutzt komplexe und dynamische Qualitätsinformationen für die Steuerung der wirtschaftlichen Entwicklung, Produktion und dem Vertrieb von Produkten, wie beispielsweise Exoskelette. Es nutzt die marktorientierte Logik des Target Costing, welches basierend auf dem Kundennutzen und der Kundenzahlungsbereitschaft für ein Produkt die Zielkosten für die Herstellung des Produkts definiert. Weiterhin ergänzt es diese Kalkulation um Anforderungen und Qualitätsmerkmale und ermöglicht damit die Involvierung der Kundenerwartungen in der Produktentwicklung, in die Kosten- und Leistungskalkulation und das Kostenmanagement des Exoskeletts. In der Implementierung von QTC sind vier Schritte zu absolvieren. Im Ergebnis liegen detaillierte und steuerungsrelevante Kosteninformationen der Produktkomponenten nach verschiedenen Qualitätsanforderungen vor.

Am Beispiel eines Unterstützungssystems wird die Implementierung des QTC schrittweise vorgestellt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Einbindung des QTC in die verschiedenen Phasen der Technikentwicklung mit frühzeitiger Kundeneinbindung.

2 Unterstützungssystem Lucy

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise beim QTC wird das Unterstützungssystem Lucy als Beispiel herangezogen, siehe Abbildung 1. QTC lässt sich auch auf andere Systeme übertragen.

Bei dem Unterstützungssystem Lucy handelt es sich um ein System zur Unterstützung von Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, um die muskuloskeletale Belastung im Schulterbereich zu reduzieren [Ott16]. Die Unterstützung erfolgt entgegen der Erdanziehungskraft.



Abbildung 1: Unterstützungssystem Lucy

3 Der Weg zum QTC

3.1 Konzeptionelle Grundlagen

QTC verbindet die Elemente der Kostenrechnung mit qualitäts- und kundenorientierten Managementmethoden. Kundenorientierung bedeutet hier, dass das Unternehmen Produkte und/oder Dienstleistungen in einer nachfrageorientierten Qualität anbietet. In anderen Worten, die Qualität des Produktes wird als maßgeblicher Faktor wirtschaftlichen Erfolgs gesehen. Basierend auf den Logiken der Kostenrechnung und des Qualitätsmanagements, ermöglicht QTC die Kosten- und Erfolgssteuerung eines Produktes bereits ab der Produktentwicklung.

QTC baut kostenrechnerisch auf der Methode des Target Costing auf. Das Ziel des Target Costing (oder auch Zielkostenmanagement) ist es, Produkte zu entwickeln, die von Kunden gewünschte Funktionen beinhalten und deren Preisvorstellungen entsprechen. Damit steht die Frage im Vordergrund: „Was darf ein Produkt kosten?“ Das Target Costing folgt dem

Konzept der Lebenszykluskostenrechnung, in dem es ein Produkt über alle Perioden hinweg betrachtet, während die klassische Kostenrechnung in einer Periode alle Produkte betrachtet [Wei06]. Der Ansatzpunkt des Target Costing liegt daher vor allem in den vorgelagerten Aktivitäten der Produkt- und Prozessgestaltung, so dass bereits in der Produktentwicklung Kundenwünsche und deren Zahlungsbereitschaft in der Kostenkalkulation berücksichtigt werden können.

Während das Target Costing allgemein und undifferenziert von Produktfunktionalität spricht, steht beim QTC Produktqualität in verschiedenen Anforderungsniveaus im Vordergrund. Die Produktqualität wird nach dem Kano-Modell differenziert in: *Basisanforderungen* der Produktqualität umfassen technische Standards und gesetzliche Vorgaben, *Leistungsanforderungen* umfassen die Kundenwünsche und *Begeisterungsanforderungen* bilden Innovation ab [Kan84]. Somit ist Qualität keine Leistung per se, sondern stellt ein Bündel von verschiedenen im Produkt inkorporierten Leistungsmerkmalen dar [Sas02]. QTC ermöglicht insbesondere für hochtechnisierte Produkte, dass Kundenwünsche und die technische Expertise des Forschungs- und Entwicklungsteam in der Produktentwicklung integriert werden können.

Qualitätsanforderungen eines Produktes können sich im Laufe der Zeit ändern: Gesetzesnovellierungen definieren zusätzliche Auflagen hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Produkten oder Kundenpräferenzen ändern sich. Zum Beispiel: in den 1960er Jahren war die Servolenkung eines PKWs eine Innovation (Begeisterungsanforderung), in den 1970er Jahren wurde es Teil der gehobenen Ausstattung (d.h. eine Leistungsanforderung) und heute sehen Kunden darin eine Basisanforderung. Damit ist Produktqualität eine sich kontinuierlich verändernde Größe, die Einfluss auf die Produkterlöse und -kosten hat. QTC kann nicht nur die Kosten und Erlöse von

Qualität dokumentieren, sondern auch Veränderungen der Produktqualität sowie deren Wahrnehmung verschiedener Kundengruppen im Zeitablauf kostenrechnerisch berücksichtigen und erfolgswirksam steuern.

3.2 Prozess des QTC

QTC folgt dem dreistufigen Prozess des Target Costing und ergänzt in den einzelnen Schritten den Fokus auf Produktqualität und die verschiedenen Qualitätsanforderungen. Im Folgenden wird der Prozess des Target Costing skizziert und anschließend die Schritte des QTC ausführlich erläutert.

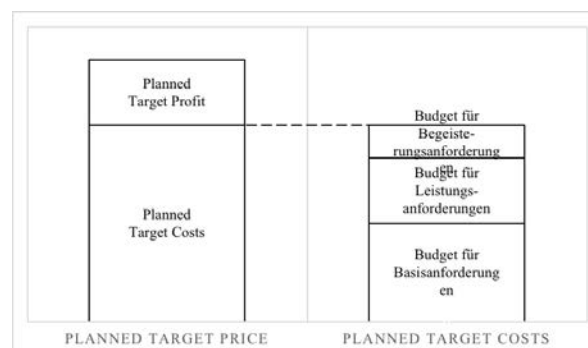


Abbildung 2: Bestimmung der Zielkosten für ein Produkt (Target Costs)

In der ersten Phase des Target Costing, der Zielkostenfindung, werden die zukünftigen Gesamtkosten des Produktes festgelegt. Mit Hilfe von Marktpreisen und Absatzmengen werden für das Produkt Verkaufspreise (siehe Abbildung 1: Target Price) und Gewinnerwartungen (siehe Abbildung 1: Target Profit) für das Produkt festgelegt. Der sich ergebende Restbetrag umfasst die vom Kunden erlaubte Kosten, die als Vorgabe für die Zielkosten¹. (siehe Abbildung 1) dienen.

Das QTC differenziert die Zielkosten in Zielkostenbudgets für die drei Anforderungsniveaus: Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen. Um die Budgets für jede Qualitätsanforderung bestimmen zu können sind die folgenden Schritte zu absolvieren (siehe auch Abbildung 5):

¹In der Reinform des Target Costing werden die Zielkosten den erlaubten Kosten gleichgesetzt. In der Praxis kann dies aufgrund bestehender Kostenstrukturen im Unternehmen nur dann erreicht werden, wenn die angestrebte Rationalisierungsintensität vollständig realisiert wird.

- (1) Definition von Qualitätsmerkmalen
- (2) Bestimmung der Anforderungen der Qualitätsmerkmale

- (3) Bestimmung des Zielkostenbudgets zur Realisierung der Qualitätsmerkmale.

In der zweiten Phase des Target Costing, der Zielkostenspaltung, werden die Zielkosten auf die Komponenten des Produktes verteilt. Dieser Schritt hat eine hohe Bedeutung, da die Zielkosten die Ressourceninanspruchnahme realistisch abbilden sollen und mit der Ressourcenzuweisung die Kundenwünsche im Produkt realisiert werden sollen [Coe16]. Das QTC differenziert im Schritt (4) die Zielkosten für jede Produktkomponente in die drei Qualitätsanforderungen:

- (4) Bestimmung der Zielkosten der Produktkomponenten

In der dritten Phase des Target Costing, der Zielkostenerreichung, werden die Vorgaben und Planungen der vorangegangenen Phase umgesetzt. Für die Umsetzung werden geeignete Steuerungs- und Kommunikationsinstrumente benötigt, um die gesetzten Ziele (z. B. Erreichung des Target Profits) zu erreichen. Der Betriebsqualitätsbogen (BQB) vereint die Informationen der vorangegangenen Schritte für das Produkt und bereitet diese übersichtlich auf. Damit kann der BQB als Steuerungs- und Kommunikationsinstrument genutzt werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden die vier Schritte des QTC erläutert und am Beispiel eines Exoskeletts, ähnlich dem Modell Lucy, illustriert. Zur Bestimmung der qualitätsbezogenen Zielkosten der Komponenten des Exoskeletts sind Abstimmungen zwischen den einzelnen Schritten ggf. notwendig, so dass die Schritte mehrfach durchlaufen werden können.

Die vier Schritte des QTC finden in der Regel in den frühen Phasen der Produktentwicklung statt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen partizipativen Ansatz in der Technikentwicklung in vier Phasen; in den weiß markierten Phasen werden Kunden eingebunden, in den grau markierten Phasen nicht. In der Bedarfsanalyse und Technikentscheidung werden bei-

spielhafte Qualitätsmerkmale und Qualitätsniveaus von Exoskeletten bestimmt. Anschließend in der Entwicklungsphase ermittelt das QTC die Zielkosten des Exoskeletts auf Komponentenebenen. Der Einsatz des QTC in diesen Phasen unterstützt den Entwicklungsprozess durch die systematische Einbeziehung des Kunden bei der Definition der Produktqualität und begleitet die Entwicklungsphase des Produktes, in der rund 80-90% der späteren Herstellkosten determiniert werden [Coe94]. Somit kann das QTC als Instrument genutzt werden, um Kundenwünsche und Kosten-Nutzen-Aspekte in der Entwicklung des Exoskeletts zu steuern.

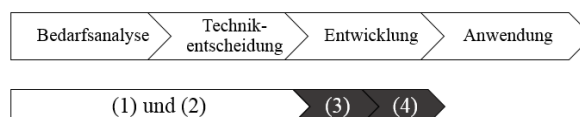


Abbildung 3: Phasen in der Technikentwicklung nach dem partizipativen Ansatz (oben) und Schritte im Aufbau eines qualitätsbezogenen Target Costing (unten)

3.2.1 Definition von Qualitätsmerkmalen

Qualitätsmerkmale sind Qualitätsdimensionen eines Produktes und operationalisieren kunden-, gesellschafts- und herstellerspezifische Produktanforderungen und bieten damit Ansatzpunkte für die Qualitätsplanung und -steuerung. In der Bestimmung von relevanten Qualitätsmerkmalen ist ihre kundenbezogene Subjektivität und Dynamik zu berücksichtigen: Für ein Exoskelett sind andere Qualitätsmerkmale relevant als beispielsweise für einen Fernseher. Zudem können sich die Qualitätsmerkmale im Lebenszyklus eines Exoskeletts verändern.

Im Folgenden werden Qualitätsmerkmale zur Operationalisierung der Produktqualität vorgestellt und am Beispiel eines Exoskeletts ähnlich dem Modell Lucy illustriert (siehe Abbildung 4). Die folgende Systematik der Qualitätsmerkmale basiert auf [Sas02]:

- **Funktionalität** beschreibt die Eignung des Produkts zur Erfüllung bestimmter Aufgaben.

- **Stil/Design** drückt aus inwieweit das Produkt vom Verwender hinsichtlich Aussehen, Individualität, Prestige, Image usw. den angestrebten Nutzen erfüllt.
- **Ausstattung** bezieht sich auf produktergänzende Zusatz- und Komplementärfunktionen. Die Unterscheidung in Grundfunktion (→ siehe Funktionalität) und Zusatzfunktion kann in der Praxis jedoch schwer fallen.
- **Sicherheit** beschreibt inwieweit das Produkt die Anforderungen zur Vermeidung von Schäden erfüllt.
- **Zuverlässigkeit** drückt aus, wie oft innerhalb einer Zeitspanne Abweichungen in der Produktnutzung auftreten.
- **Lebensdauer** beinhaltet technische und ökonomische Aspekte: Die technische Nutzungsdauer kann durch Häufigkeit der Produktnutzung bis zur physischen Zerstörung gemessen werden. Aber auch technische Alterung und veränderte Verwenderbedürfnisse beeinträchtigen die Lebensdauer. Ökonomische Aspekte der Lebensdauer betreffen die Ersetzbarkeit durch wirtschaftlichere Alternativen.
- **Integrationsfähigkeit** stellt auf die Verbindung von Produkt und Anwendungskontext ab. Das Produkt muss also vom Nutzer im gegebenen System nutzbar sein.
- **Normgerechtigkeit** drückt aus inwieweit das Produkt Ziel- und Toleranzwerte nach dem aktuellen Stand der Technik einhält.
- **Umweltfreundlichkeit** bezieht sich auf die Umweltverträglichkeit des Produktes in der Herstellung, Nutzung und Entsorgung.
- **Servicefreundlichkeit** beschreibt die Möglichkeiten Reparaturen und Instandhaltungsmaßnahmen in einer bestimmten Anzahl und Frequenz durchzuführen, aber auch Beratung und Erreichbarkeit von Ansprechpartnern kann hierunter fallen.
- **Zeitliche Verfügbarkeit** umfasst drei Aspekte: Lieferzeiten des Produktes, Termintreue in der Leistungsbereitstellung sowie bedarfsgerechten zukünftigen Bezug von Produktkomponenten, wie etwa Ersatzteile.

Die Zuordnung der relevanten Qualitätsmerkmale eines Produktes kann im Forschungs- und Entwicklungsteam erfolgen und mit den Kunden besprochen oder direkt gemeinsam mit den Kunden erstellt werden. Das Ergebnis der Zuordnung und Abstimmung relevanter Qualitätsmerkmale für ein Exoskelett ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Erfassung der Qualitätsmerkmale kann als Teil der Dokumentation in den Phasen der Bedarfsanalyse und Technikentscheidung erfolgen (vgl. Abbildung 3). Dadurch kann die Kundenakzeptanz frühzeitig gezielt erhoben und Diskussionen zu den Kundenwünschen angestoßen werden.

3.2.2 Bestimmung der Anforderungen der Qualitätsmerkmale

Im nächsten Schritt sind die Anforderungen der Qualitätsmerkmale zu bestimmen und zu bewerten. Die Produkthanforderungen orientieren sich an den Kundenwünschen, wobei die *Basisanforderungen* die Grund- oder Mindestanforderungen an das Produkt darstellen, *Leistungsanforderungen* und *Begeisterungsanforderungen* zur Differenzierung des Produktes von Konkurrenzprodukten genutzt werden [Kan84].

Basisanforderungen des Produktes werden vom Kunden vorausgesetzt. Dies beinhaltet unter anderem die Erfüllung von gesetzlichen und quasi-gesetzlichen Vorgaben. Werden die Basisanforderungen nicht erfüllt, führt dies zur Kundenunzufriedenheit oder bei Nichterfüllung von rechtlichen Vorgaben zu Strafen oder Produktverboten. Die Erfüllung oder Übererfüllung der Basisanforderungen erzeugt beim Kunden keine ausreichende Kundenzufriedenheit. Da die Basisanforderungen vorausgesetzt werden, können aus deren (Über-)Erfüllung keine positiven Erlöswirkungen folgen. Daher sind die Basisanforderungen kostenminimal aber verlässlich zu realisieren.

Wie kann nun festgestellt werden, was Basisanforderungen eines Produktes sind? Die Befragung von Kunden gestaltet sich hier schwierig, da vorausgesetzte Anforderungen

Funktionalität ✓ gezielte Unterstützung von belasteten Körperregionen bei Tätigkeiten in und über Kopfhöhe ✓ Kompensation der Gewichtskraft eines gehaltenen Werkstücks, -zeugs oder der Extremität (Abnahme der Überlast und nicht der natürlichen Belastung) ✓ Adaption des Unterstützungsgrades in Abhängigkeit der Aktivität	
Ausstattung / Funktionsumfang ✓ Polsterung an Kontaktstellen ✓ schmutzabweisende Materialien ✓ individuelle Anpassung des Unterstützungsgrades	
Stil / Design ✓ Formgebung ✓ Stoffmuster ✓ Farbschema folgt Funktionalität	Sicherheit ✓ Funktion für Sofortabschaltung ✓ Mechanismus zur Schnellentkleidung ✓ Brandschutz
Zuverlässigkeit ✓ automatische Systemprüfung des Exoskeletts nach Benutzung	Lebensdauer ✓ Erweiterbarkeit ✓ Aufrüst- bzw. Nachrüstbarkeit ✓ handelsübliche Lebensdauer
Integrierbarkeit ✓ Kompatibilität mit Informationssystemen und -trägern ✓ Anpassung an verschiedene Körpergrößen ✓ Integration in den Arbeitskontext	Normgerechtigkeit ✓ CE-Kennzeichnung / GS-geprüft ✓ Abmessungen
Umweltfreundlichkeit ✓ Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien ✓ Demontagefreundlichkeit ✓ umweltfreundliche Produktionsprozesse	Servicefreundlichkeit ✓ Wartungsarmut ✓ Fehlerdiagnosesystem bzw. Möglichkeit zur Diagnose von Fehlern ✓ Austauschbarkeit von Bauteilen ✓ Montagefreundlichkeit ✓ Reinigungsfreundlichkeit

Abbildung 4: Auswahl bedeutsamer Qualitätsmerkmale eines Exoskeletts ähnlich dem Modell Lucy

kaum vom Kunden artikuliert werden. So erwartet beispielsweise jeder Käufer, dass ein Auto nicht nur beschleunigen, sondern auch entsprechend bremsen kann. Daher sind die Basisanforderungen im Forschungs- und Entwicklungsteam (F&E-Team) zu definieren.

Leistungsanforderungen bestimmen hingegen maßgeblich die Kaufentscheidung der Kunden. Hier wird unterstellt werden, dass je höher der Erfüllungsgrad der Anforderungen, umso zufriedener der Kunde ist. Die Leistungsanforderungen dienen außerdem zur Abgrenzung des Produktes von Konkurrenzprodukten.

Die Festlegung der Leistungsanforderungen kann mit Hilfe der Conjoint Analyse oder des Benchmarking durchgeführt werden. Die

Conjoint Analyse hat das Ziel die Bedeutung verschiedener Produkteigenschaften für den Kundennutzen zu ermitteln [Bai09]. So werden dem Kunden in der Phase der Bedarfsanalyse verschiedene Varianten des Produktes vorgelegt, um einzelne Funktionen des Produktes positiv oder negativ zu bewerten. Die Bewertung erfolgt strukturiert, beispielsweise durch Bildung einer Rangfolge oder durch Vergabe von maximal 100 Punkten für ein Qualitätsmerkmal. Aus dieser Rangfolge kann dann der Nutzen der jeweiligen Funktion bestimmt werden. Durch Benchmarking werden die Funktionen des Produktes mit denen von Konkurrenzprodukten verglichen und daraus ein auf die Konkurrenz bezogenes Nutzenprofil erstellt.

Begeisterungsanforderungen bezeichnen die Produktmerkmale, die der Kunde weder voraussetzt (Basisanforderung) oder ausdrücklich verlangt (Leistungsanforderung), sondern bei der Nutzung besonders positiv wahrnimmt. Anforderungen, die den Kunden überraschen oder begeistern und die Kundenzufriedenheit maßgeblich erhöhen, können zur gezielten Abgrenzung von Konkurrenzprodukten genutzt werden.

Die Ermittlung der Begeisterungsanforderungen ist während der Entwicklungs- und Konstruktionsphase jedoch schwierig, da die Kunden keine konkrete Auskunft darüber geben können. Daher können die Instrumente Conjoint Analyse und Benchmarking hier nicht genutzt werden. Stattdessen kann das F&E-Team mit Unterstützung des Marketings Trend- und morphologische Analysen oder Expertenbefragungen nutzen. Trendanalysen als Teil des Innovationsmanagements untersuchen Trends im Unternehmensumfeld, wie demografischer Wandel, Globalisierung und übersetzen diese in produktbezogene Trends, wie Industrie 4.0, neue Mobilitätskonzepte, Veränderungen des Arbeitsplatzes. Daraus werden Impulse für die Produktentwicklung gewonnen. Morphologische Analysen sind eine Kreativitätstechnik, wobei in einer Gruppe Probleme analysiert und Fragestellungen verallgemeinert werden. Dadurch erweitert man das Problemfeld, um originelle Lösungen zu generieren [Göt10].

Nachdem die drei Qualitätsanforderungen für das Produkt bestimmt wurden, sind diese auf die Produktkomponentenebene herunter zu brechen. Hier erfolgt nun die Bewertung der Relevanz einzelner Produktkomponenten zur Realisierung der Qualitätsmerkmale. Mit dieser Bewertung wird sichergestellt, dass das Produkt in allen Komponenten die technischen und rechtlichen Vorgaben erfüllt, die Kundenwünsche berücksichtigt und zukünftiges Marktpotential einplant [Göt10]. Die Bewertung für alle Qualitätsmerkmale und Anforderungen (siehe Tabelle 1) ist die Voraussetzung zur anschließenden Bestimmung der Zielkosten der Produktkomponenten, siehe Kapitel 3.2.3.

Ein Beispiel zur Illustration: Um die Funktionalität des Exoskeletts (siehe Abbildung 4) als Basisanforderung zu realisieren, bewertet das F&E-Team die Wichtigkeit einzelner Produktkomponenten. In dieser qualitativen Einschätzung beschäftigt sich das F&E-Team unter anderem mit folgenden Fragen: Wie wichtig ist der Brustgurt, damit das Exoskelett seine Funktionalität nach Stand der Technik und gesetzlichen Vorgaben erfüllen kann? Ist die Aktuatorik wichtiger? Mit diesen Überlegungen geht auch die Ressourcenverteilung einher: Für wichtige Komponenten kann mehr Budget in der Konstruktion und Produktion verwendet werden als für weniger wichtige Komponenten. In Tabelle 1 erhielt die Aktuatorik und Steuerung mit 30 Punkten die höchste Punktzahl, der Brustgurt hingegen 15 Punkte.

3.2.3 Bestimmung des Zielkostenbudgets zur Realisierung der Qualitätsmerkmale

In den vorangegangenen Schritten standen Diskussionen über Kundenwünsche und technische Gestaltung des Produktes im Vordergrund. Dieser und der folgende Schritt finden ohne Kundenbeteiligung statt und werden vom F&E-Teamleiter mit Unterstützung des Controllings durchgeführt. Die Kostenkalkulation beginnt mit der Ermittlung des Zielkostenbudgets. Das Zielkostenbudget entspricht den Planned Target Costs (siehe Abbildung 2) und wird nun aufgeteilt in Budgets zur Realisierung der Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen.

Budget zur Realisierung der Basisanforderungen. Ausgehend von den qualitätsbezogenen Basisanforderungen eines Produktes erfolgt die Planung der Zielkosten für deren Realisierung. Diese sind kostenminimal zu erfüllen, da die Übererfüllung der Basisanforderungen vom Kunden nicht nur durch Mehrerlöse honoriert wird.

Zur Bestimmung der Kosten können folgende Instrumente eingesetzt werden: Benchmarking, Reverse Engineering, Kostenanalogien von Vorgängerprodukten, Produktvarianten o-

Tabelle 1: Exemplarische Bewertung der Anforderungen der Qualitätsmerkmale auf Produktkomponentenebene am Beispiel eines Exoskeletts ähnlich dem Modell Lucy (vereinfachte Darstellung und Ausschnitt)

	Schnittstelle zum Arm	Aktuatorik und Steuerung	Brustgurt	Beckengurt	Rückenteil/ Grundstruktur	Anschlüsse	Summe
Funktionalität							
- Basis	15	30	15	15	5	20	100
- Leistung	30	20	10	10	20	10	100
- Begeisterung	20	40	0	10	30	0	100
Sicherheit							
- Basis	20	20	15	5	20	20	100
- Leistung	20	20	10	20	20	10	100
- Begeisterung	20	10	20	20	20	10	100
Ausstattung							
- Basis	20	30	10	10	10	20	100
- Leistung	15	30	5	20	20	10	100
- Begeisterung	20	30	5	25	20	0	100
Gesamt	180	170	55	220	155	120	900
Σ Funktionalität	60	80	10	80	30	40	300
Σ Sicherheit	60	10	35	65	80	50	300
Σ Ausstattung	60	80	10	75	45	30	300
Σ Basisanforderungen	40	70	25	65	50	50	300
Σ Leistungsanforderungen	80	30	10	100	70	10	300
Σ Begeisterungsanforderungen	60	70	20	55	35	60	300

der Kombinationen dessen. Für das Benchmarking werden die Kosten für die Produktion der Basisanforderungen mit den Kosten von ähnlichen, am Markt verfügbaren Produkten verglichen. Das Reverse Engineering bezeichnet den Vorgang bei dem aus einem fertigen Produkt der Plan nachkonstruiert wird. Diese Methode eignet sich für die Weiterentwicklung von Produkten, für die keine detaillierten Konstruktionspläne vorliegen. Mithilfe der nachkonstruierten Pläne können für die Einzelteile die Kosten ermittelt werden. Die Nutzung von Vorgängerprodukten und Produktvarianten folgt einer ähnlichen Logik. Hier

werden die Pläne und Stücklisten für die Kalkulation der Herstellkosten der Basisanforderungen genutzt. Die Kostenkalkulation basiert auf einer klaren Effizienzforderung, im dem Sinne, dass die Basisanforderung mit möglichst geringem Kostenaufwand herzustellen ist [Göt10].

Budget zur Realisierung der Begeisterungsanforderungen. Die Kalkulation der Kosten für die Begeisterungsanforderungen kann nur auf Schätzungen und Prognosen der potentiellen Kundennutzenerhöhung aufbauen. Daher wird ein Prozentsatz der Planned Target Costs

(siehe Abbildung 2) als Budget zur Realisierung der Begeisterungsanforderungen bestimmt. Dieses Budget fließt in die Entwicklung des Produktes bzw. einzelner Produktkomponenten ein, um den Kundennutzen durch Innovationen gezielt zu erhöhen. Das Innovationsmanagement kann zudem aus Trendanalysen und Expertenbefragungen Informationen für die Weiterentwicklung des Produktes bzw. dessen Komponenten liefern [Sch08].

Budget zur Realisierung der Leistungsanforderungen. Aus Abbildung 2 ist ersichtlich, dass das Budget zur Realisierung der Leistungsanforderungen die Differenz der Planned Target Costs und den Budgets zur Realisierung der Basis- und Begeisterungsanforderungen ist.

Wurde in der Kundenbefragung die Zahlungsbereitschaft für Qualitätsmerkmale detailliert erhoben, können diese Informationen für die Ausgestaltung des Budgets genutzt werden. Qualitätsmerkmale, für die der Kunde bereit ist mehr zu zahlen, erhalten entsprechend mehr Budget als weniger relevante Merkmale. Abschließend erfolgt eine Prüfung der Budgetschlüsselung mit Hilfe des Cost Benchmarkings. Im Cost Benchmarking werden Kosten für alternative Möglichkeiten der Realisierung der Qualitätsmerkmale erhoben. Damit wird sichergestellt, dass die Erfüllung der Kundenwünsche am Beispiel von besonders bedeutsamen Qualitätsmerkmalen nicht mehr Kosten verursacht als notwendig ist [SH08].

3.2.4 Bestimmung der Zielkosten der Produktkomponenten

Im letzten Schritt des QTC werden die Zielkostenbudgets der Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen auf die Produktkomponenten verteilt. Dazu werden die Bewertungen der Anforderungen der Qualitätsmerkmale auf Produktkomponentenebene (siehe Kapitel 3.2.2 und Tabelle 1) mit den Budgets der Anforderungen (siehe Kapitel 3.2.3) kombiniert. Dazu folgendes Beispiel: In Tabelle ist ersichtlich, dass die Aktuatorik insgesamt 70 von 300 Punkten innerhalb der

Basisanforderungen erhalten hat, hingegen erhielt der Brustgurt nur 25 von 300 Punkten. Dieser Schlüssel kann nun genutzt werden, um das Zielkostenbudget für die Basisanforderungen auf die Produktkomponenten zu verteilen. Damit erhält die Komponente Aktuatorik den größten Anteil des Budgets der Basisanforderungen in Höhe von rund 23 % (70/300 Punkten). Außerdem stehen für die Aktuatorik noch 10 % (30/300 Punkten) des Budgets der Leistungsanforderungen und rund 23 % (70/300 Punkten) aus dem Budget für Begeisterungsanforderungen.

Im Ergebnis liegen detaillierte Plankosten für jede Produktkomponente, differenziert nach Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen vor, die für verschiedene wirtschaftliche und technische Entscheidungen genutzt werden können. Als unterstützendes Instrument kommt hier der Betriebsqualitätsbogen (BQB) zum Einsatz. Darin werden die qualitätsbezogenen Kosten- und Nutzenwirkungen für jede Produktkomponente erfasst. Ergänzt man im BQB das Wertschöpfungsnetzwerk (d. h. die Zulieferer und die Abteilungen im Unternehmen), so lässt sich abbilden wo qualitätsbezogenen Kosten in welcher Höhe anfallen. Somit ist der BQB das Steuerungsinstrument für die weitere Produktplanung, make-or-buy Entscheidungen, Qualitätskontrollen, Kostenträgerzeit- und Kostenträgerstückkalkulationen auf Plan- und Istkostenbasis, sowie für Produktlebenszyklusentscheidungen. Tabelle 2 (ohne Werte) zeigt einen Ausschnitt eines BQB auf Produktebene. In diesem BQB können Produktkosten auf Plan- und Istkostenbasis kalkuliert werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Exoskelette, wie beispielsweise das Unterstützungssystem Lucy, sollen dem Nutzer Unterstützung geben, um Bewegungen so durchführen zu können, dass die Lebensqualität erhalten bleibt oder die Produktqualität in der Herstellung sichergestellt wird. Um diesen Zweck zu erfüllen, werden ebenso Qualitätsanforderungen an das Exoskelett gestellt. Mit dem vorgestellten QTC können Produktqualität

Tabelle 2: BQB auf Produktebene

	Produktebene (Leistungsebene)						
		Schnittstelle zum Arm	Aktuatorik und Steuerung	Brustgurt	Beckengurt	Rückenteil/ Grundstruktur	Anschlüsse
Qualitätsmerkmalsbezogene Zielkosten des Exoskelett	Σ						
Basisanforderungen	€						
Leistungsanforderungen	€						
Begeisterungsanforderungen	€						
Σ Zielkosten Funktionalität	€						
Basisanforderungen	€						
Leistungsanforderungen	€						
Begeisterungsanforderungen	€						
Σ Zielkosten Sicherheit	€						
Basisanforderungen	€						
Leistungsanforderungen	€						
Begeisterungsanforderungen	€						
Σ Zielkosten Ausstattung	€						
Σ qualitätsbezogene Zielkosten Exoskelett	€	€	€	€	€	€	€
Σ Zielkosten Basisanforderungen	€	€	€	€	€	€	€
Σ Zielkosten Leistungsanforderungen	€	€	€	€	€	€	€
Σ Zielkosten Begeisterungsanforderungen	€	€	€	€	€	€	€

und -kosten bereits in der Entwicklungsphase parallel erfasst und gesteuert werden. Für die Anwendung des QTC sind vier Schritte zu absolvieren (siehe Abbildung 5), die im Ergebnis detaillierte Qualitäts- und Kosteninformationen für jede Komponente des Exoskeletts liefern. Damit ist bereits in der frühen Phase des

Produktlebenszyklus Transparenz hinsichtlich Produkteigenschaften, Kundenwünschen und Kosten geschaffen. Das Konzept des QTC ermöglicht die Steuerung von Qualität und Kosten über alle Phasen des Produktlebenszyklus, durch Instrumente wie den BQB und die Lebenszykluskostenrechnung.



Abbildung 5: Prozess des qualitätsbezogenen Target Costing

Literatur

- [Bai09] D. Baier und M. Brusch: Conjoint-Analyse. Methoden – Anwendungen – Praxisbeispiele. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer, 2009.
- [Coe16] A. G. Coenenberg, T. M. Fischer und T. Günther: Kostenrechnung und Kostenanalyse, Stuttgart: Schäffer Poeschel, S. 655-660, 2016.
- [Coe94] A. G. Coenenberg, T. M. Fischer und J. Schmitz: Target Costing und Product Life Cycle Costing als Instrumente des Kostenmanagement. In: Zeitschrift für Planung, Vol. 5(1), S. 1-38, 1994.
- [Göt10] U. Götze: Kostenrechnung und Kostenmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 295-297 & S. 323-337, 2010.
- [Her16] J. Hergesell und A. Maibaum: Assistive Sicherheitstechniken in der geriatrischen Pflege – Konfligierende Logiken bei partizipativer Technikentwicklung. In: R. Weidner (Hrsg.): Zweite Transdisziplinäre Konferenz – Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, S. 59-68, 2016.
- [Kan84] N. Kano: Attractive Quality and Must-be Quality. In: The Journal of the Japanese Society for Quality Control, S. 39-48, 1984.
- [Ott16] B. Otten, R. Weidner und C. Linnenberg: Leichtgewichtige und inhärent biomechanisch kompatible Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. In: R. Weidner (Hrsg.): Zweite Transdisziplinäre Konferenz – Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, S. 495-505, 2016.
- [Sas02] A. Sasse: Ganzheitliches Qualitätskostenmanagement. Ein Konzept zur wirtschaftlichen Planung, Steuerung und Umsetzung. Wiesbaden: Gabler, krp-Edition, 2002.
- [Sch08] C. Schulte-Henke: Kundenorientiertes Target Costing und Zuliefererintegration für komplexe Produkte. Wiesbaden: Gabler | GWV Fachverlage GmbH, S. 91f, 2008.
- [Tho15] C. Thomas, M. Klöckner und B. Kuhlenkötter: Mensch-Roboter-Kollaboration – Von der industriellen Produktion bis zum Anwendungsgebiet Rehabilitation. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 253-261, 2015.
- [Wei06] M. Weiß: Wertorientiertes Kostenmanagement. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, S. 172 f, 2006.

Der beflügelte Mensch: Gesteigerte Konzentration durch Unterstützungssysteme in der Produktion

F. Schroeter¹, R. Weidner^{1,2}, P. Dehmel³, J. P. Wulfsberg¹ und T. Jacobsen³

¹ Stoltenstraße 13, 22119 Hamburg

¹ Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik

felix_schroeter@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

² Universität Innsbruck, Institut für Mechatronik, Institut für Fertigungstechnik,
Robert.Weidner@uibk.ac.at

³ Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie, jacobson@hsu-hh.de

Autor note: Dieser Artikel basiert auf der Bachelorarbeit des Erstautors [Sch18]. Eine Erstveröffentlichung der Daten erfolgte in wt Werkstattstechnik online Jahrgang 108 (2018) [Wei18]. Sie sind in zusammengefasster Form im Abstractband des 51. DGP's Kongresses 2018 erschienen.

Kurzzusammenfassung

Die experimentale Durchführung legte den Fokus auf die Veränderung der Konzentrationsleistung unter der Anwendung des Unterstützungssystems LUCY. Neben der Konzentrationsleistung wurden zur Messung der Zielobjektewert (BZO-Wert), sowie der Fehlerprozentwert zur Auswertung berücksichtigt. In allen drei Kriterien konnte eine signifikante Verbesserung unter der Anwendung des Unterstützungssystems LUCY nachgewiesen werden. Die signifikante Verbesserung des Fehlerprozentwerts unter Anwendung des Unterstützungssystems LUCY belief sich im Experiment auf insgesamt sechs Prozentränge und stellt unter allen gemessenen Werten die größte Verbesserung dar. Auch konnte eine signifikante Reduktion der gemessenen Fehler in der Arbeitsaufgabe des Experiments von durchschnittlich 2,8 registrierten Fehlern nachgewiesen werden. Dies entspricht anteilig 5,6 % weniger Fehler in der Arbeitsaufgabe, wenn das Unterstützungssystem LUCY getragen wurde.

Abstract

The winged person: Increased concentration through support systems in production

Automatization and hybridization are the keywords of the 21st century manufacturing industry. The reduction of physical and cognitive burdens as well as the improvement of quality constitute the main challenges for modern producing companies. The so-called exoskeletons open up the opportunity to fulfill the diametrical requirements of high-quality manufactured products and harmless labor. In our experiment we were able to demonstrate a significant improvement of our subject's concentration-performance after they fulfilled an exemplary task of riveting whilst wearing an exoskeleton compared to their performance without the exoskeleton. With our results we were able to show that a psychological point of view concerning exoskeletons can provide valuable contributions to both, user and developer of upcoming support systems.

Keywords

Exoskelette, Hybridisierung, Konzentrationsleistung, kognitive Belastung, Stress am Arbeitsplatz

1 Einleitung

Die Gestaltung von ergonomischen Arbeitsplätzen nimmt einen zentralen Stellenwert ein, um das Risiko für Erkrankungen der Belegschaft, zum Beispiel Muskel- und Skeletterkrankungen, zu verringern. Von besonderem Interesse sind hierbei Tätigkeiten mit schweren Werkzeugen oder Komponenten sowie Tätigkeiten in ergonomisch verbesserungswürdigen Positionen.

Ein besonders häufig adressiertes Problem stellen Tätigkeiten in und über Kopfhöhe dar, da insbesondere aus diesen Tätigkeiten Erkrankungen des Bewegungsapparates resultieren können [Ott16]. Auch Landau beschreibt die negativen Auswirkungen von Arbeiten in für den Menschen unphysiologischen Arbeitsbedingungen mit den darauf zurück zu führenden Beeinträchtigungen und Erkrankungen des Bewegungsapparates [Lan99]. Schädigende Arbeitsbedingungen stehen jedoch im Widerspruch zu Vorgaben der Gesundheitsvorsorge, die gemäß des „Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin aus dem Jahre 2012 gestellt werden [Bun12]. Das Ziel der individuellen Arbeitsplatzgestaltung sollte nach diesem Ratgeber die Schaffung eines optimalen Verhältnisses zwischen Arbeitsbelastung und individueller Belastbarkeit der Arbeitskraft sein [Bun12]. Das Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin weist zusätzlich in der Publikation zur Gefährdungsbeurteilung nochmals, von staatlicher Seite, auf die schädlichen Folgen von Arbeiten in unphysiologischen Körperhaltungen hin. So heißt es im Teil 2 (Gefährdungsfaktoren) des Handbuches für Arbeitsschutzfachleute, dass die gesamte Bandbreite von Gefährdungsfaktoren abgedeckt werden sollte, um Risikofaktoren zu minimieren. Dies beinhaltet mechanische, elektrische und thermische Gefährdungen, sowie Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen. Dabei werden Gefährdungen durch

die Arbeitsumgebung an sich genauso behandelt wie psychische Belastungen, psychische Faktoren im Allgemeinen und Gewalt am Arbeitsplatz. Dies unterstreicht die zwingende Notwendigkeit die Arbeitskraft nicht isoliert, sondern vielmehr als Teil eines ganzheitlichen Systems zu betrachten. Nur so können alle potentiellen Risiken und Unwägbarkeiten im Arbeitsprozess erkannt und beseitigt werden, wenn alle Lebensbereiche eines Individuums gleichberechtigt betrachtet werden. Die Arten der Gefährdungen werden im Folgenden weiter konkretisiert. Besonderes Augenmerk wird auf Tätigkeiten des Hebens und Haltens gerichtet, da diese Arbeiten oftmals in erzwungenen Körperhaltungen ausgeführt werden müssen. Unter diesen Punkt fallen laut dem Handbuch für Arbeitsschutzfachleute (2012) auch Tätigkeiten der Arme über Schulterniveau, da gerade diese Aktivitäten meist mit erhöhter Kraftanstrengung an schwer zugänglichen Arbeitsstellen verbunden sind [Bun12]. Zusätzlich richten wir unser Augenmerk auf sich ständig wiederholende Tätigkeiten mit hoher Handlungsfrequenz, da es unter diesen Bedingungen zu einer einseitigen Belastung der Arbeitskraft kommen kann. Der Ratgeber für Arbeitsschutzfachleute des Bundesamtes für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin kommt zu dem Schluss, dass lang andauernde und, oder häufig erzwungene Körperhaltungen und, oder der Einsatz häufig verwendeter Muskelgruppen Gesundheitsschäden verursachen können. Beispielhaft möchten wir das „Repetitive Strain Injury“, kurz RSI, als Erkrankung anführen. Das RSI ist kein medizinisch klar definierter Begriff, sondern eine Sammelbezeichnung für verschiedenartige Schmerzen in Muskeln, Sehnen und Nerven [Van07]. Unter diesem Sammelbegriff sind akute Ermüdungserscheinungen und langfristig chronische Beschwerden von Gelenken, Muskeln, Sehnen und peripheren Nerven zu zählen [Ado16], die besonders bei Arbeiten in Zwangshaltungen, zu denen Arbeiten über

Schulterniveau gehören, auftreten können. Zur Vermeidung eben dieser, durch den Arbeitskontext entstehenden negativer und zum Teil chronisch werdender Schädigungen, schlägt das Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2012) die Verwendung geeigneter Hilfsmittel in Form von Halte- und Fügevorrichtungen vor [Bun12].

Nach Härter et. al (2007) und auch Adolph et. al (2016) führen die genannten Belastungen, wie zum Beispiel einseitige Muskelbeanspruchungen und Arbeiten in Zwangshaltungen, zur Ausprägung mitunter gravierender psychischer und physischer Erkrankungen [Här07, Ado16].

Nach Brandenburger und Nieder (2009) belaufen sich die Kosten für Fehlzeiten (=Ausfall an Bruttowertschöpfung) allein in Deutschland auf ca. 65 Milliarden Euro pro Jahr. Davon fallen 12% der Krankheitskosten auf psychische Erkrankungen im jungen und mittleren Erwachsenenalter [Bra09]. Eine weitere Brisanz erhält die Thematik durch Maaz, demnach psychische Erkrankungen ursächlich für 30% der Frühberentungsdiagnosen sind [Maa07].



Abbildung 1: Gesundheitsreport der Techniker Krankenkasse 2015

Letztendlich wurde die Entwicklung von Unterstützungssystemen aufgrund dieser Erkenntnisse und Entwicklungen nicht nur von staatlicher Seite vorangetrieben. Entwickelt wurden beispielsweise Assistenzsysteme [Luc14] und Exoskelette [Zos06] für verschiedenste Anwendungsszenarien, um die Arbeitsbelastung zu reduzieren.

Seit Juli 2014 ist das Laboratorium für Fertigungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg mit der Entwicklung eines Exoskelett mit dem Namen LUCY beschäftigt, welches speziell für Arbeiten in und über Kopfhöhe konzipiert wurde. LUCY unterstützt, mithilfe von Pneumatikaktuatoren, den Anwender bei manuellen Tätigkeiten über Schulterniveau [Ott16]. Hierbei wird ein Teil auftretender Lasten vom System aufgenommen und über die Hüfte des Anwenders abgeleitet. Zusätzlich zu der Aufnahme von Lasten ist es dem System möglich eine Verstärkung der menschlichen Tragkraft zu bewirken. Dies stellt eine Kraftverstärkung für den Anwender dar. Diese Kraftverstärkung soll die schädliche Überlast beseitigen, jedoch nur so stark sein, dass der Anwender seine eigene Muskulatur benutzen muss und diese somit auch unter dem Einsatz des Exoskelettes LUCY erhalten bleibt.

Für Kraftverstärkungen über Schulterhöhe sind vornehmlich Exoskelette geeignet [Wei16]. Studien belegen bereits, dass das Exoskelett LUCY eine physische Entlastung bei Arbeiten über Schulterniveau für den Träger darstellt. Es konnte zudem nachgewiesen werden, dass die, durch die Arbeitsaufgabe bedingte Überlast, effizient abgeleitet wird. Eine gelenk- und muskelschädigende Wirkung durch eine Dauerbelastung im Schulter- und Nackenbereich kann so signifikant reduziert werden [Ber16]. Dazu wurde das Exoskelett LUCY einer biomechanischen Analyse im Anwendungsszenario „Flugzeugmontage“ mit 24 männlichen Probanden unterzogen [Ber16]. Die Auswertung der EMG-Daten zeigt eine Reduzierung der Aktivitäten der Schultermuskulatur als auch Schulter-Nacken-Muskulatur bei der Überkopfarbeit durch das Tragen der Armstütze im Bereich von 6-7%.

Eine Untersuchung der kognitiven Effekte stand bislang jedoch noch aus. Im Experiment wurden die psychischen Folgen einer Anwendung des Exoskelettes LUCY untersucht, um somit die Interaktion von mechanischer und psychischer Entlastung holistisch beurtei-

len und Schlussfolgerungen für die Weiterentwicklung herleiten zu können.

1.1 Konzentrationstheorie

Die erste Auflage des für die Untersuchung zugrunde liegenden d2-R-Konzentrationstestes erschien im Jahre 1962 und erfuhr in den zurückliegenden Jahrzehnten mehrere Anpassungen. Das Manual des d2-R Konzentrationstestes führt selbstkritisch aus, dass es nicht nur ein passendes theoretische Modell gäbe, sondern mehrere [Bri10]. Der d2-R-Konzentrationstest entstand in Anlehnung an die Testtradition der Bourdon-Tests. Aufgabe bei dem Bourdon-Test war es, bestimmte Buchstaben zu erkennen und diese dann mittels Durchstreichen zu eliminieren [Bou55]. Festzuhalten bleibt an dieser Stelle, dass das wesentliche Merkmal des d2-R-Konzentrationstestes, nicht das Durchstreichen, sondern vielmehr das Suchen von Zeichen oder Objekten unter ähnlichen Zeichen bzw. Objekten ist [Bri10]. In der Konzeption ging es den Entwicklern des d2-R-Konzentrationstestes darum, einen „Allgemeinen Leistungstest“ zu entwickeln. Das bedeutet konkret, dass nach Bartenwerfer allgemeine oder auch grundlegende Voraussetzungen für die Erfassung, der zu messenden Fähigkeit notwendig sein sollten und keine spezifischen, wie zum Beispiel Intelligenz [Bar83]. Erste Testverfahren wurden im selben Atemzuge wie die ersten Intelligenztests entwickelt. Die Aufgaben der ersten Intelligenztests waren, wie auch die der Konzentrationstests durch intellektuell wenig anspruchsvolle Aufgaben gekennzeichnet. Jedoch mussten auch bei diesen Tests in einer vorgeschriebenen Zeit Aufgaben mit hohem Tempo bearbeitet werden [Pet06]. Der größte Vorteil von diesen wenig intellektuell anspruchsvollen Aufgaben liegt darin, dass sie keine auf Übung basierenden Fähigkeiten, wie etwa das Rechnen verlangen [Bri10]. Die Versuchsperson muss lediglich in der Lage sein einfache visuelle Reize zu erkennen. Dies ist mit den zu diskriminierenden Buchstaben d und p, sowie den Strichen, im d2-R-Konzentrationstest gewährleistet. Nach Brickenkamp

und Kollegen sollten „Allgemeine Leistungstests“ keine Intelligenz erfassen, jedoch mit ihnen korrelieren, da diese Vorläuferfähigkeiten abbilden [Bri10].

1.2 Gesundheitsförderung durch Technik

Das beeinträchtigungsfreie und schädigungslose Arbeiten stellt eine grundlegende Forderung an die Arbeitsaufgabe dar [Fel12]. Ein zugrunde liegendes Konzept der Unterstützung bei Arbeiten in und über Kopfhöhe ist der „Human Hybrid Robot (HHR)“ Ansatz. Dieser Ansatz legt den Grundstein für eine sowohl passive, als auch aktive Unterstützung manueller Tätigkeiten durch modular einsetzbare Unterstützungssysteme, die sich parallel und seriell zum Nutzer anordnen lassen.

Ziel des HHR-Ansatzes ist eine Unterstützung der positiven Eigenschaften des Menschen, zum Beispiel sensomotorische Koordination durch die positiven Eigenschaften technischer Systeme, zum Beispiel hohe Wiederholungsgenauigkeit, zu kombinieren. Eine ideale Passung zwischen Technik und Anwender stellt hierbei eine zentrale Forderung des HHR-Ansatzes dar [Wei13]. Durch die Hybridisierung zwischen Mensch und Maschine ist es möglich, die biologischen Gegebenheiten bzw. Beschränkungen des Menschen mithilfe von technischen Komponenten zu überwinden und somit dem Anwender ein beanspruchungsoptimales Arbeiten zu ermöglichen. Dabei wird den individuellen Besonderheiten eines jeden Anwenders dadurch Rechnung getragen, dass die modular einsetzbare Systemarchitektur eine personen- und aufgabenangepasste Konfiguration ermöglicht [Wei13].

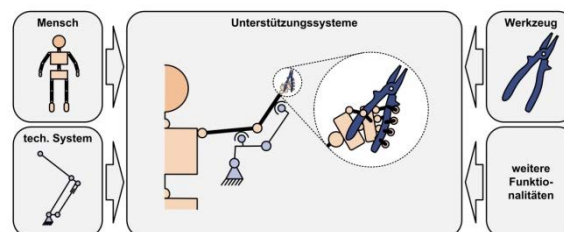


Abbildung 2: schematische Darstellung
HHR-Ansatz

Betont wird im HHR-Ansatz jedoch ausdrücklich die Handlungshoheit des Menschen, selbst wenn dieser im Arbeitsprozess durch ein technisches System unterstützt wird. Die Bedenken, dass Menschen durch den Einsatz von mehr und mehr Technik ihre Entscheidungshoheit oder gar ihre Verantwortung für ihr Handeln an eine Maschine oder Maschinenkomponente abgeben, sind unbegründet. Auch wenn es mit der Mechanophobie (Mechanophobie) bereits nach ICD-10 (F40.2, spezifische Phobie) anerkannte Diagnosekriterien für die übersteigerte Angst vor Maschinen gibt, sind diese Phobien eher die Ausnahme als die Regel [Dil91]. Bei dieser Angststörung meidet der Betroffene die Nähe von Maschinen soweit ihm dieses überhaupt möglich ist. Oftmals ist der alleinige Gedanke daran, eine Maschine zu bedienen Auslöser für eine Panik.

Schuldt vom Zukunftsinstitut Deutschland mit Sitz in Frankfurt/Main prophezeit sogar ein bis dato nie gesehenes Miteinander von menschlicher und technologischer Intelligenz [Sch16]. Er geht soweit, technische Komponenten und Unterstützungssysteme als „neue Familienmitglieder“ zu bezeichnen. Diese „neuen Familienmitglieder“ können dann in Form von stimmgesteuerten Personal Assistants, als automatisierte Übersetzer oder als selbstfahrende Autos an unserer Seite stehen. Schuldt formuliert einen Erklärungsansatz für die Bedenken oder auch Ängste vor Maschinen. Nach ihm neige der Mensch zur Vermenschlichung von Technik, auf die dann Ängste projiziert werden. In der Vergangenheit führte dies, bis auf Einzelfälle (siehe Mechanophobie), zu keinen gravierenden Schwierigkeiten [Sch16]. Dennoch bewirkt nach Schuldt jeder technologische Fortschritt eine Vielzahl von Verschiebungen. Hier sieht er die Unternehmen in der Verantwortung die notwendig werdenden Anpassungen in die Wege zu leiten, und dafür Sorge zu tragen, dass durch eine ganzheitliche Unternehmenskultur ein nachhaltiges und schädigungsloses Arbeiten für jede Arbeitskraft ermöglicht wird [Sch16]. Aus diesem Kontext wird deutlich, wie mehrdimensional die Auswirkungen von

Technik auf die Gesunderhaltung der Arbeitskraft und das Leben in seiner Gesamtheit sein können.

An dieser Stelle soll nochmals hervorgehoben werden, dass man sich der Thematik umfassend, ganzheitlich und vor allem unter der Überschrift der Interdisziplinarität nähern sollte.

1.3 Stichprobe und Versuchsaufbau

An dem Experiment nahmen insgesamt 32 Versuchspersonen freiwillig teil. Das Alter betrug im Mittel 22,53 Jahre bei einer Standardabweichung von 2,44 Jahren (Range: 19-30). Alle Versuchspersonen berichteten eine normale oder korrigiert normale Sehfähigkeit zu besitzen. Keine der Versuchspersonen litt unter neurologischen Auffälligkeiten. Alle Versuchsteilnehmer waren Studierende der Helmut Schmidt Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.

Der Versuch wurde im Laboratorium für Fertigungstechnik (LaFT) besagter Universität durchgeführt.

Die Experimentaldurchführung teilte sich in zwei Arbeitsaufgaben, den d2-R-Konzentrationstest und einen simulierten Niet-Setz-Vorgang auf.

Der d2-R-Konzentrationstest wurde exakt nach den Vorgaben des Handbuches durchgeführt. Der Niet-Setz-Vorgang replizierte die Arbeitsaufgabe von Berger et al. 2016. Ziel der Versuchspersonen war es, so schnell und so präzise wie möglich, mit einem modifizierten Akkuschrauber die Taste „D“ auf der, die Bordwand simulierenden und über Kopf angebrachten Tastatur in jeder Bedingung (unterstützt/nicht unterstützt) 50 mal zu treffen. Um die Ergebnisse gesichert auf Effekte des Exoskelettes Lucy zurückführen zu können, wurden die Versuchspersonen in zwei Gruppen (gerade/ungerade Versuchspersonennummer) unterteilt. Die Gruppe mit einer ungeraden Versuchspersonennummer absolvierte den ersten Durchgang der Arbeitsaufgabe mit dem Unterstützungssystem Lucy und wechselte im zweiten Durchgang auf die nicht unterstützte Bedingung. Die zweite Gruppe mit

einer geraden Versuchspersonennummer begann hingegen mit der nicht unterstützten Durchführung der Arbeitsaufgabe und wechselte anschließend auf die unterstützte Durchführung. Zwischen dem Absolvieren der d2-R-Konzentrationstests und der Arbeitsaufgabe in der jeweiligen Bedingung wurde eine Pause von zehn Minuten eingelegt.

1.4 Analysen

Die Analyse der d2-R-Baselinemessung ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede für die Konzentrationsleistung (KL) $t(30) = -0.48$, $p = .63$, die bearbeiteten Zielobjekte (BZO) $t(30) = -0.23$, $p = 0.82$, sowie für die Fehlerhäufigkeit (F%) $t(30) = -0.32$, $p = 0.75$, vor dem eigentlichen Experiment. Aufgrund des Experimentalaufbaus ergab sich ein gemischtes within-between Design für die Berechnung dreier ANOVAs. Alle ANOVAs beinhalteten den within-Faktor Bedingung (unterstützt/nicht unterstützt) und die between-Faktoren Reihenfolge (Wechsel von unterstützt zu nicht unterstützt/ vice versa) und Geschlecht (männlich/weiblich). Als unabhängige Variable wurde für die erste ANOVA die Fehlerhäufigkeit im d2-R-Konzentrationstest herangezogen. Die durchschnittlichen Fehlerhäufigkeitswerte sind in Tabelle 1 aufgelistet. Grundsätzlich stellen hohe Werte im Faktor Fehlerhäufigkeit bessere Ergebnisse dar als kleinere Werte. Für die Fehlerhäufigkeit ergaben sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Bedingung ($F(1,28) = 15.77$, $p < .01$) mit weniger Fehlern in der unterstützten Bedingung.

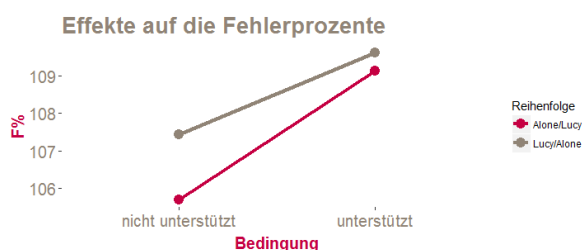


Abbildung 3: Fehlerprozentwerte im d2-R-Konzentrationstest

Für die zweite ANOVA wurden die Bearbeiteten Zielobjekte im d2-R-Konzentrationstest herangezogen. Die durchschnittlichen Werte

der bearbeiteten Zielobjekte sind in Tabelle 1 aufgelistet. Für die Bearbeiteten Zielobjekte ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Bedingung ($F(1,28) = 15.42$, $p < .01$). Hierbei erzielten die Versuchspersonen in der nicht unterstützten Bedingung durchschnittlich 117.5 Punkte, hingegen in der unterstützten Bedingung 120.7 Punkte. Zusätzlich wurde die Interaktion von Reihenfolge und Bedingung signifikant ($F(1,28) = 06.28$, $p < .01$). Hierbei zeigten sich für beide Subdatensätze keine signifikanten Reihenfolgeeffekte (nicht unterstützt $t(30) = -1.32$, $p = .20$, unterstützt $t(30) = -0.22$, $p = .82$).



Abbildung 4: Zielobjekte im d2-R-Konzentrationstest

Als unabhängige Variable wurde für die dritte ANOVA die Konzentrationsleistung im d2-R-Konzentrationstest herangezogen. Die durchschnittlichen Konzentrationsleistungswerte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Für die Konzentrationsleistung ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Bedingung ($F(1,28) = 36.16$, $p < .01$). Hierbei erzielten Versuchspersonen in der nicht unterstützten Bedingung durchschnittlich 116,1 Punkte, hingegen in der unterstützten Bedingung 119,5 Punkte.

Zusätzlich wurde die Interaktion von Reihenfolge und Bedingung signifikant ($F(1,28) = 17.64$, $p < .01$). Hierbei zeigten sich in beiden Bedingungen keine signifikanten Reihenfolgeeffekte (nicht unterstützt $t(30) = -1.17$, $p = .25$, unterstützt $t(30) = 0.22$, $p = .83$).



Abbildung 5: Konzentrationsleistung im d2-R-Konzentrations-test

Tabelle 1 : Auswertung d2-R-Konzentrations-test

	Signifikanzniveau	Verbesserung durch LUCY
Konzentrationsleistung (KL)	$P < .01$	4 Prozentränge besser
Bearbeitete Zielobjekte (BZO)	$p < .01$	3 Prozentränge besser
Sorgfalt (F%)	$P < .01$	6 Prozentränge besser
Fehler in der Arbeitsaufgabe	$P < .01$	2,8 Fehler weniger

1.5 Ergebnisse

Die nicht signifikanten Ergebnisse der drei Baselinewerte zeigten, dass sich unsere Versuchspersonen vor der Messung nicht in den relevanten Variablen unterschieden. Alle gefundenen Ergebnisse sind daher auf unsere experimentelle Manipulation, also das Unterstützungssystem LUCY, zurück zu führen.

Mit Blick auf die Konzentrationsleistung als zentrales Kriterium im d2-R-Konzentrations-test zeigte sich eine signifikante Verbesserung von vier Prozenträngen unter der Anwendung des Unterstützungssystems LUCY (Signifikanzniveau $p < .01$).

Der BZO-Wert im d2-R-Konzentrations-test kennzeichnet die Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte. Im Versuch konnte auch hier eine signifikante Verbesserung der Arbeitsgeschwindigkeit von insgesamt drei Prozenträngen unter Anwendung des Unterstützungs-

systems LUCY nachgewiesen werden.

Die signifikante Verbesserung des Fehlerprozentwert unter Anwendung des Unterstützungssystems LUCY belief sich im Experiment auf insgesamt sechs Prozentränge und stellt unter allen gemessenen Werten somit die größte Verbesserung dar.

Nicht zu unterschlagen ist auch die signifikante Reduktion der gemessenen Fehler in der Arbeitsaufgabe des Experiments von durchschnittlich 2,8 registrierten Fehlern. Dies entspricht anteilig 5,6% weniger Fehler in der Arbeitsaufgabe, wenn das Unterstützungssystem LUCY getragen wurde.

2 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse des Experiments sind vielerlei Hinsicht von psychologischem und technischem Interesse. Die erwarteten Wechselwirkungen zwischen dem Unterstützungssystem LUCY und dem Anwender zeigten sich in allen abhängigen Variablen signifikant. Doch was bedeuten Ergebnisse für den Stand der Forschung?

Da bereits eine Reduktion der muskulären Aktivität von sechs bis sieben Prozent nachgewiesen werden konnte [Ber16] fokussierten wir uns auf die Reduktion kognitiver Belastungen durch Arbeiten in und über Kopfhöhe. Wir beobachteten in unserem Experiment relevant bessere Leistungen für die Fehleranzahl und Arbeitsgeschwindigkeit, beides Werte die mit einer verbesserten Konzentrationsleistung assoziiert sind. Die signifikante Senkung von Fehlbohrungen um 5,6% bei lediglich 50 Wiederholungen je Bedingung im Experiment kann hier als Indiz genannt werden.

Unter Abwägung ökonomischer Aspekte des Experimentalaufbaus erschien die Durchführung von 50 Wiederholungen in jeder Bedingung angemessen. Des Weiteren setzten wir die Versuchspersonen in der nicht unterstützten Bedingung bewusst einer unphysiologischen und potentiell schädlichen Belastung aus. Allein aus dem Fürsorgeaspekt der Versuchsperson gegenüber konnte die Anzahl simulierten Bohrvorgänge nicht gesteigert werden. Die Ergebnisse erscheinen noch relevan-

ter, wenn man in Relation setzt, dass die Versuchspersonen lediglich 50 Durchgänge absolvieren mussten. Würde man unter Realbedingungen messen, sollte der Effekt noch viel stärker ausfallen.

Der Reihenfolgeeffekt entstand dadurch, dass die Versuchspersonen die zweite Arbeitsaufgabe ausgeruhter absolvierten, wenn sie bei der ersten Arbeitsaufgabe von LUCY unterstützt wurden. Das Argument, dass der Reihenfolgeeffekt durch die Wegstrecke zum Laboratorium für Fertigungstechnik entstand, da die Versuchspersonen bereits körperlich beansprucht waren, kann ebenfalls ausgeräumt werden. Die Wegstrecke betrug lediglich ca. 250 Meter und im Laboratorium angekommen, hatten die Versuchspersonen genügend Zeit sich zu erholen. Die Durchführung des ersten d2-R-Konzentrationstests (Baseline-messung) stellte ebenfalls keine körperliche Belastung dar und war für alle Versuchspersonen gleich.

Die Frage, ob die Arbeitskräfte Exoskelette als Hilfe oder als zusätzliche Belastung begreifen, kann in Teilen beantwortet werden.

Versuchspersonen erzielten bessere Ergebnisse, wenn sie zuerst mit dem Unterstützungssystem LUCY arbeiten. Dieses Ergebnis legt die Vermutung nahe, dass das alleinige Wissen bei einer Arbeitsaufgabe unterstützt zu werden zu besseren Arbeitsergebnissen führt. Dies kann an dem Technikvertrauen der meist unter 30-jährigen Versuchspersonen liegen oder aber auch daran liegen, dass sich die Versuchspersonen unter der Anwendung von LUCY sicher und in ihrer Körperkraft verbessert fühlten. Das Exoskelett LUCY konnte einige Versuchspersonen, für die Zeit des Tragens, bei dem Erreichen besserer Arbeitsergebnisse unterstützen. An dieser Stelle sind jedoch aufbauende Studien nötig, um diesen Aspekt weiterführend zu erforschen. Erwartet werden hier eine subjektiv spürbare Unterstützungsleistung beim Anwender, sowie ein Sicherheitsgefühl durch das Tragen eines Exoskelettes.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Exoskelett LUCY ein technisches Unterstützungssystem ist, dass die Menschen im Arbeitsprozess sinnvoll unterstützen kann.

Literatur

- [Ado16] K. E. Adolph: Learning to learn in the development of action. Minnesota symposia on child development. Hillsdale: Erlbaum Press, S. 91-122, 2016.
- [Bar83] H. Bartenwerfer: Allgemeine Leistungsdiagnostik Bd, 2. Wiebelsheim: Aula-Verlag, 1983.
- [Ber16] C. Berger, A. Argubi-Wollesen und R. Weidner: Biomechanical Analysis of a Wearable Support Device for Overhead Work. European College of Sports Science. Congress, Wien, 6.-9. Juli 2016, 2016.
- [Bou55] B. Bourdon: Der Bourdon-Test. Göttingen: Hogrefe-Verlag, 1955.
- [Bra09] U. Brandenburger und P. Nieder: Betriebliches Fehlzeitenmanagement. Wiesbaden: Gabler-Verlag, 2009.
- [Bri10] R. Brickenkamp, L. Schmidt-Atzert und D. Liepmann: Test d2-Revision: Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest. Göttingen: Hogrefe, 2010.
- [Bun12] Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, (2012), Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung: Handbuch für Arbeitsschutzfachleute (1. Auflage). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeit.
- [Dil91] H. Dilling, W. Mombour und M. H. Schmidt: Internationale Klassifikation psychischer Störungen: ICD-10, Kapitel V. Mannheim: Huber-Verlag, 1991.
- [Fel12] J. Felfe: Arbeits- und Organisationspsychologie 2: Führung und Personalentwicklung. Kohlhammer Verlag, 2012.
- [Här07] M. Härter und H. Baumeister: Ätiologie psychischer Störungen bei chronischen körperlichen Erkrankungen. In: Psychische Störungen bei körperlichen Erkrankungen, Berlin Springer-Verlag, S. 1-13, 2007.

- [Lan99] K. Landau: Arbeitsgestaltung in der Industrie rechnet sich!. In Ergonomie in der Industrie. URL: http://www.gesundesarbeitentirol.at/downloads/Arbeitsgestaltung_in_der_Industrie_rechnet_sich.pdf, letzter Zugriff (Vol. 10, S. 2013), 1999.
- [Luc14] D. Lucke: Ad hoc information acquisition using context aware systems within the multivariant manufacturing. Dissertation, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014.
- [Ott16] B. Otten, P. Stelzer, R. Weidner, A. Argubi-Wollesen und J. P. Wulfsberg: A novel concept for wearable, modular and soft support systems used in industrial environments. In: System Sciences, S. 542-550, DOI 10.1109/HICSS.2016.74, 2016
- [Pet06] F. Petermann: Intelligenzdiagnostik. Kindheit und Entwicklung. S. 71-75, URL: <https://doi.org/10.1026/0942-5403.15.2.71>, 2006.
- [Sch18] F. Schroeter, R. Weidner, P. Dehmel, J. P. Wulfsberg und T. Jacobsen: Der verbesserte Mensch, Bachelorarbeit, Helmut-Schmidt Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Fakultät Geistes- und Sozialwissenschaften, 2018.
- [Sch16] C. Schuldt: Keine Angst vor den Maschinen. URL: <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/keine-angst-vor-den-maschinen>, 2016.
- [Van07] M. Van Tulder, A. Malmivaara und B. Koes: Repetitive strain injury. The Lancet, S. 1815-1822. Amsterdam: VU University, 2007.
- [Wei13] R. Weidner, N. Kong und J. Wulfsberg: Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. Production Engineering, S. 675-684, Berlin: Springer-Verlag, 2013.
- [Wei16] R. Weidner: Band zur zweiten Transdisziplinären Konferenz “Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen (Konferenzband). URL: <http://www.humanhybridrobot.info>, 2016.
- [Wei18] R. Weidner, B. Otten, F. Schroeter, P. Dehmel, J. P. Wulfsberg und T. Jacobsen: Effekte bei der Anwendung von Exoskeletten. wt Werkstattstechnik online, 597-601, 2018.

Bildernachweis

Abbildung 1: Gesundheitsreport der Techniker Krankenkasse 2015

Befragungen und Universal Design als Methoden der altersngerechten Produktentwicklung

O. Sankowski und D. Krause

Technische Universität Hamburg, Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
o.sankowski@tuhh.de, krause@tuhh.de

Kurzzusammenfassung

Im Kontext der altersngerechten Produktentwicklung gibt es in der Literatur zwei oft genannte methodische Ansätze: Universal Design sowie Nutzerintegration. Ziel dieses Beitrages ist es, die Vor- und Nachteile der beiden Ansätze auf Ebene ihrer Methoden gegenüberzustellen und dadurch Handlungsempfehlungen im Allgemeinen und im Hinblick auf die altersngerechte Produktentwicklung abzuleiten. Exemplarisch gewählt wurden hierfür die Prinzipien des Universal Design sowie Befragungen als nutzerintegrative Methode. Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass der Methodeneinsatz nicht nur von der richtigen Durchführung, sondern auch von der Produktart und der Zielgruppe abhängt. Durch diese Erkenntnisse wird eine gezieltere Methodenauswahl begünstigt.

Abstract

Using Surveys and Universal Design for Elderly Friendly Products

There are two often mentioned methodical approaches for the design of elderly friendly products. These are Universal Design and User Integration. The goal of this paper is to compare two main methods belonging to the mentioned approaches, their advantages and disadvantages and also their suitability for the design of elderly friendly products. We conclude that the outcome of user-centered methods not only depends on correct execution, but also on the type of product and the type of target users. The findings can be used to facilitate the correct selection of methods.

Keywords

Nutzerzentrierung, Universal Design, Interview, Befragung, Methodenvergleich

1 Einleitung

Bei der Produktentwicklung für ältere Menschen ist die Frage, wie diese optimal bei der Meisterung ihrer alltäglichen Aufgaben unterstützt werden könnten, Dreh- und Angelpunkt jeder Betrachtung. Um zu verstehen, welche Unterstützung in welchem Umfang benötigt wird, müssen die Wünsche, Probleme und eventuelle Einschränkungen der Zielgruppe genau betrachtet werden. Aus methodischer Sicht gibt es verschiedene Ansätze und Herangehensweisen für die Lösung dieser Aufgabe. Genannt werden hierbei von der Literatur unter anderem *Universal Design* und *Nutzerintegration*.

Die als zielführend angesehenen methodischen Ansätze sind insgesamt sehr vielfältig. Gemeinsam ist ihnen jedoch, dass sie sich der Nutzerzentrierung zuordnen lassen. Das heißt, dass sie den Fokus der Produktentwicklung zum Nutzer hin verschieben, ihn, seine Bedürfnisse und Lebensumstände somit zum Zentrum der Betrachtung machen.

Um zu verstehen, welchen Einfluss verschiedene Ansätze und Methoden auf den Produktentwicklungsprozess und auf das Ergebnis haben – d.h. auch welchen Mehrwert – werden im folgenden Beitrag die Ergebnisse sowie Vor- und Nachteile zwei exemplarisch gewählter Methoden zur Anforderungserhebung und Lösungsfindung miteinander verglichen.

Hierfür wird zunächst die Nutzerzentrierung als solche sowie das Universal Design und seine Richtlinien und das Befragen von Nutzern als nutzerintegrative Methode näher erläutert. Anschließend werden drei studentische Projekte, in denen die besagten Methoden zum Einsatz kamen, beschrieben und verglichen. Daraus werden dann schließlich Rückschlüsse auf die Eignung der Methoden für die alternsgerechte Produktentwicklung und den erreichten Grad der Nutzerzentrierung gezogen.

2 Nutzerzentriert vs. technikzentriert

Ansätze, die den Fokus der Produktentwicklung auf den Nutzer legen und nicht nur auf die Erfüllung der technischen Funktionen und unternehmerischen Zielgrößen, können unter dem Begriff der *Nutzerzentrierung* bzw. *nutzerzentrierten Produktentwicklung* zusammengefasst werden.

Vor allem bei der Entwicklung für spezifische Nutzergruppen, wie z.B. ältere Menschen, wird die nutzerzentrierte Produktentwicklung als unerlässlich bei der Gestaltung von nützlichen und erfolgreichen Produkten angesehen (z.B. [Gle10, Fis12]). Die Notwendigkeit für ein nutzerzentriertes Vorgehen resultiert aus der inhärenten Distanz zwischen dem versierten und in Funktionen denkenden Produktentwickler und dem unerfahrenen Endnutzer des Produkts. Die Distanz und damit die Notwendigkeit eines nutzerzentrierten Vorgehens ist umso größer, je mehr sich Entwickler und Endnutzer in ihren Lebenssituationen, Fähigkeiten und Erfahrungen, z.B. aufgrund von Alter oder körperlicher Einschränkung, unterscheiden.

Nutzerzentrierung wird als das Gegenteil zu einem rein design- und funktionsorientierten, d.h. technikzentrierten, Vorgehen verstanden (siehe Abbildung 1). Eine technikzentrierte Produktentwicklung ist demnach stark auf firmeninterne Zielgrößen, wie Zeit und Kosten, sowie die Wettbewerbsfähigkeit ausgelegt. In ihrem Extremfall gibt es keinen Bezug zum Endnutzer. Dieser Fall tritt z.B. ein, wenn Anforderungen und Funktionen vom Käufer des

Produkts (z.B. im Business-to-Business-Bereich) bestimmt werden und die Bedienung durch einen Nutzer nicht gewollt oder nicht relevant ist.

Bei einem rein nutzerzentrierten Vorgehen fließen Anforderungen und Ideen dagegen von Beginn bis Ende des Entwicklungsprozesses direkt vom Nutzer in das Design des Produktes. Auch die Entscheidungsgewalt liegt hier ausschließlich beim Nutzer. Das produzierende Unternehmen nimmt dann die Rolle des Befähigers ein. Zum Wohle der individuellen Nützlichkeit entstehen an spezifische Randbedingungen und einzelne Personen angepasste Lösungen.

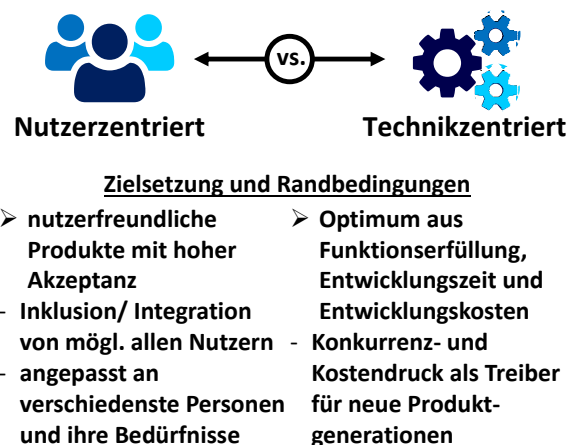


Abbildung 1: Nutzerzentrierung als Gegensatz zum technikzentrierten Vorgehen

Im Grunde bilden Nutzerzentrierung und Technikzentrierung zwei Pole einer Geraden. Beide Philosophien bzw. Mindsets adressieren jedoch für produzierende Unternehmen gleichermaßen wichtige Ziele. Ihre tatsächlichen Ausprägungen im Produktentwicklungsprozess, d.h. welcher Richtung eine Produktentwicklung inwieweit zugeneigt ist, werden dabei durch die eingesetzten Methoden bestimmt (im Bereich der Technikzentrierung lassen sich z.B. *Design-to-cost* Ansätze einordnen).

So treten neben den beiden skizzierten Extremfällen vornehmlich Abstufungen von nutzerzentrierten/ technikzentrierten Entwicklungsprozessen auf. In der industriellen Praxis fließen die Bedürfnisse, Wünsche und Meinungen der Nutzer nicht selten nur punktuell

oder nur in reduzierter Form in den Entwicklungsprozess ein (z.B. durch einen Usability Test nach der Prototypenerstellung oder im Vorfeld des Entwicklungsprozesses durch eine Marktumfrage).

Das daraus resultierende Forschungsziel ist es daher die verschiedenen nutzerzentrierten Ansätze sowie zugehörige Methoden zu analysieren, ihren spezifischen Mehrwert bzw. Schwerpunkt in der Produktentwicklung herauszustellen sowie auch den Grad der Nutzerzentrierung abzuleiten. In diesem Beitrag werden daher zwei nutzerzentrierte Ansätze und darin jeweils ein Methoden(-schritt) exemplarisch gewählt und in insgesamt drei studentischen Projekten erprobt. Die zugrundeliegenden Hypothesen sind:

1. Beide Ansätze/Vorgehensweisen werden einen Mehrwert erzielen; ihre Durchführung wird sich in den Ergebnissen widerspiegeln.
2. Die durchgeführten Methoden werden einen unterschiedlichen Mehrwert für die Konzeptentwicklung haben und unterschiedliche Schwerpunkte setzen.

Um Ergebnisse besser gegenüberstellen zu können, wurden zwei eher unterschiedliche Ansätze, *Universal Design* (UD) und *Nutzerintegration*, und darin je ein prominenter Methodenschritt, die *Prinzipien des UD* und *Befragungen* als nutzerintegrative Methode, gewählt. Da Nutzerzentrierung gemeinhin bei größerer Distanz zum Endnutzer als wertvoller erachtet wird (s.o.), wurden ältere Menschen als Zielgruppe gewählt. Es wird erwartet, dass sich der Mehrwert durch das nutzerzentrierte Vorgehen dadurch erhöht. Es wurden weiterhin im Sinne ihrer Interaktionsart (direkt vs. indirekt, individuell vs. Gruppe) zwei sehr unterschiedliche Produkte (Gehhilfe und Lichtkonzept) für die Erprobung ausgewählt.

2.1 Universal Design und seine Prinzipien

Universal Design (UD) adressiert die möglichst breite – d.h. universelle - Anwendbarkeit und Nutzbarkeit von Architektur, Produkten und Informationstechnologien [Sto98]. Dabei folgt er dem Grundgedanken, dass eine Lösung, die auch die schwächsten und am

stärksten eingeschränkten Nutzer berücksichtigt, für alle Personen eine gute Lösung darstellen kann. Was für einen stark eingeschränkten Menschen demnach eine absolute Notwendigkeit ist (z.B. die Rampe für den Rollstuhlfahrer), kann zur selben Zeit für nicht-eingeschränkte Person ein komfortable Lösung darstellen (z.B. beim Mitführen von Fahrrädern). Damit dieser Vorteil der vollständigen Inklusion zum Tragen kommt, darf es keine Sonderlösungen oder spezielle Adaptationen für behinderte und eingeschränkte Personen geben [Sto98].

Story und Kollegen [Sto98] stellen dabei aber auch klar, dass UD ein Prozess ist und dass das Ideal der für alle Personen und alle Situationen gleichermaßen gut geeigneten Lösung, vermutlich nicht erreicht werden kann. Um der Zielsetzung trotzdem möglichst nahe zu kommen wurden sieben allgemeingültige UD-Prinzipien mit zugeordneten Richtlinien und Beispielen abgeleitet. Dazu gehört z.B. Prinzip 3 „simple and intuitive use“, zu dem unter anderem die Richtlinien „eliminate unnecessary complexity“ und „accomodate a wide range of literacy and language skills“ gezählt werden [Sto98].

Die UD-Prinzipien stellen aus methodischer Sicht den Kern von UD dar. Detaillierte Prozessanweisungen für die Produktentwicklung, die sequentiell oder iterativ durchlaufen werden sollen, existieren nicht. Stattdessen wird eine Einbettung der Prinzipien in die für die Entwickler bekannten Entwicklungsprozesse empfohlen [Pre08]. Die konkrete Umsetzung der Prinzipien ist somit nicht scharf formuliert, der große Vorteil von UD, seine allgemeingültige Anwendbarkeit, kommt aber dadurch erst zum Tragen. Weiterhin ist nicht festgelegt in welcher Form die Interaktion mit den Nutzern bei UD erfolgen soll. In einer Untersuchung mit norwegischen UD-Anwendern hat Begnum [Beg16] festgestellt, dass die befragten Experten zum größten Teil in zwei Lager gespalten sind: diejenigen die eine starke und intensive Interaktion mit Nutzern im Kontext des UD anvisieren und solche die eine No-Contact Strategie verfolgen.

In der Literatur wird UD und seine grundlegende Zielsetzung auch kritisch betrachtet. Nach Schweikardt [Sch09] könnte eine Berücksichtigung von allen potenziellen Nutzern zu einer Lösung mit dem kleinsten gemeinsamen Nenner führen, die weder dem eingeschränkten, noch dem nicht-eingeschränkten Personen wirklich nützt. Glende [Gle10] führt weiterhin an, dass durch die Anwendung von UD, das seinen historischen Ursprung in der behindertengerechten Gestaltung hat, häufig Lösungen entstehen, die auf die Defizite der eingeschränkten Personen fokussieren.

2.2 Nutzerintegration und Befragungen

In Gegensatz zu UD wird bei der Nutzerintegration die Interaktion mit den Nutzern vorgeschrieben. Sie soll demnach möglichst direkt, unmittelbar und umfassend erfolgen. D.h. Nutzer sollen direkt in den Entwicklungsprozess integriert werden, sie sollen unmittelbaren Kontakt zu den Entscheidungsträgern bzw. Entwicklern haben oder sogar selbst diese Rollen einnehmen und das auch möglichst über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg, d.h. in allen Phasen und auf allen Ebenen. Nutzerintegration als methodischer Ansatz schreibt keine eindeutige Abfolge von Methodenschritten vor, sondern ist vielmehr eine Sammlung von nutzerintegrativen Methoden und Ansätzen, die je nach Aufgabe ausgesucht werden müssen (z.B. [Rei04], [Kle09], [Gle10]).

Zu den nutzerintegrativen Methoden gehört das Befragen von Nutzern. Es gibt verschiedene Wege mit dem Nutzer ins Gespräch zu kommen. Grundsätzlich kann man in persönliche und unpersönliche Befragungen unterscheiden, die strukturiert, teilweise strukturiert oder unstrukturiert aufgebaut sein und aus offenen oder geschlossenen Fragestellungen bestehen können [Blu08]. Je nach Zielsetzung (z.B. quantitative oder qualitative Ergebnisse) und Zielgruppe bieten sich persönliche Interviews mithilfe von strukturierten oder unstrukturierten Leitfragen oder auch unpersönliche Umfragen mithilfe eines strukturierten Fragebogens an.

Vor allem durch persönliche Befragungen lassen sich verschiedenste Informationen in Erfahrung bringen. So können Anforderungen, Probleme und auch Lösungsvorschläge direkt erfragt werden oder auch beim Umgang des Nutzers mit dem Produkt beobachtet werden. Bei einer fragebogenbasierten Umfrage kann wiederum eine große Anzahl an Personen integriert werden, sodass Meinungen und Wünsche quantifizierbar werden.

Neben dem großen Zeit- und Kostenaufwand, der mit der Durchführung von Befragungen oftmals verbunden ist, ist diese Methode mit verschiedenen Risiken verbunden. Drei mögliche Fehlerquellen können identifiziert werden: die Befragten, die Fragen und die Fragenden selbst [Blu08]. So könnten die Befragten, aufgrund von nicht eindeutigen oder vorgeprägten Fragen, absichtlich oder unabsichtlich falsche Informationen wiedergeben. Antworten könnten aber auch vom Fragenden aufgrund von impliziten Annahmen und Vorurteilen fehlinterpretiert werden.

Auch die Nutzerintegration als solche ist nicht frei von Kritik. Enkel und Kollegen [Enk05] haben hierzu eine umfangreiche Untersuchung angestellt. So ist die Persönlichkeit der beteiligten Nutzer ein wesentlicher Faktor. Eine Gruppe aus vorfixierten Kritikern wird genauso wenig zu einer innovativen Lösung kommen, wie eine Gruppe aus abgehobenen Visionären zu einer realistischen Umsetzung. Weiterhin besteht die große Gefahr durch die Integration von wenigen ausgesuchten Nutzern und der Berücksichtigung ihrer spezifischen Anforderungen das Gros der Nutzer außen vor zu lassen, d.h. am anvisierten Markt vorbei zu entwickeln.

3 Die Projekte

Um die gewählten Methoden, die Prinzipien des UD und Befragungen als nutzerintegrative Methode, sowie ihre Ergebnisse genauer zu untersuchen, werden im Folgenden drei studentische Projekte und ihre jeweiligen Lösungsansätze beschrieben. Jedes Projekt hatte das Ziel ein alternsgerechtes Produkt mithilfe eines nutzerzentrierten Ansatzes zu entwickeln. Als zusätzliche Randbedingung sollten

bestehende Produktlösungen möglichst sinnvoll und innovativ weitergedacht werden (Kurzübersicht in Tabelle 1).

Jedes Projekt wurde von einem einzelnen Studenten für die Dauer von vier bis sechs Monaten bearbeitet. Die Projekte fanden nicht zur selben Zeit, sondern über einen Zeitraum von drei Jahren statt. Bei der Durchführung der Methoden hielten sich die Studierenden an die jeweils in der Literatur beschriebene Vorgehensweise. Weitere Methoden und Werkzeuge zur allgemeinen Problemlösung wurden bei Bedarf eigenständig von den Studierenden zum methodischen Vorgehen hinzugefügt.

Zum Ende der jeweiligen Projekte waren die Studierenden angehalten, ihr Vorgehen und die Vor- und Nachteile der durchgeführten Methode zu beurteilen.

Tabelle 1: Kurzübersicht Projekte

	Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3
Aufgabe	Gehhilfe	Gehhilfe	Beleuchtungskonzept
Methode	UD	Befragungen	UD + Befragungen

3.1 Projekt 1: Gehhilfe

Das Ziel dieses Projekts war die Konzeption einer innovativen Gehhilfe für ältere Menschen, die sie bei der Bewältigung ihres Alltags unterstützt. Die UD-Prinzipien waren als Methode vorgegeben. Die Durchführung erfolgte ohne direkte Nutzerintegration.

3.1.1 Methodisches Vorgehen

Nach einer Analyse des physiologischen und pathologischen Gangs von älteren Menschen sowie den daraus resultierenden Problemen folgte ein allgemeiner Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221 [VDI93]. Dieser diente als Grundlage für ein nutzerzentriertes Vorgehen unter Zuhilfenahme von UD. Die UD-Prinzipien wurden dabei sowohl bei der Anforderungsermittlung als auch bei der Lösungsfindung zur Hilfe genommen.

3.1.2 Ergebnisse

Aus der einleitenden Analyse resultierten Stürze und ihre Ursachen sowohl beim Gehen als auch beim Aufstehen als große Gefahr für ältere Menschen. Die weitere Entwicklung fokussierte entsprechend die Sturzvermeidung. Als Resultat ergab sich ein Konzept für eine Gehhilfe, die sowohl beim Gehen als auch beim Aufstehen unterstützen sollte. Das Konzept war weiterhin geprägt durch möglichst einfache und ergonomische Bedienung und Handhabung. D.h. die Bedienung sollte mit einer Hand und bei geringsten Handkräften möglich sein (Inklusion der Schwächsten gemäß UD). Weiterhin sollte ein ergonomischer Gang durch eine nach vorne offene Gestaltung ermöglicht und gefördert werden (Vermeidung von andauernder körperlicher Belastung gemäß UD).

3.1.3 Diskussion zum Methodeneinsatz

Studierende: Durch die Studierende wurde der Einsatz von UD als positiv und hilfreich beurteilt. Bemängelt wurde jedoch, dass der Ansatz keine Vorgehensanweisungen beinhaltet, sondern lediglich darauf hinweist, dass nicht alle Prinzipien in jedem Fall von gleicher Bedeutung sind bzw. gleich gut berücksichtigt werden können. Da vor allem Produkte für ältere Menschen aufgrund von fehlender Akzeptanz und der Stigmatisierung von Nutzern am Markt scheitern, wurde auch das Nicht-Berücksichtigen von sozialen, kulturellen und persönlichen Aspekten von der Studierenden als kritisch betrachtet.

Autoren: Aufgrund der Integration in einen übergeordneten Prozess entstand durch das Fehlen von Prozessanweisungen kein direktes Problem, führte aber zur Verunsicherung bei der Studierenden. Das finale Konzept erreichte eine gute Qualität und beinhaltete mehrere nutzerzentrierte Aspekte. Insgesamt konnten 9 von 39 Anforderungen auf die Anwendung von UD-Prinzipien zurückgeführt werden. Außerdem verlagerte sich (s.o.) der Schwerpunkt der Betrachtung auf ergonomische Aspekte der Handhabung und Bedienung.

3.2 Projekt 2: Gehhilfe

Das Ziel dieses Projekts war die tiefergehende Analyse der Anforderungen an eine Gehhilfe für ältere Menschen und darauf basierende Konzeption einer innovativen Lösung. Befragungen von Nutzern wurden in diesem Fall als Methode vorgegeben.

3.2.1 Methodisches Vorgehen

Für die Anforderungs- und Problemanalyse wurden zuerst drei Rollatornutzer persönlich im häuslichen Umfeld einer betreuten Wohneinrichtung interviewt. Die Fragen zielten dabei auf die allgemeine Benutzung und Handhabung des Rollators, auf die damit verbundenen Problemen, auf eventuelle Inakzeptanz (wann und warum wird der Rollator nicht benutzt), auf das Kaufverhalten (wer und warum den Rollator angeschafft hatte) und die Kaufbereitschaft. Bei Zustimmung wurde das Gespräch aufgezeichnet. Zusätzlich zu den Primärnutzern wurden auch drei Interviews mit anderen Stakeholdern (Vertreter von Krankenkasse, Sanitätshaus und Medizin) als Experten zu bekannten Problemen mit Rollatoren durchgeführt.

Auf Basis der Ergebnisse aus den ersten drei Gesprächen wurde ein Fragebogen für eine größere Umfrage gestaltet, die dann in Kaufhäusern, auf der Straße und im Krankenhaus durchgeführt wurden (insgesamt 25 Teilnehmer). Als zusätzliche Quelle wurden noch Aussagen und Probleme auf Basis einer Netnography (vergleiche [Koz10]) aufgenommen. Dafür wurden insgesamt 33 Rezensionen aus online Shops, von Personen die einen Rollator käuflich erworben haben, analysiert und Anforderungen aus diesen abgeleitet.

Aus den Ergebnissen der Befragungen wurden Problemszenarien abgeleitet, die dann schließlich als Grundlage für die Konzeptionierung dienten.

3.2.2 Ergebnisse

Durch die umfangreichen Befragungen konnten neue und teils sehr spezifische Anforderungen an Rollatoren ermittelt werden. Im Hinblick auf die Bedienung wurde z.B. von einem Nutzer die unzureichende Bremskraft

und Stabilität eines Rollators bei Anwendung im fahrenden Bus bemängelt. Eine Nicht-Verwendung des Rollators wurde von den Befragten immer auf mangelnden Nutzen oder Bedienerfreundlichkeit zurückgeführt. Keiner der Befragten äußerte oder signalisierte ein Gefühl der Stigmatisierung durch den Rollator und eine damit verbundene reduzierte Akzeptanz.

Weiterhin wurde deutlich, dass Rollatoren oft nicht vom Endnutzer selbst ausgesucht und erstanden werden. Diese hatten daher keine Preisvorstellung und eine geringe Kaufbereitschaft für eine „gute Lösung“ zusätzliches Geld auszugeben. Begeisterungsmerkmale für Rollatoren konnten aus dieser Fragestellung nicht abgeleitet werden.

Die konzeptionelle Umsetzung des Studierenden fokussierte auf die Lösung der für den Nutzer gefährlichsten Probleme bei der Bedienung (z.B. Probleme mit den Bremsen) sowie auf die am häufigsten genannten Probleme (z.B. zu großes Gewicht).

3.2.3 Diskussion zum Methodeneinsatz

Studierender: Insgesamt wurde der Methodeneinsatz durch den Studierenden als positiv, aber auch als aufwendig und risikobehaftet beschrieben. So haben viele der angefragten Wohnanlagen die Befragung ihrer Bewohner als eine Belastung eingestuft und diese abgelehnt oder der Befragung nur unter Bedingungen zugestimmt (maximal 20 Minuten und keine persönlichen Fragen). Vorbehalte der Befragten führten zu mangelnder Teilnahmebereitschaft an der Umfrage. Diese konnten aber durch das Tragen eines Namensschildes und der Bezeichnung „Praktikant“ abgeschwächt werden. Das Ansprechen von Rollatornutzern auf der Straße hatte insgesamt die geringste Erfolgsquote.

Autoren: Die Summe der durch die Befragungsmethoden gewonnenen Anforderungen wird als positives Ergebnis betrachtet (22 Anforderungen aus persönlichen Interviews, 9 aus unpersönlichen Umfragen, 31 aus online Rezensionen, von insgesamt 60 Anforderungen, teilweise Dopplungen vorhanden).

Nachträglich lassen sich aber auch Fehler in

der methodischen Durchführung feststellen. Da nur aktive Rollatornutzer befragt wurden, konnten entsprechend wenige Anforderungen hinsichtlich einer besseren Akzeptanz festgestellt werden. Das finale Konzept war sehr stark durch die individuellen Nutzeraussagen geprägt, d.h. dass die kritischsten Aussagen, auch wenn sie nur einmal auftraten, den höchsten Stellenwert bekamen. Ob dies die richtige Entscheidung war, kann auf Basis des Konzeptstandes der Lösung nicht geklärt werden. Weiterhin gelang dem Studierenden nicht, widersprüchliche Anforderungen vollständig miteinander zu vereinbaren; einige Anforderungen wurden daher im finalen Konzept nicht berücksichtigt.

3.3 Projekt 3: Beleuchtung

Hier sollten ältere Personen durch innovative Beleuchtungskonzepte bei der Ausübung ihrer täglichen Aufgaben und vor allem aber auch bei der sicheren Navigation durch den Raum ungeachtet von natürlichen Lichtverhältnissen unterstützt werden. In diesem Fall sollten sowohl UD-Prinzipien als auch Befragungen zum Einsatz kommen.

3.3.1 Methodisches Vorgehen

Nach einer einleitenden Recherche zu altersbedingten und pathologischen Veränderungen des Auges und der Sehkraft, wählte der Student den allgemeinen Produktentwicklungsprozess nach VDI 2221 [VDI93] als Grundlage für die Konzeption.

Für die Nutzerintegration wurde ein persönliches Gespräch in neutraler Umgebung innerhalb der Wohnanlage mit teilstrukturierten Leitfragen gewählt. Die Gespräche wurden nach erfolgter Zustimmung aufgezeichnet.

Als Beispiel-Wohnraum für das Lichtkonzept wurden die Privatwohnräume in einer betreuten Wohnanlage gewählt. Nach Zustimmung des Bewohners war es im gleichen Zusammenhang möglich, die Ist-Situation der Lichtverhältnisse und Beleuchtung in den Wohnräumen zu dokumentieren. Insgesamt wurden acht Personen befragt (sieben Bewohner und eine Pflegeperson). Neben persönlichen Erfahrungen zu (schlechter) Beleuchtung und

den daraus resultierenden Problemen, wurden auch allgemeine Wünsche und krankheitsspezifische Anforderung an eine gute Beleuchtung erfasst. Die UD-Prinzipien kamen anschließend ohne direkte Nutzerinteraktion im Rahmen der Lösungsfindung zum Einsatz.

3.3.2 Ergebnisse

Oft verwiesen die Befragten auf einen Bedarf nach besserer Ausleuchtung bei gleichzeitig minimaler Blendung. Es wurde auch der Wunsch nach speziellen Lichtsituationen (z.B. Orientierung in der Nacht oder Pflegelicht) sowie einer einfachen und automatischen Bedienung geäußert. Aus den UD-Prinzipien ließ sich ableiten, dass die Bedienung möglichst einfach sein sollte, d.h. z.B. mithilfe von vordefinierten Lichtmodi (Leselicht, Nachtlicht, etc.). Weiterhin sollte die Zugänglichkeit und Lesbarkeit der festen Bedienungselemente ungeachtet von physiologischen Einschränkungen gegeben sein.

Das Beleuchtungskonzept fokussierte auf eine adaptive Beleuchtung, angepasst an die Aufgabe und Situation, zur Unterstützung des zirkadianen Rhythmus. Die visuellen Einschränkungen und resultierenden Anforderungen wurden dabei möglichst in ihren jeweiligen Extremausprägungen berücksichtigt und zusammengefasst (entsprechend der Zielsetzung von UD).

3.3.3 Diskussion zum Methodeneinsatz

Studierender: Das Vorgehen wurde durch den Studierenden als zielführend aber auch als nicht optimal bezogen auf das Produkt eingestuft. Im Verlauf der Befragungen wurde deutlich, dass innovative Beleuchtungssysteme und ihre Potentiale bei der Zielgruppe wenig bekannt sind. Befragungen, zu deren Beginn nicht die potenziellen Vorzüge von angepasster Beleuchtung dargelegt wurden, blieben ergebnislos. Der Befragungsablauf wurde entsprechend angepasst.

Die UD-Prinzipien halfen von den Nutzern genannte Anforderungen teilweise zu verifizieren. Vor allem in Hinblick auf die Bedienung ergaben sich neue Anforderungen und Lösungsvorschläge. Andererseits waren einige

der Prinzipien nicht direkt auf das Produkt anwendbar, wie z.B. „low physical effort“, und wurden entsprechend nicht berücksichtigt. Abgesehen von den Bedienungselementen resultierten keine weiteren Gestaltungshinweise. **Autoren:** Die Anwendung der Methoden half dem Studierenden dabei verschiedene Anwendungs- und Lebenssituationen der Endnutzer zu verstehen. In der Summe konnten jedoch nicht so viele Anforderungen auf die Methoden zurückgeführt werden wie im 2. Projekt (9 von 41 Anforderungen, davon 1 durch UD). Grund dafür könnte die im Vergleich zum Rollator geringere physische Interaktion zwischen Beleuchtung und Nutzer sein und dadurch resultierende geringere Wissen der Nutzer. Kritisch hinterfragt werden muss auch das angepasste Vorgehen bei den Befragungen. Inwiefern dadurch der echte Bedarf für adaptive Beleuchtung verzerrt wurde, bleibt unklar.

4 Schlussfolgerungen

4.1 Einbettung in den Prozess

Die hier vorgestellten Ansätze der Nutzerzentrierung eignen nicht als eigenständige Produktentwicklungsmethoden. Sie müssen in einen übergeordneten Entwicklungsprozess zur Lösungsfindung als einzelne Methoden(-schritte) eingeordnet werden. In diesem Zusammenhang hat unter anderem Glende [Gle10] eine zielgerichtete Einordnung von Methoden und Tools der Nutzerintegration in den Produktentwicklungsprozess vorgenommen. Es fehlen jedoch weitere nutzerzentrierten Ansätze, wie z.B. UD, in der Betrachtung. Aus den hier genannten Projekten lässt sich ableiten, dass die Einbettung von UD Prinzipien sowohl zu Beginn bei der Anforderungserhebung als auch bei der eigentlichen konzeptionellen Lösungsfindung zweckdienlich ist sowie dass die Durchführung durch eine einzelne Person (den Produktentwickler) zu zielführenden Ergebnissen führt.

4.2 Eignung für altersgerechte Produkte

Bei der Durchführung von nutzerintegrativen Methoden mit älteren Menschen müssen allgemeine Einschränkungen der Nutzergruppe,

bedingt durch alters- und krankheitsbedingte Abnahme von Ausdauer und Interaktionsvermögen, beachtet werden. Hinzu kommen die Schwierigkeiten ältere Nutzer als Teilnehmer zu gewinnen und vor allem auch ältere Nutzer, die im Umgang mit dem Produkt versiert sind. Innerhalb der arbeitenden Bevölkerungsgruppe lassen sich fachkundige Teilnehmer (z.B. Physiotherapeut, Sanitätshausmitarbeiter) für die Befragung aufgrund ihres beruflichen Hintergrunds leichter ausfindig machen und zielgerichtet akquirieren. Die Anpassung von nutzerintegrativen Methoden auf die Fähigkeiten verschiedener Altersgruppen ist bei Reinicke [Rei04] beschrieben, das Problem der Akquise wird hier aber nicht angegangen.

4.3 Schlussfolgerungen zu den Hypothesen

Beide methodische Ansätze erzielten in jeweils beiden Projekten einen (von den Studierenden und den Autoren) spürbaren und auch messbaren Mehrwert (aufgezeigt anhand der (zusätzlichen) nutzerorientierten Anforderungen). Wobei dieser Mehrwert zu relativieren ist. So war der wahrgenommene und auch messbare Mehrwert durch die Anwendung von UD-Prinzipien geringer als der durch Befragungen, andererseits waren zielführende Ergebnisse im Falle der UD-Prinzipien garantiert, während sie im Falle der Befragungen mit deutlich mehr Risiko behaftet waren (abhängig von den Befragten, ihrer Motivation/Interesse und ihrem Produktwissen).

Die Schwerpunktsverlagerung zwischen den verschiedenen Methoden lässt sich im Vergleich von Projekt 1 zu Projekt 2 am besten aufzeigen. Entsprechend ihrer Natur verlagert sich durch ihre Anwendung der UD-Prinzipien der Schwerpunkt auf die nutzergerechte Handhabung und Bedienung von Produkten. Wie im Vergleich zu Projekt 3 zu sehen, ist ihr Einsatz daher bei intensiver Mensch-Technik Interaktion zweckdienlicher. Im Vergleich dazu lag der Schwerpunkt bei den Befragungen auf sehr individuellen und situationsabhängigen Anforderungen. So waren z.B. einige Anforderungen für den Rollator nur beim Einsatz im häuslichen Umfeld oder nur im Bus und auch nur für bestimmte Nutzer (d.h. mit

bestimmten Einschränkungen) relevant. Grundsätzlich lässt sich aber auch hier im Vergleich zu Projekt 3 ein weiterer Zusammenhang zu den Nutzergruppe und den von ihnen gemachten Erfahrungen und Erlebnissen feststellen.

Zwar lässt sich dadurch insgesamt den Befragungsmethoden im Vergleich zu den UD-Prinzipien ein höherer Grad der Nutzerzentrierung zuordnen (mehr nutzerorientierte Anforderungen, direkt von Nutzern formuliert), ob die Befragungsmethoden jedoch entsprechend zu besseren Lösungen geführt haben, lässt sich dadurch nicht ableiten. Es lässt sich aber feststellen, dass die Art und Zielsetzung der Methoden die Gestaltung der Problemlösung beeinflusst (z.B. Lösungen für Individuen vs. für die Gemeinschaft). Solche Randbedingungen und Unterschiede in der Zielorientierung sind

bei der Wahl der nutzerzentrierten Methode(n) im Vorfeld der Produktentwicklung zu berücksichtigen.

5 Zusammenfassung und Fazit

Nutzerzentrierung ist kein starres Konstrukt, sondern eine graduelle Eigenschaft der Produktentwicklung. Die vorgestellten nutzerzentrierten Methoden - die Prinzipien des Universal Designs und Befragungen - stellen grundsätzlich eine Bereicherung für den Produktentwicklungsprozess dar; sie sind jedoch nicht in jeder Situation bei allen Randbedingungen gleichermaßen gut geeignet. Ein erfolgreicher Methodeneinsatz hängt weiterhin von der Produktart (z.B. viel oder wenig Mensch-Technik Interaktion) und der Zielgruppe (z.B. versierte oder nicht versierte Nutzer des Produkts) ab.

Literatur

- [Beg16] M. E. N. Begnum: Methodology for universal design of ITs; epistemologies among norwegian experts. In: International Conference on Computers Helping People with Special Needs. Springer, Cham, S. 121-128, 2016.
- [Blu08] B. Blumberg, D. Cooper und P. Schindler. Business research methods: second european edition. Maidenhead: McGraw-Hill Higher Education, 2008.
- [Enk05] E. Enkel, C. Kausch und O. Gassmann: Managing the risk of customer integration. European Management Journal, Vol. 23(2), S. 203-213, 2005.
- [Fis12] A. D. Fisk, W. A. Rogers, N. Charness, S. J. Czaja, and J. Sharit: Designing for Older Adults - Principles and Creative Human Factors Approaches. 2nd ed. Hoboken: Taylor and Francis, 2012.
- [Gle10] S. Glende: Entwicklung eines Konzepts zur nutzergerechten Produktentwicklung - mit Fokus auf die „Generation Plus“. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin, 2010.
- [Kle09] S. Kleinheinz: Nutzerintegration und Nutzerunterstützung in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009.
- [Koz10] R. V. Kozinets: The field behind the screen: Using netnography for marketing research in online communities. In: Journal of marketing research, Vol. 39(1), S. 61-72, 2002.
- [Pre08] W. F. E. Preiser: Universal Design: From Policy to Assessment Research and Practice. In: International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR, Vol. 2(2), S. 78-93, 2008.
- [Rei04] T. Reinicke: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung - Eine Systematik zur Anpassung von Methoden zur Nutzerintegration. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin, 2004.
- [Sch09] E. Schweikardt: User centered is off center. In: interactions, Vol. 16(3), S. 12-15, 2009.
- [Sto98] M. F. Story, J. L. Mueller und R. L. Mace: The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities. The Centre for Universal Design, NC, 1998.

- [VDI93] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Verlag, 1993.

Entwicklung und Erprobung einer kosten- und funktionsoptimierten, mechatronischen Unterarmprothese

I. S. Yoo¹, E. Scheithauer¹, S. Sesselmann² und J. Franke¹

¹ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
in.seong.yoo@faps.fau.de, ellen.c.scheithauer@fau.de, joerg.franke@faps.fau.de

² Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Professur für innovative Konzepte und Technologien in der Gesundheitsversorgung
s.sesselmann@oth-aw.de

Kurzzusammenfassung

Dieser Beitrag stellt einen Prototyp einer kosteneffizienten und zugleich alltagstauglichen mechatronischen Unterarmprothese vor. Durch Reduktion und Vereinfachung der mechanischen Komponenten wird eine Verringerung der Systemkomplexität und damit einhergehend eine Verbesserung der Robustheit angestrebt. Die Opposition des mittels nachgiebiger, unteraktuierter Seilzugkinematik angetriebenen Daumens zu den auf dieselbe Weise gesteuerten Langfingern ermöglicht eine einfache, sich an die Konturen der Greifobjekte flexibel anpassende Greifbewegung, die bei der Erledigung von Alltagsaufgaben Nutzen bringt. Die Greifbewegung wird durch eine Mikrocontroller-basierte, myoelektrische Steuerung ausgeführt, um die Bedienung des mechatronischen Ersatzgliedes möglichst einfach und intuitiv zu gestalten. Diese Leistungsmerkmale werden im Rahmen einer Laborerprobung anhand diverser Haushaltsgegenstände unterschiedlicher Größe und Form sowie im Kontext verschiedener Alltagsaufgaben demonstriert.

Abstract

Development and evaluation of a cost-efficient and functionally optimized mechatronic forearm prosthesis

This paper presents a prototype of a cost-efficient mechatronic forearm prosthesis. By simplifying the mechanical components and slimming down the functionality of the system to essentials, the prosthetic hand has a reduced system complexity and is therefore more robust and durable in daily use. The opposition of the thumb and fingers driven by an underactuated cable-pulley mechanism enables a simple and adaptive grasp, which is advantageous for executing activities of daily living (ADL). Moreover, the microcontroller-based myoelectric control of the grasp allows an intuitive manipulation improving the usability of the mechatronic system. These benefits are demonstrated under laboratory conditions by carrying out various ADLs and handling usual household objects with different size and shape.

Keywords

Prothetik, Myoelektrik, Myoelektrische Unterarmprothese, Kosteneffizienz, Alltagstauglichkeit

1 Einleitung

Einer aktuellen Statistik zufolge sind ca. 20000 Menschen in Deutschland von einem vollständigen oder partiellen Verlust von mindestens einem Arm betroffen [Sta17]. Der

Verlust der oberen Extremität durch angeborene Fehlbildung oder eine durch Trauma oder Krankheit indizierte Amputation stellt eine nachhaltige Beeinträchtigung der physischen und psychischen Integrität der Betroffenen dar und wirkt sich negativ und nachhaltig auf deren Alltag aus. Um die Bewältigung von Alltagsaufgaben zu erleichtern und damit die Betroffenen in ihrer Selbstständigkeit zu unterstützen, kommen Prothesen zum Einsatz. Auf dem Markt befindliche mechatronische Unterarmprothesen sind sowohl in ihrem Erscheinungsbild als auch in ihrer Kinematik stark an die menschliche Hand angelehnt und nutzen myoelektrische Signale, um komplexe Greifbewegungen zu steuern. Sie bieten aufgrund der hohen Anzahl an Freiheitsgraden eine Vielfalt an realisierbaren Greifformen, welche jedoch vom Anwender situationsabhängig anhand einer komplexen Taxonomie ausgewählt werden müssen. Für einen nutzbringenden Einsatz der innovativen Prothesen ist deshalb ein hoher Übungsaufwand von mehreren Monaten erforderlich. Die Kosten für die Versorgung mit solchen Prothesen liegen zudem im fünfstelligen Euro-Bereich [SPE13] und müssen in vielen Fällen von Patienten selbst übernommen werden. Interessant ist jedoch der explizite Wunsch der Anwender nach einem möglichst einfachen und intuitiv bedienbaren Hilfsmittel zur Unterstützung bei essentiellen Alltagsaufgaben [Bid07, Cor16, Moh17]. Hier weist der Lösungsansatz der erschwinglichen, dennoch effektiven Prothetik ein großes Potenzial auf. Kern dieses Lösungsansatzes ist die Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses durch eine gezielte Reduktion der Systemkomplexität [Yoo14]. Die vorangegangenen Prototypen zeigen jedoch hinsichtlich Sicherheit, Zuverlässigkeit sowie Alltagstauglichkeit noch Handlungsbedarf auf [Yoo16]. Dieser Beitrag präsentiert die Ergebnisse der Entwicklung sowie der ersten Evaluierung eines Prototyps einer weiterentwickelten, myoelektrisch gesteuerten Unterarmprothese und ist folgendermaßen aufgebaut: Im ersten Abschnitt wird zunächst erläutert, welche medizintechnischen Anforderungen bei der Ent-

wicklung einer kosten- und funktionsoptimierten Unterarmprothese priorisiert werden. Im Anschluss daran werden die Lösungskonzepte für die Subsysteme der mechatronischen Prothese und ihre Umsetzung dargestellt. Im letzten Abschnitt werden Vorgehensweise und Ergebnisse der ersten Evaluierung mit einem Prototyp und einem simulierten Nutzer zusammengefasst. Eine Diskussion über weiteren Handlungsbedarf sowie Lösungswege zur weiteren Optimierung der myoelektrischen Unterarmprothese schließen den Beitrag ab.

2 Entwicklung

Bei der Entwicklung eines nutzbringenden und akzeptierten Unterstützungssystems muss grundsätzlich ein ausgewogenes Kosten-Nutzen-Verhältnis angestrebt werden. Dieses Optimum ist nicht nur durch Reduzierung der Fertigungs- sowie Folgekosten erzielbar, sondern auch durch zuverlässige Erbringung des erforderlichen Nutzens bei möglichst geringerer Systemkomplexität.

Ein einfaches und erschwingliches Unterstützungssystem bringt keinen Nutzen, wenn es im Alltag nicht robust funktioniert. Ein komplexeres und teureres System ist ebenfalls nicht nutzbringend, wenn es nicht verfügbar ist oder im Alltag nicht genutzt wird, auch wenn die Anforderungen übertroffen werden. Das vorliegende Anwendungsbeispiel verfolgt deshalb einen Lösungsansatz, bei dem die Funktionalität, d.h. die Greiffähigkeit der Handprothese bewusst einfach gehalten, der Nutzen im Alltagskontext jedoch durch ihre zuverlässige und intuitive Bedienung in vollem Maße erbracht wird. Eine Anforderungsanalyse unter Berücksichtigung von Nutzerbefragungen und Studien aus der Literatur ergibt folgende technische Grundanforderungen [Chi92, Bid07, Kra15, Cor16, Moh17]:

- Einfaches, robustes und individuell anpassbares Gesamtsystem mit der mindestens erforderlichen Funktionalität
- Zuverlässiger, adaptiver und intuitiv bedienbarer Mechanismus zum Greifen unterschiedlicher Alltagsgegenstände

2.1 Robustheit durch Vereinfachung

Eine erhöhte Robustheit der Handprothese wird im Wesentlichen durch einen gezielten Verzicht auf zur Funktion der Prothese nicht zwingend erforderliche mechanische Komponenten sowie eine Vereinfachung der Aktorik erzielt. So wird u. a. auf Ring- und Kleinfinger verzichtet, die beim Greifen eine untergeordnete, zusätzlich stabilisierende Rolle spielen, sich jedoch negativ auf die Komplexität der Aktorik der Prothese auswirken [Bir08] (vgl. Abbildung 1). Das anthropomorphologische Erscheinungsbild der Ersatzhand wird dadurch beeinträchtigt, ist aber durch Einsatz eines epithetischen Überzugs wiederherstellbar.

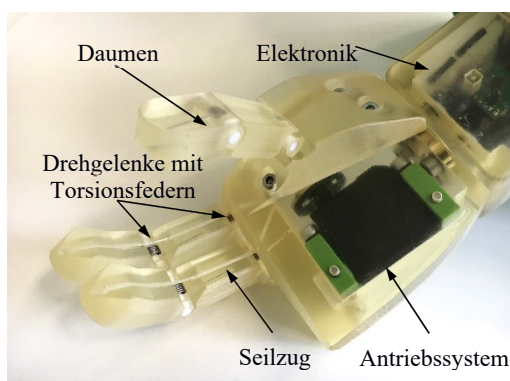


Abbildung 1: Mechanismus der Finger

Des Weiteren sind die medialen und distalen Fingerglieder anders als bei der menschlichen Hand gelenklos in einem Bauteil integriert. Die restlichen Glieder des Daumens und der zwei Langfinger sind jeweils über zwei reine Drehgelenke miteinander bzw. mit der Hand verbunden, sodass keine Ab- oder Adduktion der Finger möglich ist. Die Handprothese weist somit insgesamt sechs kinematische Freiheitsgrade auf. Die im Vergleich zur menschlichen Hand (insgesamt 22 Freiheitsgrade) deutlich verringerte Anzahl der Freiheitsgrade führt zur Einschränkung der Greifformen auf Kraftgriff und Fingerkuppenspitze-griff, damit gehen jedoch auch höhere Robustheit, geringeres Gewicht, längere Lebensdauer des Gesamtsystems sowie geringere Komplexität der Steuerung einher.

2.2 Adaptives Greifen

Für ein sicheres und adaptives Greifen verschiedener Objekte wird der auf einer nachgiebigen, unteraktuierten Seilzugkinematik basierende Mechanismus der vorangegangenen Prototypen weiterentwickelt [Yoo14]. Ein besonderer Vorteil der unteraktuierten Kinematik besteht in der reduzierten Anzahl der Antriebe und der damit verbundenen Einsparung des Bauraums bzw. Reduzierung des Gewichts. Dies wird durch die Steuerung aller sechs Freiheitsgrade der Hand (drei Finger mit jeweils zwei rotatorischen Freiheitsgraden) durch ein Antriebssystem mit nur einem rotatorischen Freiheitsgrad (Abtriebswelle des Servomotors) realisiert. Dadurch kann der Bauraumbedarf für das Antriebssystem reduziert werden. Darüber hinaus ist möglich, auf eine komplexe Steuerung bzw. Taxonomie zu verzichten, die einen erhöhten Übungsaufwand nach sich ziehen.

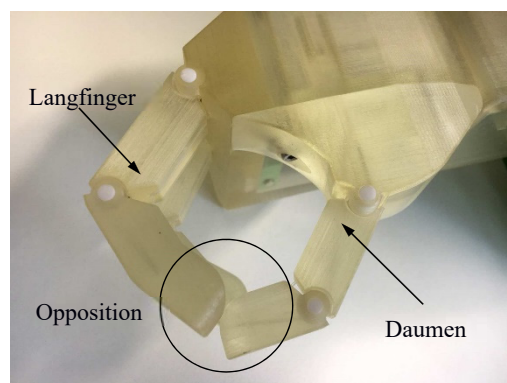


Abbildung 2: Opposition der Finger

Der Schwerpunkt der konstruktiven Optimierung liegt des Weiteren auf der Fingerstellung sowie der Klemmwirkung zwischen dem Daumen und den Langfingern. Eine wichtige Greifform für präzises Handhaben kleinerer Gegenstände ist der Fingerkuppenspitze-griff, welcher durch Opposition des Daumens zu den Langfingern entsteht (vgl. Abbildung 2). Dies ist u. a. durch eine abgewinkelte Stellung des proximalen Daumendrehgelenkes möglich (vgl. Abbildung 3, Winkel α).

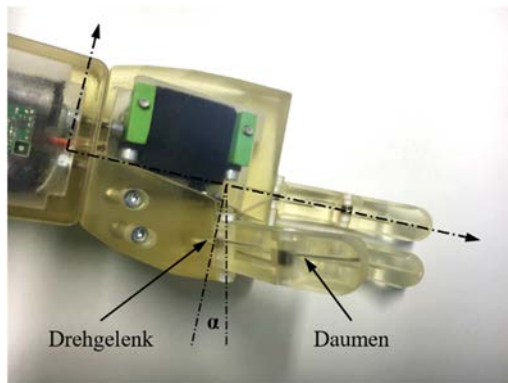


Abbildung 3: Abgewinkeltes Daumengelenk

Eine verbesserte Klemmwirkung wird durch eine differenzierte Kraftverteilung zwischen den opponierten Fingern sowie einer sukzessiven Beugung der Fingergelenke erreicht. Die drei durch die Fingerglieder mittig und innen-seitig verlaufenden Zugseile werden von einem zweistufigen Wickelrad angetrieben. Dieses ist so ausgelegt, dass der Daumen ebenso viel Kraft wirkt wie die gegenübergestellten Zeige- und Mittelfinger zusammen und damit die Kraftverteilung am Objekt ausgeglichen ist (vgl. Abbildung 1 sowie 4). Des Weiteren sind in jedem Finger zwei Torsionsfedern mit jeweils unterschiedlichen Federkonstanten in den Drehgelenken eingebaut. Diese Differenzierung der Gelenksteifigkeit führt dazu, dass sich das distale Fingerglied erst nach der vollständigen Drehung bzw. mechanischen Blockierung des proximalen Drehgelenkes dreht. Dieser Bewegungsablauf ähnelt dem der menschlichen Hand und trägt zum sicheren und adaptiven Greifen bei (vgl. Abbildung 4).

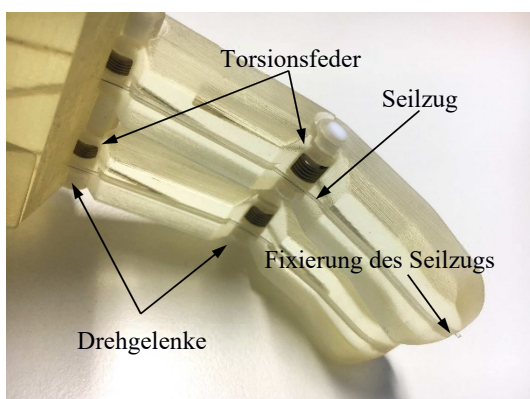


Abbildung 4: Detailansicht Seilzugkinematik

2.3 Aufbau eines Prototyps

Der Prototyp der mechatronischen Handprothese ist in Abbildung 5 dargestellt. Das Gesamtgewicht des Prototyps beträgt ca. 600 Gramm und entspricht damit dem Gewicht der menschlichen Hand, wobei eine weitere Gewichtsreduzierung durch Einsatz eines anderen additiven Fertigungsverfahrens in Kombination mit gewichtsoptimierten Bauteilen möglich ist.

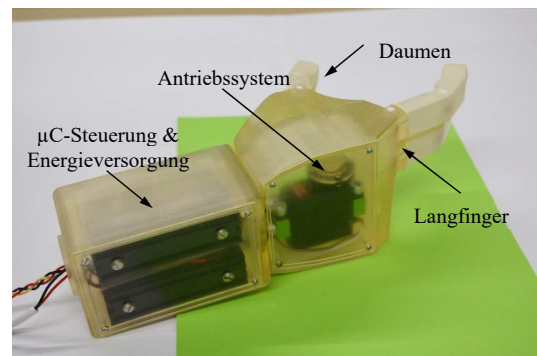


Abbildung 5: Prototyp der Handprothese

Die mechanischen Komponenten der Handprothese wurden mit Hilfe eines CAD Werkzeugs (NX 12.0, Siemens PLM Software Inc.) digital entworfen und mit einem Multijet3D-Drucker (Agilista-3200W, Keyence Corporation) physisch hergestellt worden. Die im Unterarm-Segment der Prothese eingebaute Elektronik besteht im Wesentlichen aus einem programmierbaren Mikrocontroller (Arduino Nano V3.3, Arduino), einem myoelektrischen Sensor (MyoWare 4. Generation, Advancer Technologies LLC) und zwei Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Typ 18650, Ansmann AG). Die aus einem Servomotor (Datan S1213, Adafruit) und dem Stufenrad bestehende Mechanik ist in der Hand eingebaut, um die Länge der Seilzüge möglichst kurz zu halten. Durch modulare Integration der Mechanik und der Elektronik nach Fertigstellung der Teilsysteme und gezielte Aufteilung der elektronischen Komponenten über den gesamten Bau-raum wird die Verteilung des Gewichtes optimiert und Wartungsarbeiten vereinfacht. Die Materialkosten für die Herstellung des Prototyps sind in Tabelle 1 nach Subsystemen aufgeschlüsselt. Weitere Kosten für die Herstellung der mechanischen Komponenten wie

z. B. die anteiligen Kosten für das 3D Druck-Material sowie Maschinenstunden- und Arbeitskosten variieren je nach Stückzahl und Fertigungsverfahren und müssen zusätzlich veranschlagt werden.

Tabelle 1: Materialkosten für den Prototyp

Komponente	Kosten [€]
Mikrocontroller	24,20
MyoWare EMG Sensor	39,95
Servomotor	22,99
Spannungswandler	9,95
Steckplatine	1,95
Kabel	6,99
Li-Ionen Akkumulatoren	21,90
Batteriehalter	11,00
Ladegerät	7,15
PTFE Stab	6,00
Verbindungselemente	12,73
Torsionsfedern	16,50
Nylonfaden	4,73
Gesamtkosten	186,04

3 Evaluierung

Um erste Erkenntnisse über die Funktionalität und die Alltagstauglichkeit zu gewinnen, wird die Unterarmprothese zunächst unter vereinfachten Bedingungen mit einem simulierten Nutzer erprobt. Hierfür wird der Prototyp bis auf den Schaft aufgebaut und vom Nutzer in der Hand gehalten. Des Weiteren wird der myoelektrische Sensor mit selbstklebenden Ag/AgCl-Elektroden für die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) bestückt und anschließend an den Unterarm des Nutzers angebracht. Darüber hinaus werden die Finger mit medizinischen Gummiüberzügen („Fingerlingen“) überstülpt, um den Reibungskoeffizienten an den Wirkflächen der Fingerglieder zu erhöhen und damit das Risiko des Abrutschens der Greifobjekte zu minimieren.

Die Evaluierung der mechatronischen Unterarmprothese wird in folgende drei Teile gegliedert: Zuerst wird die grundlegende Funktionalität der Handprothese, d. h. die myoelektrische Steuerung der Greifbewegung getestet.

Als nächstes erfolgt eine nähere Untersuchung der durchführbaren Greifformen auf Basis der Handhabung unterschiedlicher Alltagsgegenstände. Zuletzt wird die Handprothese auf ihre Alltagstauglichkeit erprobt, indem die Bewältigung alltagstypischer Aufgaben evaluiert wird.

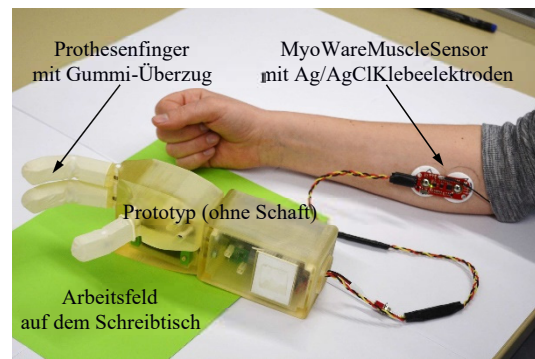


Abbildung 6: Aufbau der Laborerprobung

Der Funktionstest orientiert sich an der in [Lig02] beschriebenen Methodik „Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP)“, welche der Funktionsevaluierung pathologischer bzw. prothetischer Hände dient. Der Fokus liegt dabei auf der unilateralen Durchführung unterschiedlicher Handhabungsaufgaben sowie auf der Interpretation der Ergebnisse, die Rückschlüsse auf die funktionelle und ergonomische Effektivität von Prothesen ermöglicht.

Während der Evaluierung wird eine Videoaufnahme erzeugt, um den Ablauf der Greifbewegung genauer zu analysieren und die erforderliche Zeitdauer bis zur Erledigung der jeweiligen Aufgaben zu quantifizieren.

3.1 Myoelektrische Steuerung

Der Bewegungsablauf während des myoelektrisch gesteuerten Greifens gliedert sich in vier Phasen (vgl. Abbildung 7). In Phase I ist die Muskelgruppe am Unterarm entspannt und die Handprothese befindet sich in ihrer Ausgangsstellung. Auch in der offenen Stellung stehen die Finger aufgrund ihrer Konstruktion angewinkelt, sodass ein natürliches, anthropomorphologisches Bild entsteht.

In der anschließenden Phase II wird durch die Kontraktion der Unterarmmuskulatur wie z.

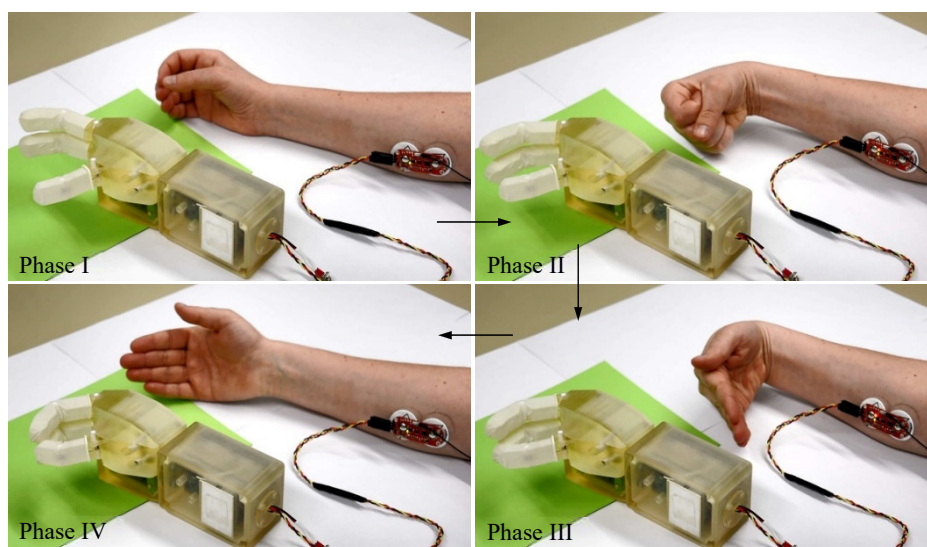


Abbildung 7: Ablauf der myoelektrisch gesteuerten Greifbewegung

B. bei dem Faustschluss oder der Palmarflexion die EMG-basierte Steuerung aktiviert und die Seilzugkinematik in Gang gesetzt. Die Finger bewegen sich dabei zunächst ausschließlich durch die Rotation im proximalen Gelenk bis die Fingerkuppen aufeinandertreffen. Erst wenn die Bewegung im proximalen Gelenk durch den mechanischen Anschlag gesperrt ist, dreht sich das distale Fingergelenk (Phase III) und die Hand schließt sich vollständig (Phase IV).

Eine erneute Kontraktion derselben Unterarmmuskulatur löst die Bewegungsphasen des Schließens in umgekehrter Abfolge aus und die Hand öffnet sich. Eine Unterbrechung der Schließ- oder Öffnungsbewegung ist durch das Entspannen der Muskulatur in allen Phasen möglich, sodass der Nutzer sich für die Aufrechterhaltung des Griffes nicht durchgehend anstrengen muss.

Tabelle 2: Liste der Greifobjekte

Objekt	Durchmesser [cm]	Gewicht [g]
Leere Metalldose	7	65
Leichtes Glas	6	200
Glas mit Wasser	7	450
Schwerer Krug	6	600
Getränkekarton	7	800
Dicker Farbstift	1,5	12
Dünnere Farbstift	1	7

Die Greifobjekte werden zunächst auf einem Schreibtisch, links des Arbeitsfeldes vor dem sitzenden Nutzer, aufgestellt. Während der Erprobung werden die Gegenstände gegriffen, angehoben und über das Arbeitsfeld nach rechts versetzt.

3.2 Greifen von Alltagsgegenständen

Bei der Auswahl der Alltagsgegenstände zur Evaluierung der Greiffähigkeit der Handprothese wird auf variierende Größe (äußerer Durchmesser), Form(-faktor) sowie Gewicht geachtet. Die für die Funktionserprobung herangezogenen Alltagsobjekte sowie ihre Spezifikationen sind in Tabelle 2 aufgeführt.



Abbildung 8: Greifen einer Metalldose

Der Nutzer ist problemlos in der Lage, die Alltagsgegenstände mit einem Durchmesser zwischen einem und sieben Zentimeter und einem Gewicht von über einem halben Kilogramm zu manipulieren (vgl. Abbildung 8 sowie 9). Dies ist insbesondere auf die Opposition des Daumens sowie die Klemmwirkung der durch die Seilzugkinematik angetriebenen Fingerglieder zurückzuführen.



Abbildung 9: Greifen eines Wasserglases

Bei Alltagsgegenständen mit einem vergleichsweise kleineren Durchmesser, wie z. B. einem dünnen Farbstift, bedarf der Nutzer mehrerer Versuche bis zum stabilen Griff (vgl. Abbildung 10). Trotz der adaptiven Kinematik und des dadurch ermöglichten Fingerkuppen-spitzgriffs ist die Kontaktfläche zum Objekt nicht ausreichend, um einen stabilen Griff zu realisieren. Eine mögliche Lösung hierfür ist der Einsatz eines weicheren, formflexiblen Werkstoffs für das distale Fingerglied.

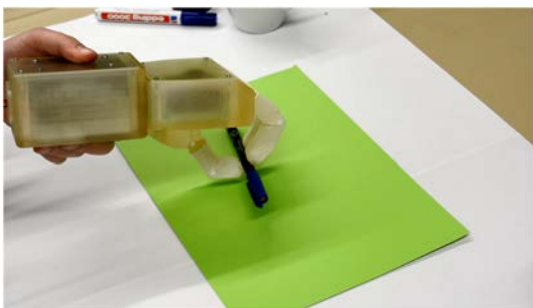


Abbildung 10: Greifen eines dünnen Stiftes

Das adaptive Verhalten der durch die Seilzugkinematik angetriebenen Fingerglieder spielt beim Greifen der Gegenstände eine entscheidende Rolle und trägt zur hohen Flexibilität der Greifbewegung bei. Abbildung 11 verdeutlicht den Vorteil der nachgiebigen Kinematik. Beim Greifen eines Glasdeckels und

anschließendem Aufschrauben beugen sich die Langfinger unabhängig voneinander, so dass der Mittelfinger zusammen mit dem Daumen den Deckel greift, während der Zeigefinger die Oberseite des Deckels lateral drückt und den Griff zusätzlich stabilisiert. Diese Charakteristik des Antriebs gewährleistet darüber hinaus, dass die Blockade eines einzelnen Fingers nicht direkt zum Fehlgriff führt.



Abbildung 11: Beispiel des adaptiven Greifens

Zusammenfassend führt die Handprothese die elementaren, für den Alltag relevanten Greifformen erfolgreich aus und hilft so dem Nutzer, beliebig geformte und unterschiedlich schwere Alltagsgegenstände zu handhaben. Entscheidend ist dabei, dass die zwei elementaren Greifformen nach Napier – der Kraftgriff (Klemmen von Gegenständen zwischen Fingern und Handfläche) sowie der Feingriff (Klemmen von Gegenständen zwischen Langfingern und Daumen) – möglich sind [Nap65]. Um auch ein stabiles Greifen filigraner, dünner (flacher) Gegenstände zu ermöglichen bedarf es einer konstruktiven Optimierung der distalen Fingerglieder sowie einer Erhöhung des Reibkoeffizienten an den Fingerkuppen, z. B. durch Verwendung eines anderen Werkstoffs.

3.3 Durchführung von Alltagsaufgaben

Im Anschluss an die Handhabung verschiedener Gegenstände wird ein weiterer Test im Alltagskontext durchgeführt, um Erkenntnisse über die Alltagstauglichkeit zu gewinnen. Hier versucht der simulierte Nutzer mit Hilfe der Handprothese verschiedene ADL zu erledigen. Die in Anlehnung an SHAP ausgewählten, repräsentativen Alltagsaufgaben sowie

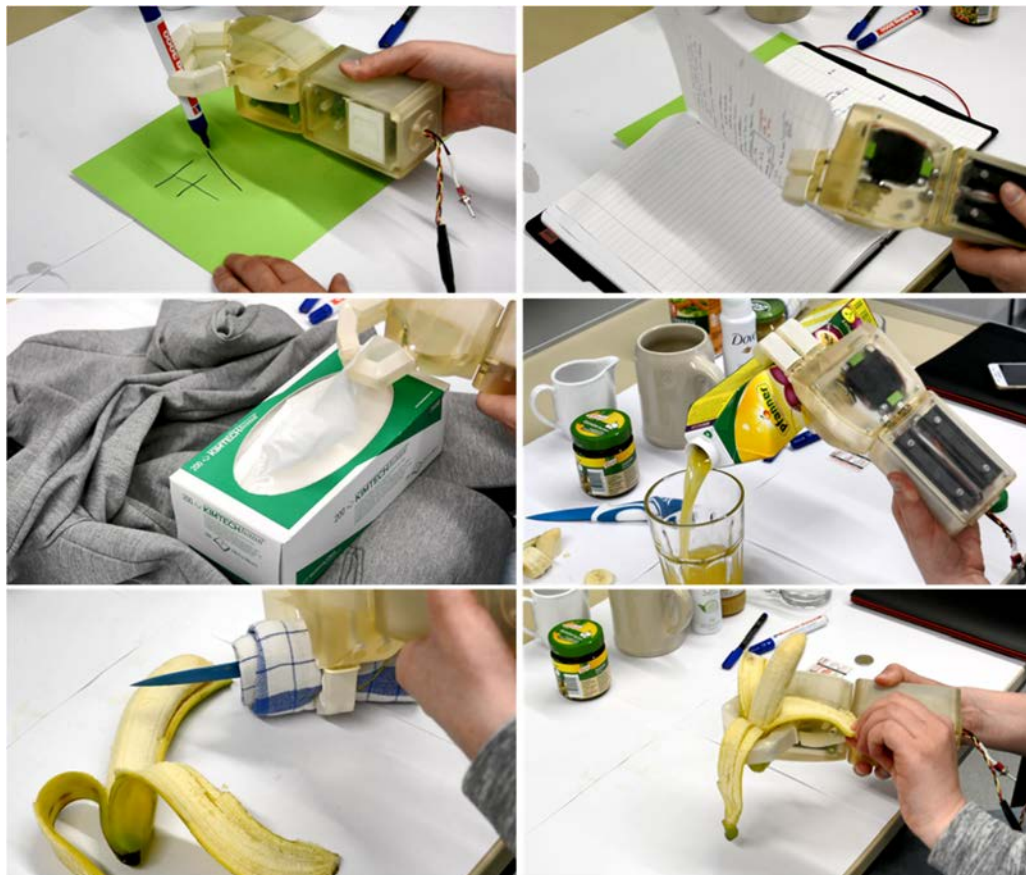


Abbildung 12: Durchführung verschiedener ADL

die anhand der Videoaufnahme nachträglich analysierte Zeitdauer vom Beginn bis zum Ende der Aufgaben sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Liste der ADL

Alltagsaufgabe	Zeitdauer [s]
Kosmetiktuch herausziehen	< 5
Buch umblättern	< 5
Krug am Henkel greifen	< 5
Deckel aufschrauben	< 10
Einkaufstasche anheben	< 10
Jacke aufknöpfen	< 15
aus Glas eingießen	< 15
Münze aufheben	< 20
Schriftzug „FAPS“ schreiben	< 20
aus TetraPak eingießen	< 30
mit Messer schneiden	< 60

Die Ergebnisse der alltagsnahen Erprobung der Handprothese zeigen, dass die für eine Selbstständigkeit im Alltag essentiellen Alltagsaufgaben mit Hilfe der Handprothese überwiegend mühelos und in angemessener Zeit bewältigt werden können (vgl. Abbildung 12).

Gegenstände mit dünnem Formfaktor wie z. B. Münzen und Visitenkarten, welche flach auf dem Schreibtisch liegen, sind jedoch aufgrund der abgerundeten Fingerkuppen nicht direkt greifbar. In solchen Fällen ist für ein sicheres Greifen eine zusätzliche, kompensierende Hilfsbewegung erforderlich, um das Objekt an den Schreibtischrand zu schieben und anschließend zwischen die Fingerspitzen zu klemmen (vgl. Abbildung 13).

Eine solche Kompensationsbewegung kann im tatsächlichen Anwendungsfall aufgrund der rigiden Fixierung der Prothese am Stumpf über einen Schaft zu einer umständlichen Verrenkung der oberen Extremität führen. Hier besteht noch großer Handlungsbedarf bzgl. der Ergonomie.

Im Übrigen ist es je nach Objektform erforderlich, die Außenkontur des Gegenstands mit zusätzlichen Hilfsmitteln wie Griffhelfern (vgl. Aufgabe „mit Messer schneiden“ in Abbildung 12) zu verstärken, um den Griff zu stabilisieren.

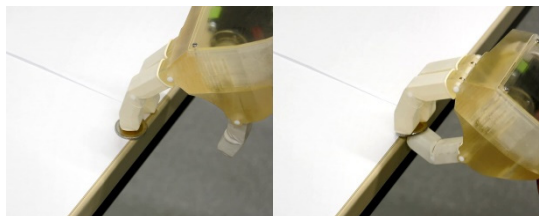


Abbildung 13: Greifen flacher Objekte

Auch wenn bestimmte Greifformen wie z.B. der laterale Spitzgriff („Schlüsselgriff“) aufgrund des bewussten Verzichtes auf das bewegliche Daumensattelgelenk nicht durchführbar sind, ist es möglich, die nach Light das Potenzial des Lösungsansatzes, den Nutzen den spezifischen Greifformen korrelierten zu der Handprothese trotz der gezielten Veraufgaben zu erledigen [Lig02]. Dies belegt einfachung des Systems zu erhalten.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Prototyp einer myoelektrisch gesteuerten Unterarmprothese mit einem ausgeglichenen Kosten-Nutzen-Verhältnis wurde erfolgreich realisiert und evaluiert. Die wesentlichen Alleinstellungsmerkmale der myoelektrisch gesteuerten Unterarmprothese sind die Kosteneffizienz, die Robustheit, die Benutzerfreundlichkeit sowie die Individualisierbarkeit. Durch eine gewollte Beschränkung der Funktionalität auf die im Nutzungskontext relevante Greiffunktion werden die Systemkomplexität und damit einhergehend auch die Kosten gesenkt. Der neuartige Antrieb zur kraftdifferenziellen Betätigung der Seilzugkinematik ermöglicht eine weniger fehleranfällige, adaptive Greifbewegung bei geringerem Gewicht. Die Abbildung der natürlichen Stellung und Bewegung der menschlichen Hand sowie die intuitive und einfache Bedienung können die Nutzerakzeptanz erhöhen. Die mechanischen Komponenten wie die Fingerglieder und der Schaft werden aus digitalen Daten additiv gefertigt und sind dadurch mit geringerem Aufwand individualisierbar.

Die Evaluierung der prototypischen Handprothese auf ihre Alltagstauglichkeit liefert positive Ergebnisse. Mit der Handprothese ist der simulierte Nutzer in der Lage, verschiedene Alltagsobjekte mit unterschiedlichen Formfaktoren und Gewichten – von einer Konservendose über einen Farbstift bis hin zu einer Münze – zu greifen und zu bewegen. Die Opposition des Daumens zu den Langfingern spielt dabei eine entscheidende Rolle, insbesondere für die Handhabung filigraner Objekte mit dünnem Formfaktor. Darüber hinaus ermöglicht die Unterarmprothese aufgrund der adaptiven Kinematik und der daraus resultierenden Vielfalt der Greifformen die Erledigung von Alltagsaufgaben wie Eingießen von Flüssigkeiten oder Aufschrauben eines Deckels. Somit wird der potenzielle Nutzen im Alltagskontext veranschaulicht. In den nächsten Schritten sollte die Funktionalität der Handprothese durch potenzielle Anwender evaluiert und iterativ optimiert werden. Wichtige Fragestellungen sind dabei, inwiefern die mechatronische Unterarmprothese in Hinsicht auf ihre Funktion, Sicherheit, Handhabbarkeit sowie Alltagstauglichkeit leistungsfähig ist und welche Funktionserweiterungen sowie -minimierungen zur optimalen Erfüllung der Nutzeranforderungen notwendig sind.

Die Fertigungskosten für derartige Handprothesen belaufen sich auch mit den 3D-gedruckten mechanischen Komponenten bereits ab einer Stückzahl von eins auf etwa einem Hundertstel der Kosten für eine hochentwickelte, myoelektrisch gesteuerte Handprothese auf dem Markt. Selbstverständlich fallen zusätzliche hohe Kosten an, um den Prototyp in Hinsicht auf Sicherheit und Funktionalität zur Marktreife zu bringen, den Nutzen durch klinische Studien aufzuzeigen und diese im Rahmen eines Konformitätsbewertungsverfahrens nachzuweisen. Dennoch zeigt die Evaluierung des Prototyps im Alltagskontext die Machbarkeit sowie das Potenzial der erschwinglichen und effektiven Prothetik auf. Der zugrundeliegende Lösungsansatz, das Kosten-Nutzen-Verhältnis eines Unterstützungssystems durch technisch und wirtschaftlich effiziente Erbringung des für den Anwender relevanten Nutzens zu verbessern, erweist

sich somit als umsetzbar. Dieser Effekt verstärkt sich durch den Einsatz neuer, immer erschwinglicher werdender Fertigungstechnologien wie dem 3D-Druck, welcher eine flexible Anpassung des Unterstützungssystems an die individuellen Bedürfnisse des Nutzers ermöglicht. Der hier am Beispiel der kosteneffizienten Handprothese demonstrierte Lösungsweg ist gerade im Hinblick auf die Kostenexplosion im Gesundheitswesen von Interesse.

Literatur

- [Bid07] E. Biddiss und T. Chau: Upper-limb prosthetics: Critical factors in device abandonment. In: American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 86.12, S. 977-987, 2017.
- [Bir08] L. Birglen, C. Gosselin und T. Laliberté: Underactuated robotic hands. Bd. 40. Springer Tracts in Advanced Robotics. Springer, 2008.
- [Chi92] D. S. Childress: Upper-limb prosthetics: Control of limb prostheses. In: Atlas of limb prosthetics: Surgical, prosthetic, and rehabilitation principles. Hrsg. von J. W. Michael und J. H. Bowker. Mosby Year Book, Kap. 6D, 1992.
- [Cor16] F. Cordella, A. L. Ciancio, R. Sacchetti, A. Davalli, A. G. Cutti, E. Guglielmelli und L. Zollo: Literature review on needs of upper limb prosthesis users. In: Frontiers of Neuroscience 10.209, 2016.
- [Kra15] M. Kraft, W. Rossdeutscher, B. Greitemann, L. Brückner, K.-P. Hoffmann, H. Bötten, S. Oehler und J. Thiele: Gliedmaßenprothetik. In: Biomedizinische Technik - Rehabilitationstechnik. Hrsg. von M. Kraft und C. Disselhorst-Klug. Berlin: De Gruyter, S. 105–212, 2015.
- [Lig02] C. M. Light, P. H. Chappell und P. J. Kyberd: Establishing a standardized clinical assessment tool of pathologic and prosthetic hand function: Normative data, reliability, and validity. In: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 83.6, S. 776-783, 2002.
- [Moh17] A. Mohammadi, J. Lavranos, R. Howe, P. Choong und D. Oetomo: Grasp specific and user friendly interface design for myoelectric hand prostheses. In: IEEE-RASEMBS International Conference on Rehabilitation Robotics, S. 1621-1626, 2017.
- [Nap65] J. R. Napier: The prehensile movements of the human hand. In: Journal of Bone and Joint Surgery 3.4, S. 902-913, 1965.
- [SPE13] SPECTARIS – Deutscher Industrieverband für optische, medizinische und mechanische Technologien e.V.: Handprothesensystem mit natürlicher Greifbewegung zur exoprothetischen Versorgung der oberen Extremitäten. In: Potenziale innovativer Medizintechnik – Innovative Medizintechnik mit verbesserter Kosten-Nutzen-Relation vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, S. 5965, 2013.
- [Sta17] Statistisches Bundesamt: Schwerbehinderte Menschen am 31.12.2017 nach Art der schwersten Behinderung und Altersgruppen. In: Statistik der schwerbehinderten Menschen - Kurzbericht, S. 20, 2017.
- [Yoo14] I. S. Yoo, F. Hawelka, S. Reitelshöfer und J. Franke: Kostenminimierte, additiv gefertigte Handprothese für den Einsatz in Entwicklungsländern. In: Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema "Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen". Hrsg. von R. Weidner und T. Redlich, S. 410-419, 2014.
- [Yoo16] I. S. Yoo, M. Peipp und J. Franke: Systematische Risikobewertung für eine additiv gefertigte, kosteneffiziente Handprothese. In: Zweite Transdisziplinäre Konferenz "Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen". Hrsg. von R. Weidner, S. 401-410, 2016.

Einsatz von echtzeitfähigen medizinischen Assistenzsystemen im häuslichen Umfeld: Anwendungsfall Gang

K.-C. Broscheid, C.-H. Chen, S. Stoutz und L. Schega

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Bereich Sportwissenschaft
kim.broscheid@ovgu.de, sebastian.stoutz@ovgu.de, chien-hsi.chen@ovgu.de,
lutz.schega@ovgu.de

Kurzzusammenfassung

In ländlichen oder strukturschwachen Regionen ist die ärztliche Versorgung nicht immer gewährleistet oder mit hohem Aufwand verbunden. Zusätzlich ist die Mobilität der Patienten – insbesondere bei älteren Menschen – häufig eingeschränkt. Um Veränderungen des Gangverhaltens frühzeitig detektieren zu können, ist deshalb ein Monitoring im häuslichen Umfeld beziehungsweise in Alltagssituationen sinnvoll. Im oben genannten Teilprojekt des Gesamtvorhabens *fast care* werden dementsprechend Inertialsensoren zur Detektion des Ganges eingesetzt und auf ihre Messgenauigkeit und Usability geprüft. Da im häuslichen Umfeld oft nur kleine Flächen zur Verfügung stehen, werden ebenfalls Routinen/Protokolle evaluiert, die bereits bei kurzen Gehstrecken eine Auswertung ermöglichen.

Abstract

Real-time home-based medical assistance systems: use case gait

In rural or economically underdeveloped areas, the medical resources may not be sufficient and come with high cost. Additionally, the mobility of patients – especially in the elderly population – is often constrained. Therefore, a complete solution to monitor the early changes of gait patterns in the daily-living situations would be beneficial. Considering the relatively limited spaces in a home environment, the feasibility of selected inertial measurement units (IMU) and a series of gait analysis with short distances were evaluated in this study.

Keywords

AAL, Gang, Monitoring, IMU

1 Einleitung

Heutzutage ist die medizinische Versorgung in ländlichen Räumen oder in strukturschwachen Regionen häufig nicht ausreichend abgesichert und mit einem hohen Aufwand für Patient und Arzt verbunden [Bun14]. Bedingt durch den demografischen Wandel und die damit einhergehende Zunahme von Multimorbiditäten und der Chronifizierung im Alter steigt demgegenüber u.a. der Bedarf an fachärztlichen Behandlungen. Mit zunehmendem Alter, bei Verletzung und bei Erkrankung nimmt vor allem die Gangunsicherheit zu, die weiterführend das Sturzrisiko erhöht, zu Beeinträchtigungen der sogenannten Aktivitäten des täglichen Lebens führt und nicht zuletzt die individuelle Lebensqualität mindert [Hil99, Kan05,

Ver06]. Die Mobilität von Patienten und älteren Menschen ist demnach maßgeblich durch diese Gangunsicherheiten eingeschränkt und der Weg zum Arzt oder Therapeuten kann nicht immer aus eigener Kraft bewältigt werden [Kru02].

Um diese Versorgungslücke zu schließen, haben sich durch die fortschreitende Digitalisierung mehrere zielführende Ansätze entwickelt. Ein Ansatz ist das Monitoring im häuslichen Umfeld und in Alltagssituationen, um Veränderungen des Gangverhaltens frühzeitig detektieren zu können [Amb13, Cru17, Gan07, Rub02].

Die in der klinischen Umgebung eingesetzten Systeme zur Datenerfassung lassen sich jedoch selten in das häusliche Umfeld implementieren (Kosten, Bedienung, kontrollierte Umgebung) [Rei12]. Demgegenüber nimmt das Angebot an Applikationen und unterstützenden Systemen, im Sinne von Ambient Assisted Living (AAL), stetig zu und es ist durchaus denkbar, dass die flächendeckende Bereitstellung derartiger Systeme die medizinische Versorgung vereinfachen beziehungsweise verbessern könnte. Beim Einsatz alternativer Systeme im Rahmen der Rehabilitation wurden zum Beispiel positive Effekte von häuslichen Nachsorgeprogrammen berichtet [Gal08, Zid10]. Zudem sind positive Ergebnisse Kinect-gestützter Übungsprogramme in Bezug auf die Balance und das Gangbild - insbesondere bei älteren Menschen - dokumentiert [Gar16, Sat15]. Es gibt jedoch für viele dieser Systeme keine ausreichenden Nachweise über deren Wirksamkeit. Insbesondere wurden Langzeit-Effekte, Akzeptanz sowie Nutzen und Risiken dieser digitalen Systeme bisher nur unzureichend aufgeklärt. In Bezug auf die Kommunikation bzw. Datenaustausch zwischen Patient und Versorger (Arzt, Klinik, Rehabilitationseinrichtung, etc.) wird deutlich, dass eHealth-Anwendungen eine sinnvolle Ergänzung darstellen können [Gig16, Dic15, Wan16].

Das Projekt *fast care* (Echtzeitfähige medizinische Assistenzsysteme, BMBF; <https://de.fast-zwanzig20.de/gesundheits/fast-care/>) setzt genau an dieser Stelle an und arbeitet an der Konzeption und Entwicklung einer ad-hoc-vernetzten echtzeitfähigen Sensorinfrastruktur mit Latenzzeiten unter 10 msec, die im Bereich AAL und eHealth eingesetzt werden kann. Im Gesamtvorhaben *fast care* werden patientenbezogene Konzepte für die Bereiche Diagnostik, Monitoring und Therapie/Bewegung in der Rehabilitation entwickelt, evaluiert und implementiert (Abb. 1). Das Vorhabenziel ist darauf orientiert, sowohl für das häusliche Umfeld des Patienten/Nutzers als auch für den behandelnden Arzt echtzeitfähig Informationen zu den kinematischen,

kognitiven und physiologischen Parametern bereitzustellen.

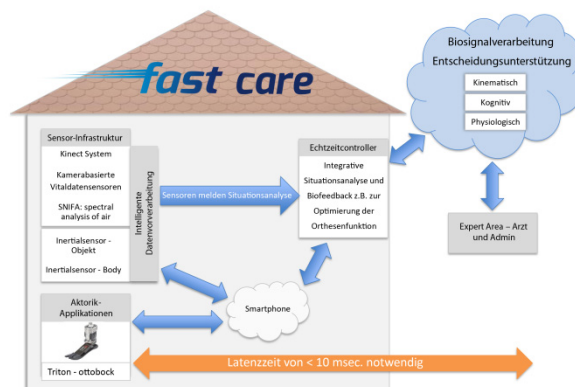


Abbildung 1: *fast care* - schematische Darstellung

An der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU), als einem von insgesamt acht Projektpartnern, wird der Einsatz von Inertialsensoren zur Aufnahme des Gangverhaltens im häuslichen Umfeld evaluiert. Ziel ist es, Gangdaten im direkten Alltag der Patienten zu erheben und dem Arzt und/oder Therapeuten in Echtzeit zur Verfügung zu stellen, um auftretende Veränderungen frühzeitig detektieren zu können. Im Fokus der Ganganalyse stehen vor allem die Mittelwerte der Doppelschrittlänge (DSL) und der minimale Zehenabstand (MTC). Diese Gangparameter bzw. deren Variabilität sind nachgewiesenermaßen gute Indikatoren für die Beurteilung der Gangsicherheit und damit für das individuelle Sturzrisiko [Ham11, Ham14b].

Um die Variabilität dieser Parameter jedoch reliabel erfassen zu können, ist in der Regel bisher eine Mindestanzahl von 100 auswertbaren Schritten notwendig [Hol10]. Da Schritte der Be- und Entschleunigungsphasen nicht in die Auswertung eingehen, sind längere gerade Strecken vorteilhaft. Im häuslichen Umfeld stehen diese allerdings selten zur Verfügung. Daraus ergibt sich die Herausforderung, ein Protokoll zu evaluieren, das sowohl für die Sensorik valide Ergebnisse liefert als auch eine ausreichende Anzahl an Schritten für eine reliable Parameterberechnung erfasst.

Zur Umsetzung dieser herausfordernden Auf-

gabe erfolgt im Rahmen der Studie die Evaluation von kostengünstigen und energieeffizienten Inertialsensoren (BHI160, Bosch Sensortec, Deutschland), um die Validität und Nutzbarkeit für das häusliche Umfeld sicherzustellen.

2 Methodik

In dieser Studie wurden daher zwei Bedingungen zum Gehen (A = 2 x 15 m; B = 5 x 6 m) mit einer Gesamtstrecke von 30 m überprüft. Die kurze Gehstrecke (Bedingung B) reflektiert dabei die Anforderungen des häuslichen Umfelds. Eine kürzere Strecke ermöglicht, aufgrund der daraus resultierenden zu geringen Schrittzahl, keine Berechnung der angezielten Gangparameter (DSL und MTC).

Beide Gehstrecken (A und B) wurden von einer Person (ohne orthopädische Einschränkungen) jeweils 30-mal absolviert. Dazu wurden die Inertialsensoren von Bosch parallel mit dem vorhandenen Referenzsystem von Xsens (Awinda MTW, Xsens Technologies B. V., The Netherlands) auf dem Fußrücken (links und rechts) befestigt. Die Beschleunigung, Drehrate und Orientierung im Raum wurden erfasst und die Mittelwerte für die DSL und den MTC mit den in Matlab (2017b, The MathWorks, Inc., United States) implementierten Algorithmen berechnet [Ham14a]. Zur Bewertung der Vergleichbarkeit beider Inertialsensor-Systeme über beide Bedingungen wurden sowohl Korrelationskoeffizienten ermittelt als auch das Bias und die Limits of Agreement (LoA) nach Bland und Altman [Bla86, Bla99]. Spannweiten der LoA von unter 10 cm für die DSL und kleiner als 0.5 cm für die MTC – unter der Voraussetzung von geringen Bias – entsprechen der Annahme einer hinreichenden Vergleichbarkeit.

3 Ergebnisse

Für die Bedingung A im Vergleich zur Bedingung B zeigen beide Inertialsensoren für beide Beinseiten höhere Werte für den Mittelwert der DSL (Bedingung A (links/rechts): Xsens 1.55 ± 0.02 m/ 1.56 ± 0.02 m; Bosch 1.44 ± 0.01 m/ 1.47 ± 0.01 m / Bedingung B: Xsens 1.36 ± 0.03 m/ 1.42 ± 0.04 m; Bosch $1.34 \pm$

0.03 m/ 1.40 ± 0.04 m). Diese Unterschiede sind signifikant ($p < 0.05$) für alle geprüften Kombinationen (Beinseite, Sensor).

Im Gegensatz zur DSL kann für den MTC kein signifikanter Unterschied (bezogen auf die Bedingungen) festgestellt werden (Bedingung A (links/rechts): Xsens 0.023 ± 0.002 m/ 0.026 ± 0.003 m; Bosch 0.014 ± 0.001 m/ 0.021 ± 0.002 m / Bedingung B Xsens 0.019 ± 0.002 m/ 0.028 ± 0.004 m; Bosch 0.015 ± 0.003 m/ 0.017 ± 0.003 m). Für beide Gangparameter ist aber auffällig, dass die mit den Xsens-Sensoren gemessenen Werte größer sind als die der Bosch-Sensoren.

Die Ergebnisse der LoA-Analyse zeigen für die Bedingung A, dass der Bias der DSL in für die linke Seite (0.115 ± 0.017 m) und für die rechte Seite (0.092 ± 0.018 m) sehr hoch ist. Im Vergleich dazu sind die Werte für die Bedingung B relativ gering (links/rechts: 0.019 ± 0.010 m/ 0.024 ± 0.013 m). Auch für das Bias des MTC kann keine eindeutige Tendenz zwischen den Bedingungen festgestellt werden (Bedingung A (links/rechts): 0.010 ± 0.002 m/ 0.005 ± 0.004 m / Bedingung B: 0.004 ± 0.003 m/ 0.010 ± 0.004 m). Die LoA-Bereiche variieren von 0.039 m (linkes Bein, Bedingung B) bis 0.071 m (rechtes Bein, Bedingung A) für die DSL und 0.009 m (linkes Bein, Bedingung A) bis 0.015 m (rechtes Bein, Bedingung A) für den MTC.

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen im Vergleich der Bedingungen A und B stark voneinander abweichende Bias. In der Bedingung A sind die Bias mit 9.2 und 11.5 cm bei der DSL sehr hoch und in Bedingung B mit 2 cm akzeptabel. Es wird vermutet, dass dieser hohe systematische Fehler auf den Bosch-Sensor zurückzuführen ist, da Xsens als Goldstandard zur Bewegungserfassung mittels Inertialsensorik betrachtet werden kann. Eine mögliche Ursache dafür könnte eine sogenannte Drift sein, die sich auf der längeren Distanz deutlicher in den Ergebnissen niederschlägt. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Bias auf kürzeren Distanzen durch die regelmäßigen Richtungsänderungen aufheben könnte. Dadurch würde

sich auch das wesentlich kleinere und durchaus vertretbare Bias in Bedingung B erklären lassen. Eine differenzierte Überprüfung der Bedingung A, also der Gehstrecke von zweimal 15 m, könnte Aufschluss darüber geben, worauf der hohe systematische Fehler basiert. Eine Möglichkeit zur Prüfung dieses Sachverhaltes bietet die mehrfache Unterteilung der Gehstrecke. So ließe sich kontrollieren, ob sich die Sensoren hinsichtlich der Gangparameter schon auf einer kurzen Distanz unterscheiden bzw. ob das Bias genauso groß ist wie zum Ende der 15 m Strecke. Auf diesem Wege könnte eine Erklärung für die vorherigen Ergebnisse ermittelt werden.

Die zu beobachtenden signifikanten positiven Korrelationen zu den Bedingungen (A: DSL, links; MTC, beide Seiten und B: DSL, rechts) zwischen den Mittelwerten der DSL bzw. dem MTC und den Differenzen zwischen den beiden Systemen legen nahe, dass der Bias mit zunehmender Schrittlänge ansteigt. Da diese Korrelation in Bedingung B nur einmal zu beobachten ist und eine kürzere Schrittlänge erzielt wird, ist der Einsatz der Bosch-Sensoren, insbesondere in Szenarien mit begrenztem Raum, durchaus vertretbar, da das Bias und die Spannweiten der LoA verhältnismäßig gering ausfallen.

5 Ausblick

Um den Einsatz der Bosch-Sensoren weiterführend abzusichern, werden die vorliegenden Daten zusätzlichen Überprüfungen unterzogen sowie die Datenlage mittels einer Kohortenstudie verbessert. Abschließend fließen die Erkenntnisse zur Ganganalyse in das Gesamt-szenario ein, d.h. es findet eine Integration der Beispielapplikationen und technischen Komponenten aller Projektpartner innerhalb eines Mensch-Technik-Interaktionslabors statt. Dieses ist als Demonstratorszenario angelegt und erlaubt die multimodale Datenerfassung, die Zusammenführung und Visualisierung der erfassten kinematischen, physiologischen und kognitiven Parameter sowie die abschließende Prüfung der Teilkomponenten auf Zuverlässigkeit.

Für die Überführung in die Lebenswelt der Nutzer besteht weiterhin die Notwendigkeit, die zielgruppenspezifische Anpassung sowie die Nutzerakzeptanz zu evaluieren. Voraussetzung für eine entsprechende Überführung ist die anwenderfreundliche und möglichst unauffällige Integration der Sensorik in den Alltag der Nutzer. In diesem Zuge stellen die Miniaturisierung und die Verbesserung des Nutzerkomforts weitere Projekte im Kontext von *fast care* dar.

Literatur

- [Amb13] A. F. Ambrose, G. Paul und M. J. M. Hausdorff: Risk factors for falls among older adults: A review of the literature. In: *Maturitas* 75 (1), S. 51-61, 2013.
- [Bla86] J. M. Bland und D. G. Altman: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. In: *Lancet* 1 (8476), S. 307-10, 1986.
- [Bla99] J. M. Bland und D. G. Altman: Measuring agreement in method comparison studies. In: *Statistical methods in medical research* 8 (2), S. 135-160, 1999.
- [Bun14] Bundesministerium für Gesundheit. Ambulante Versorgung. Ärztliche Versorgung. 2014, Zugriff unter <http://www.bmg.bund.de/themen/krankenversicherung/ambulante-versorgung/aerztliche-versorgung.html>.
- [Bro18] K.-C. Broscheid, S. Stoutz, C.-H. Chen und L. Schega: The potential of a home-based gait evaluation system with a new low-cost IMU: A pilot study. Poster präsentiert an der Health Across Lifespan 2018, Magdeburg, Deutschland. Abstract verfügbar unter https://www.hal2018.de/fileadmin/congress/media/hal2018/druckelemente/HAL2018_Programme.pdf.
- [Cru17] M. Cruz-Jimenez: Normal Changes in gait and Mobility Problems in the Elderly. In: *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* Vol. 28 (4), S. 713-725, 2017.

- [Dic15] B. Dicianno, B. Parmanto, A. D. Fairman, T. M. Crytzer, D. X. Yu und G. Pramana: Perspectives on the evolution of mobile (mHealth) technologies and application to rehabilitation. In: *Physical therapy* 95 (3), S. 397-405, 2015.
- [Gal08] M. P. Galea, P. Levinger, N. Lythgo, C. Cimoli, R. Weller, E. Tully, Joan McMeeken und R. Westh: A targeted home- and center-based exercise program for people after total hip replacement: a randomized clinical trial. In: *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89 (8), S. 1442-1447, 2008.
- [Gan07] D. A. Ganz, Y. Bao, P. G. Shekelle und L. Z. Rubenstein: Will My Patient Fall? In: *Journal of the American Medical Association* 297 (1), S. 77-86, 2007.
- [Gar16] J. A. Garcia, D. Schoene, S. R. Lord, K. Delbaere, T. Valenzuela und K. F. Navarro: A Bespoke Kinect Stepping Exergame for Improving Physical and Cognitive Function in Older People: A Pilot Study. In: *Games for Health* 6 (5), S. 382-388, 2016.
- [Gig16] G. Gigerenzer, K. Schlegel-Matthies und G. G. Wagner: Digitale Welt und Gesundheit. eHealth und mHealth – Chancen und Risiken der Digitalisierung im Gesundheitsbereich. Berlin: Sachverständigenrat für Verbraucherfragen beim Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2016.
- [Ham11] D. Hamacher, N. B. Singh, J. Van Dieen, M. Heller und W. R. Taylor: Kinematic measures for assessing gait stability in elderly individuals: a systematic review. In: *J R Soc Interf* 8(65), S. 1682-1698, 2011.
- [Ham14a] D. Hamacher, D. Hamacher, W. R. Taylor, N. B. Singh und L. Schega: Towards clinical application: repetitive sensor position re-calibration for improved reliability of gait parameters. In: *Gait & Posture* 39 (4), S. 1146-1148, 2014.
- [Ham14b] D. Hamacher, D. Hamacher und L. Schega: Towards the importance of minimum toe clearance in level ground walking in a healthy elderly population. In: *Gait & posture* 40 (4), S. 727-729, 2014.
- [Hil99] K. Hill, J. Schwarz, L. Flicker und S. Carroll: Falls among healthy, community-dwelling, older women: A prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. In: *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 23, S. 41-48, 1999.
- [Hol10] J. H. Hollman, K. B. Childs, M. L. McNeil, A. C. Mueller, C. M. Quilter und J. W. Youdas: Number of strides required for reliable measurement of pace, rhythm and variability parameters of gait during normal walking and dual task walking in older individuals. In: *Gait & Posture* 32 (1), S. 23-28, 2010.
- [Kan05] P. Kannus, S. Niemi, M. Palvanen und J. Parkkari: Rising incidence of fall-induced injuries among elderly adults. In: *Journal of Public Health* 13, S. 212-215, 2005.
- [Kru02] A. Kruse, E. Gaber, G. Heuft, P. Oster, S. Re und F. Schulz-Nieswandt: Gesundheit im Alter (Gesundheitsberichterstattung des Bundes, H. 10). Berlin: Robert-Koch-Institut, 2002.
- [Rei12] I. H. F. Reininga, M. Stevens, R. Wagenmakers, S. K. Bulstra, J. W. Groothoff und W. Zijlstra: Subjects with hip osteoarthritis show distinctive patterns of trunk movements during gait-a body-fixed-sensor based analysis. In: *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9, 3, 2012.
- [Rub02] L. Z. Rubenstein und K. R. Josephson: The epidemiology of falls and syncope. In: *Clinics in Geriatric Medicine* 18 (2), S. 141-158, 2002.
- [Sat15] K. Sato, K. Kuroki, S. Saiki und R. Nagatomi: Improving Walking, Muscle Strength, and Balance in the Elderly with an Exergame Using Kinect: A Randomized Controlled Trial. In: *Games for Health* 4 (3), S. 161-167, 2015.

- [Ver06] J. Verghese, A. LeValley, C. B. Hall, M. J. Katz, A. F. Ambrose und R. B. Lipton: Epidemiology of gait disorders in community-residing older adults. In: Journal of the American Geriatrics Society 54, S. 255-261, 2006.
- [Wan16] S. Wang, D. Blazer und H. Hoenig: Can eHealth Technology Enhance the Patient-Provider Relationship in Rehabilitation? In: Archives of physical medicine and rehabilitation 97 (9), 1403-1406, 2016.
- [Zid10] L. Zidén, M. Kreuter und K. Frändin: Long-term effects of home rehabilitation after hip fracture - 1-year follow-up of functioning, balance confidence, and health-related quality of life in elderly people. In: Disability and rehabilitation, 32 (1), S- 18-3, 2010.

Simulation Framework for Active Upper Limb Exoskeleton Design Optimization Based on Musculoskeletal Modeling

M. Tröster¹, U. Schneider¹, T. Bauernhansl¹, J. Rasmussen² und M. S. Andersen²

¹ Fraunhofer IPA, Department Biomechatronic Systems
mark.troester@ipa.fraunhofer.de

² Aalborg University, Department of Materials and Production

Abstract

This paper presents an approach for analyzing the biomechanical exoskeleton-human interaction with the aim to optimize the technical design of an active upper limb exoskeleton based on musculoskeletal modeling and simulation.

Preliminary results of an artificially generated movement of a human musculoskeletal model (AnyBodyTM) promise significant potential for a quantitative analysis approach using musculoskeletal modeling. Varying the implemented gravity compensating factor indicates potential of adjusting partial muscle relief and inner reaction forces and moments using an active upper limb exoskeleton. The analysis points out that, compared to muscle activations, inner human reaction forces and moments request different control parameter configurations for an assumed optimal assistance.

Kurzzusammenfassung

Simulationsumgebung zur Optimierung aktiver Oberkörper-Exoskelette basierend auf muskuloskelettaler Modellierung

In dieser Veröffentlichung wird ein Konzept zur Analyse der biomechanischen Exoskelett-Mensch-Interaktion mit dem Ziel der simulationsbasierten Optimierung von aktiven Oberkörper-Exoskeletten, basierend auf Muskel-Skelett-Modellierung mit dem AnyBodyTM Modeling System, vorgestellt. Erste Simulationsergebnisse einer Hebebewegung prognostizieren vielversprechende Möglichkeiten der quantitativen biomechanischen Analyse solcher aktiver Exoskelett-Mensch-Systeme. Die vorgestellten Simulationsergebnisse des Exoskelett-Mensch-Modells zeigen die Komplexität des Zusammenhangs zwischen optimierter Einstellung von Steuerungsparametern wie beispielsweise der implementierten Gravitationskompensation und den biomechanischen Belastungsparametern im Schulter-Arm-Komplex auf. Es zeigt sich bei der Analyse der Gravitationskompensation, dass sich – im Vergleich zu den Muskelaktivitäten – die angenommene optimale Entlastung für innere Körperreaktionskräfte und –momente hinsichtlich der einzustellenden Gravitationskompensation unterscheidet.

Keywords

Digital human modeling, simulation-based optimization, musculoskeletal modeling, active upper limb exoskeleton, exoskeleton control

1 Introduction and Motivation

Demographic change forces employers to provide more technical assistance systems to their staff to relieve the burden on the musculoskeletal system and enable a longer, healthier and safer working life. Investigations of [Noe16]

complain about 21.6 billion Euro loss of gross value due to incapacity to work days caused by musculoskeletal disorders. Prognoses predict [Kar17] a worldwide market volume of up to 5.6 billion dollars in 2025 for the exoskeleton industry, where especially work-assisting

devices will grow exponentially. Active upper limb exoskeletons could play a key role for possible future solutions for specific work tasks like lifting heavy parts and working overhead. A bottleneck of the exoskeleton industry for breaking through the big application market is the analysis and evaluation of exonerative effects on the musculoskeletal system. Ergonomists and developers need assistance to optimize and validate their application and person-specific exoskeletons for the applied movements and loads.

Among the digital human modeling approaches, human-technology interaction attracts increasing attention because technology such as exoskeletons affect the inner loads on the musculoskeletal system as well as the interface loads between the human and the exoskeleton. End-users of exoskeletons vary in anthropometry, muscle strength, body mass and manner of executing movements, and each application scenario differs concerning movement and load-specific boundary conditions. Digital human models comprising the human as well as the exoskeleton in a single mechanical system offer engineers the possibility to consider all of these aspects in parallel.

In the studies of [Zho15] passive kinetic elements were being analyzed and optimized using digital musculoskeletal modeling. [Sho16] investigated in a parametric study the effect of assistive torque concerning metabolic energy consumption in a box-lifting task for a musculoskeletal model as well.

The aim of the study in this paper is to analyze the effect of the specific upper limb exoskeleton on the shoulder-arm complex of a musculoskeletal model. As biomechanical parameters muscle activations and inner reaction forces and moments will be considered. The active exoskeleton will be investigated concerning adjustable control parameters like the gravity-compensating factor in varying load cases. Based on these investigations, an enhanced comprehension of the adaptive active exoskeletons will be achieved.

2 Active Upper-Limb Exoskeleton Stuttgart Exo-Jacket

In comparison to passive assistive devices active upper limb exoskeletons have enhanced possibilities for different applications based on adaptive software control [Gop16].

The Stuttgart Exo-Jacket is such an active and modular exoskeleton platform for developing and demonstrating technical components for active electromechanical wearable devices. Version 2 of the Stuttgart Exo-Jacket is applicable as a carrying and lifting device for heavy objects in industrial work scenarios. Version 2 has 18 degrees of freedom including four active joints for elbow flexion/extension and glenohumeral flexion/extension assisting right and left upper extremities. Elevation of sternoclavicular joints is passively supported through a force-generating gas spring. Both shoulder mechanisms additionally include a third and fourth gas spring to prevent mechanical misalignment for the wearer's shoulder complex. The fifth and sixth gas spring generate reaction forces in ventral direction for the shoulder mechanism to relieve interaction forces in the upper arm bracings of the exoskeleton.

In Table 1, the ergonomic range of motion for the Stuttgart Exo-Jacket II is prescribed to limit it with regard to suitable application scenarios.

With some limitations (Table 1) the active upper limb exoskeleton can be applied in overhead work scenarios as well (Fig. 1).

The concept of the Stuttgart Exo-Jacket focuses on modularity which implies an optional addition of a passive leg module in case of high-load applications to transfer the load from the hip to the ground to relieve the wearer's legs as well [Ebr17].

Table 2: Ergonomic range of motion for Stuttgart Exo-Jacket II

Wrist Flexion	-15°...15°
Wrist Abduction	-10°...10°
Elbow Flexion	0°...150°
Elbow Pronation	0°...160°
Glenohumeral Flexion	0°...90°
Glenohumeral Abduction	0°...10°
Glenohumeral External Rotation	-45°...25°
Sternoclavicular Elevation	0°...30°
Sternoclavicular Protraction	-10°...20°
Sternoclavicular External Rotation	-5°...5°
Pelvis-Thorax Flexion	-10°...10°
Pelvis-Thorax External Rotation	-20°...20°
Pelvis-Thorax Lateral Bending	-15°...15°

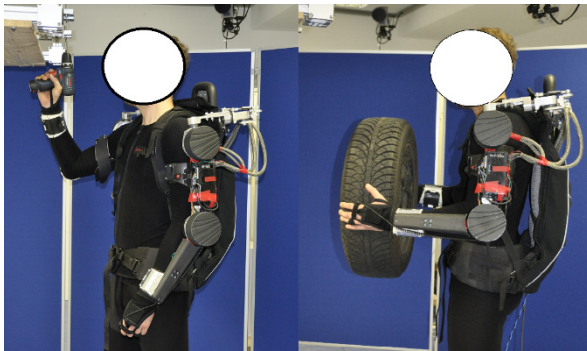


Figure 1: Stuttgart Exo-Jacket II in over-head and carrying work scenarios

3 Modeling of Human-Exoskeleton System

A human-exoskeleton system works cooperatively together with the human musculoskeletal apparatus. The interaction between the exoskeleton and the human body determines whether or how the exoskeleton can assist the desired movements. A central issue in the

modeling work is thus to simulate the response of the human body subject to external forces and torques exerted by the exoskeleton.

The human-exoskeleton system in this work comprises two modules:

(i) A musculoskeletal human body and (ii) an exoskeleton model. The musculoskeletal model comprises all the significant bones, joints and muscle elements of the human body. The exoskeleton model contains all segments, joints, passive elastic elements and motors of the exoskeleton. The two parts are connected and form a single mechanical system in the analysis model.

3.1 Musculoskeletal Model

For the analysis approach presented in this paper, the musculoskeletal modeling and simulation tool AnyBody (AnyBody Modeling System (AMS) in Version 7.2) is used as bio-mechanical analysis tool. AMS in general is capable of analyzing rigid multi-body systems like the musculoskeletal system of the human or other creatures. In addition, AMS is capable of including external objects, loads and motion specifications to compute inner body torques and forces through an inverse dynamic approach. Having motions and external forces as measured input, AMS formulates the dynamic equilibrium equations. These equations are typically redundant because the system contains more actuators than degrees-of-freedom. Therefore, the equations are solved as an optimization problem to compute the muscle and joint forces [Ras01]:

$$\underset{f}{\text{Minimize}} \quad G(f^{(M)}) \quad (1)$$

$$\text{subject to} \quad Cf = r$$

$$\text{and } f_i^{(M)} \geq 0, \quad (2)$$

$$i \in \{1, \dots, n^{(M)}\}$$

G defines the objective function of the recruitment process stated in terms of muscle forces, $f^{(M)}$, and minimized with respect to all unknown forces (muscle forces and joint reactions) in the problem. C is the coefficient matrix and r contains all known applied loads, inertia, coriolis, gyroscopic and centripetal

forces. Equation (2) is a non-negativity constraint on the muscle forces to signify that muscles can only pull and not push [Ras01]. The human model in AMS for this analysis is built on the top-down principle based on the squatting human model from the AnyBody Managed Modeling Repository (50th percentile of European male). The model has contact to the floor through a ground predictive force plate [Ska17]. 25 predictive ground reaction force elements on each feet of the human model generate ground reaction forces and are included in the muscle recruitment process. An additional kinematic driver keeps the center of mass above the feet-floor contact point. The driver moves the center of mass of the human model in x- and y-direction to keep it standing upright in a balanced posture. In the left and right hand, the model is being pulled down by two external forces, representative as holding two dumbbells.

3.2 Exoskeleton Model

To generate the digital exoskeleton model, the exoskeleton is first designed in CAD using SolidWorks and added to AMS using the AnyBody Exporter for SOLIDWORKS® plugin. The two main technical core elements of the exoskeleton are the passive shoulder mechanism and the actively controlled gravity compensation for torque assistance of human glenohumeral joint and elbow, flexion and extension movements. The implemented shoulder mechanism of the investigated exoskeleton model includes six DOFs, one active motor element and three additional kinetic elements for both sides (S_1 , S_2 , S_3) which passively hold the arm exoskeleton structure and direct the load from the wearer's lower arm to the back plate to offload the human's shoulder complex. Passive gas spring elements are defined as constant unidirectional forces to minimize glenohumeral inner reaction forces, therefore, springs S_1 and S_2 push with 100N and 150N. S_2 prevents misalignment for the glenohumeral axis and axis of the shoulder motors. The back plate is firmly connected to the wearer's hip. Additionally, two spring elements model the connection between the back

plate and the thorax segment of the human model.

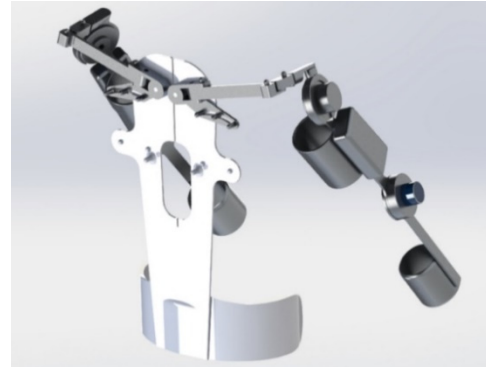


Figure 2: CAD-model of exoskeleton

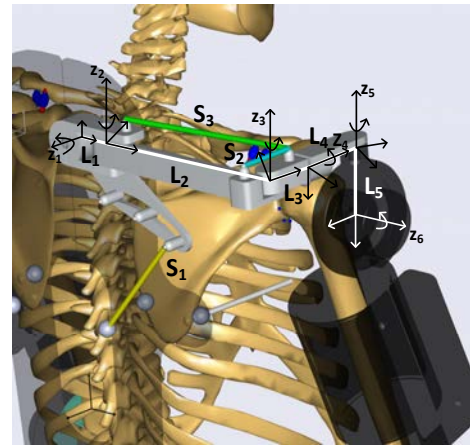


Figure 3: Shoulder mechanism of the Stuttgart Exo-Jacket II

As control functionality for the four motor elements (glenohumeral flexion-extension and elbow flexion-extension), an open loop gravity compensation, neglecting abduction and elevation of human shoulder complex, is implemented for the exoskeleton model. The real exoskeleton hardware contains an additional interaction control which compensates inertia and friction. For the musculoskeletal modeling approach, these control aspects are neglected. Gravity compensation of the exoskeleton is computed as follows:

$$\begin{aligned}
 M_{Shoulder,Exo} &= [m_{Upperarm,Exo} l_{1,1} \sin(\alpha) \\
 &+ m_{Lowerarm,Exo} (\sin(\alpha) l_1 \\
 &+ \sin(\alpha + \beta) l_{2,2})] g \\
 &+ (F_{Grav,ext.} * D_{Grav.Comp.}) \\
 &* (\sin(\alpha) l_1 + \sin(\alpha + \beta) l_2)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 & M_{Elbow,Exo} \\
 = & [m_{Lowerarm,Exo} l_{2,2} \sin(\alpha + \beta)]g \quad (4) \\
 & + (F_{Grav.,ext.} * D_{Grav.Comp.}) \\
 & * \sin(\alpha + \beta) l_2
 \end{aligned}$$

$M_{Shoulder,Exo}$ and $M_{Elbow,Exo}$ are motor torques dependent from presumed masses of the exoskeleton and human rigid segments, $m_{Upperarm,Exo}$, $m_{Lowerarm,Exo}$, human and exoskeleton lengths, l_1 , $l_{1,1}$, l_2 , $l_{2,2}$, and external gravity force, $F_{Grav.,ext.}$, multiplied with a gravity compensating factor, $D_{Grav.Comp.}$. The masses of the exoskeleton and human arm are taken from the AnyBody and SolidWorks model properties.

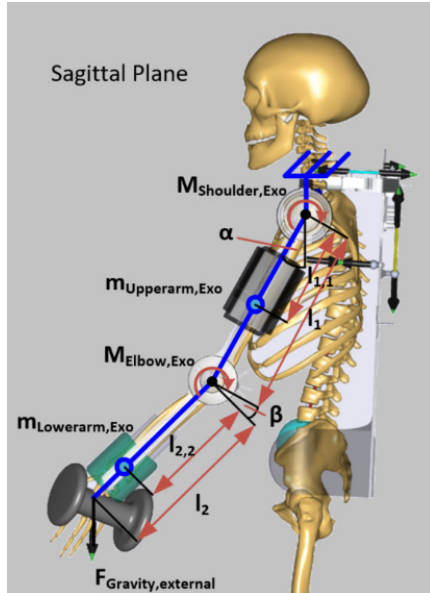


Figure 4: Exoskeleton-human model as inverted double pendulum

3.3 Implementation of Exoskeleton-Human System

To implement the exoskeleton-human model in AMS, the exoskeleton needs to be kinematically and kinetically connected to the musculoskeletal model.

Kinematically, the exoskeleton is connected to the musculoskeletal model through five contact points:

Table 2: Kinematic Contact Conditions

Right Radius to	6 contact elements
Right Lowerarm	(3 Rot., 3 Transl.)
Bracing	
Right Humerus to	6 contact elements
Right Upper Arm	(3 Rot., 3 Transl.)
Bracing	
Left Radius to	6 contact elements
Left Lowerarm	(3 Rot., 3 Transl.)
Bracing	
Left Humerus to	6 contact elements
Left Upper Arm	(3 Rot., 3 Transl.)
Bracing	
Pelvis to Exoskeleton Back Plate	6 contact elements
	(3 Rot., 3 Transl.)

Kinetic contact conditions between human and exoskeleton segments are adjustable and implemented to prioritize the force transmission contact areas between the exoskeleton and the human bones. The exoskeleton is in contact with the human model at the radius, humerus, thorax and pelvis segments through kinetic contact conditions. Unidirectional contact elements with a variable strength to generate high static friction forces are used in AMS. For this analysis, each contact muscle has a maximum strength of 10.000 N.

Table 3: Kinetic Contact Conditions

Right Radius to	12 contact elements
Right Lowerarm	(6 Rot., 6 Transl.)
Bracing	
Right Humerus to	12 contact elements
Right Upper Arm	(6 Rot., 6 Transl.)
Bracing	
Left Radius to	12 contact elements
Left Lowerarm	(6 Rot., 6 Transl.)
Bracing	
Left Humerus to	12 contact elements
Left Upper Arm	(6 Rot., 6 Transl.)
Bracing	
Pelvis to Exoskeleton Back Plate	12 contact elements
	(6 Rot., 6 Transl.)

The kinetic contact elements for upper arm, lower arm, thorax and pelvis are implemented

in AMS and will be considered in the polynomial muscle recruitment process, in this case of order 3:

$$G(f^{(M)}) = \sum_i^N \left(\frac{f_{\text{muscle},i}}{N_i} \right)^3 \quad (5)$$

The contact elements between the exoskeleton and the human segments are included in the muscle recruitment process of AMS, which solves an optimization problem including weighting of each contact element depending on its assumed strength. This offers an approximation approach for generated exonerative support effect by the exoskeleton for human musculoskeletal system.

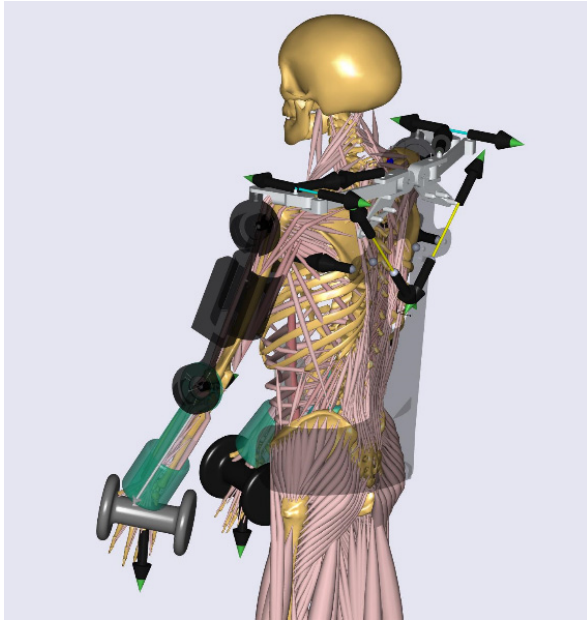


Figure 5: Exoskeleton-human model in AMS

4 Method and Simulation Setup

To evaluate the performance of the exoskeleton, a simplified representative scenario of lifting and carrying heavy objects is modeled. For preliminary simulation results the movement is artificially generated using kinematic drivers for human joints. These kinematic drivers keep the upper body straight. The human model holds two dumbbells during lift representing the weight of an external mass in each hand. The lifting motion ranges from hip to shoulder height which is contained in the ergonomic range of motion for the upper limb

exoskeleton, the Stuttgart Exo-Jacket. The movements for human upper limbs execute constant velocities of elbow flexion (15°/sec), glenohumeral flexion (20°/sec), sternoclavicular elevation (3°/sec), sternoclavicular protraction (6°/sec) and sternoclavicular axial rotation (3°/sec) as a lift scenario of three seconds.

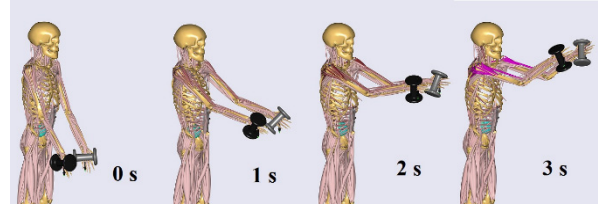


Figure 6: Lift scenario sequences

The lift scenario is analyzed without and with the exoskeleton in different external load and exoskeleton control variations.

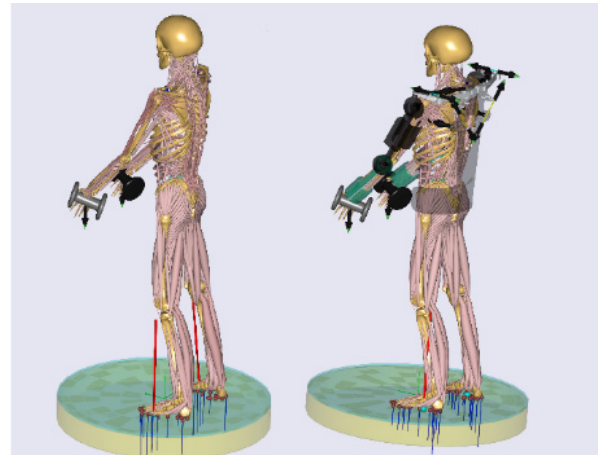


Figure 7: Musculoskeletal model without and with exoskeleton

5 Preliminary Analysis Results

In this section, preliminary results of the inverse dynamic studies are considered, including inner human body reaction forces and envelopes of muscle activities of the shoulder-arm complex without and with the exoskeleton in varying load and gravity-compensating configurations. The muscle activity is the fraction of each muscle's maximum strength, taken to perform given dynamic. Envelopes for activities of muscle groups in AMS are enclosing all single muscle activation curves as

an indicator for the activity of the whole muscle section.

The working hypothesis is to facilitate optimal assistance by dimensioning control parameters based on personalized musculoskeletal modeling. As indicators for approximation of optimal assistance the aforementioned biomechanical load parameters amongst others will be considered. The thick line of each plotted biomechanical load parameter indicates the assumed optimal assisted configuration of the exoskeleton.

5.1 Muscle Activations

Muscle activities are representatively taken as parameters to measure exonerative effects of the exoskeleton on the human musculoskeletal system. In this section of the study, muscle activities are considered for different load and control configuration parameters with and without exoskeleton.

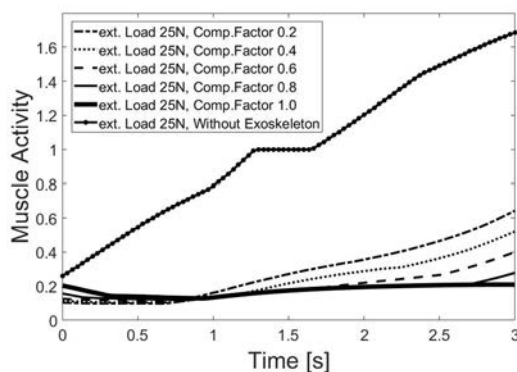


Figure 8: Envelopes of muscle activations for the left shoulder-arm complex

Figure 8 shows a reduction of simulated muscle activities in envelope curves of all muscle activities in the shoulder-arm complex. Beyond 1.5 seconds during lift scenario, the model is not capable anymore to execute the movement without the exoskeleton. To indicate fine adjustment optimization possibilities, five different gravity compensating configurations are plotted as well.

Figure 9 indicates a dependency between muscle activations of the shoulder-arm complex and the gravity compensating factor, the more support the more the muscles are relieved.

Figure 10 shows that in varying load scenarios

muscle activations differ with the same gravity compensating factor, meaning that the exoskeleton partially compensates the external weight. For the straight arm posture at the end of the lifting movement, differences between load cases are more pronounced in muscle activations.

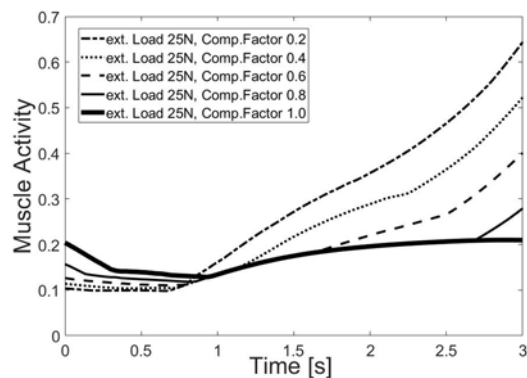


Figure 9: Envelopes of muscle activations for the left shoulder-arm complex with varying gravity comp. factor

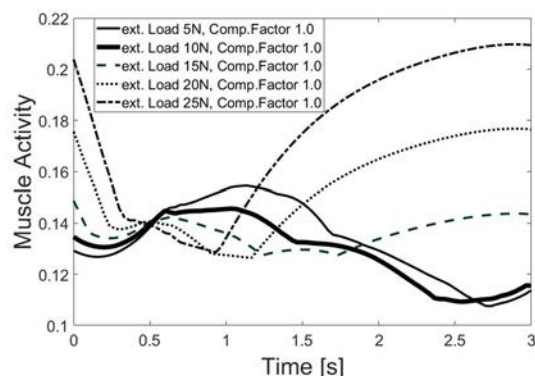


Figure 10: Envelopes of muscle activations for left shoulder-arm complex with varying external load

5.2 Inner Human Reaction Forces and Moments

Inner human reaction forces are indicators of human body loads caused by external loads or awkward postures, because the latter are often caused by vanishing moment arms or unavailable major muscles and joint moment production under those circumstances produce high joint reactions in addition to high muscle activities. In this section, for the described simulation setup, the shoulder-arm complex of the

musculoskeletal model is investigated concerning compression forces in the glenohumeral joint and the reaction moments for elbow and glenohumeral flexion.

The simulation results show a marginal exonerative effect of the Exo-Jacket with regard to compression forces in the glenohumeral joint for full gravity compensation in the described lifting scenario. In comparison, elbow flexion and glenohumeral flexion moments indicate a more complex optimal adjustment of gravity compensation to minimize the considered load parameters.

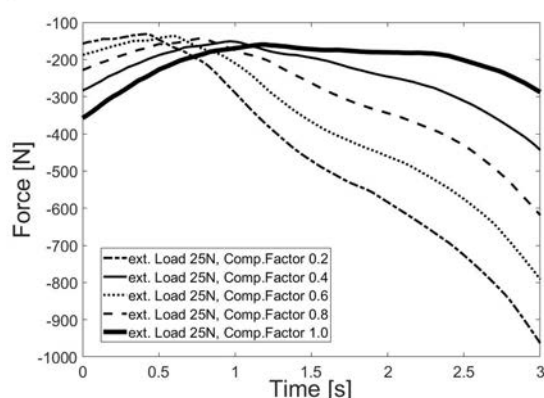


Figure 11: Compression forces in left glenohumeral joint with varying gravity comp. factor

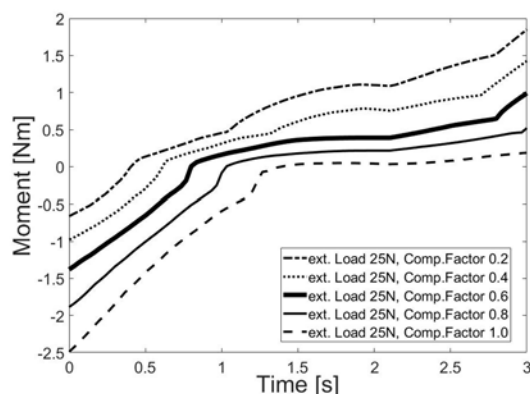


Figure 12: Flexion moment in left elbow joint with varying comp. factor

The thick lines designate the optimal gravity compensating factor for minimal flexion moments in the simulated load scenarios. The most gravity-compensating configuration does not seem to be the most relieving, regarding inner reaction forces and moments in glenohumeral and elbow joint.

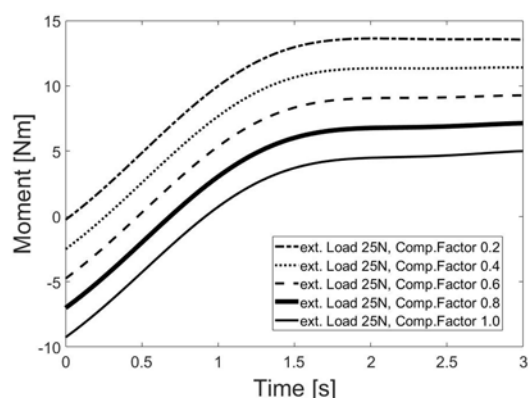


Figure 13: Flexion moment in left glenohumeral joint with varying comp. factor

6 Discussion and Future Work

In this study, an artificially generated lift movement in different load and control parameter configurations has been analyzed. Dependencies between partial gravity compensation and muscle activations could be pointed out. Inner human reaction forces and moments indicate a more complex dependency. Parameter studies will shed more light on dependencies between technical control parameters, external load and movement of the exoskeleton-human model.

Future work will also include real motion data to generate more realistic movements. Additionally, external force measurements will be taken into account. Representative application scenarios will be industrial carrying and lifting heavy load and overhead working postures. Out of these more realistic movements, a more sophisticated analysis of considered biomechanical load scenarios can be developed.

As validation approach comparison of simulated and real measured muscle activations using sEMG (surface electromyography) data will be considered in future work of the author. Validation of modeled inner human reaction forces and moments is a further challenge to be dealt with.

The final goal of this work is the individualized adaptable design of active upper limb exoskeletons, based on realistic mounting scenarios using a real hardware exoskeleton based on the Stuttgart Exo-Jacket development platform. It will be adaptable to the specific application, person and load.

Acknowledgements

We express sincere gratitude to Jérémy Léfint and Tobias Rogge for their contribution for

shoulder mechanism design of Stuttgart Exo-Jacket II.

References

- [Dam06] M. Damsgaard, J. Rasmussen, S. C. Tørholm, E. Surma and M. Zee: Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System. *Simulation Modelling Practice and Theory* 14, pp. 1100-1111, 2006.
- [Ebr17] A. Ebrahimi: Stuttgart Exo-Jacket: An exoskeleton for industrial upper body applications. *10th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, pp. 258-263, Ulsan, 2017
- [Gop16] R. Gopura, D. Bandara, K. Kiguchi and G. Mann: Developments in hardware systems of active upper-limb exoskeleton robots: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 75, Part B, pp. 203-220, 2016.
- [Kar17] D. Kara: Research Director. February 28, 2017. www.abiresearch.com.
- [Noe16] C. Nöllenheidt and S. Brenscheidt: *Changing World of Work – Figure – Data – Facts*. Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), 1. Version May 2016, ISBN: 978-3-88261-172-4. Dortmund, Germany, 2016.
- [Ras01] J. Rasmussen, M. Damsgaard and M. Voigt: Muscle recruitment by the min/max criterion: A comparative numerical study. *Journal of Biomechanics*. 34(3):409-415. doi:10.1016/S0021-9290(00)00191-3, 2001.
- [Ska17] S. Skals, M. K. Jung, M. Damsgaard, S. A. Andersen: Prediction of ground reaction forces and moments during sports-related movements. *Multibody Syst Dyn* 39: 175. <https://doi.org/10.1007/s11044-016-9537-4>, 2017.
- [Sho16] S. M. Shourijeh, M. Jung and M. Damsgaard: Metabolic Energy Consumption in a Box-Lifting Task: A Parametric Study on the Assistive Torque. *The International Symposium on Wearable Robotics*. 18-21 October, 2016. La Granja, Segovia, Spain, 2016.
- [Zho15] L. Zhou, S. Bai, M. S. Andersen and J. Rasmussen: Modeling and Design of a Spring-loaded, Cable-driven, Wearable Exoskeleton for the Upper Extremity. *Modeling, Identification and Control*, Vol. 36, No. 3, pp. 167-177, ISSN 1890-1328, 2015.

Design of a dexterous Finger actuated by SMA bundle wires

F. Simone, G. Rizzello, P. Motzki und S. Seelecke

Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme
Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) gGmbH
filomena.simone@imsl.uni-saarland.de, gianluca.rizzello@imsl.uni-saarland.de,
p.motzki@zema.de, stefan.seelecke@imsl.uni-saarland.de

Abstract

Processes involving Human-Machine-Interaction require the use of high-performance handling mechanisms, in term of safety, adaptability, and force. In this research work, the second generation of a hand finger prototype actuated by thin shape memory alloy (SMA) wires is presented. SMA wire actuators are arranged in bundles to achieve higher gripping forces in compact space. Structural flexibility is ensured by superelastic SMA wires connected between the different phalanges, which act as restoring springs. Compared to the first generation prototype, the new actuator is characterized by higher flexibility and lack of rigid joints. In order to combine force with sufficient actuation speed, the muscle implementation pursues a multi-wire concept with several 100 μm -diameter NiTi wires connected in parallel which leads to an increased surface-to-volume ratio for accelerated cooling. The paper starts with the prototype mechanical design. Experiments to demonstrate the prototype flexibility are performed.

Kurzzusammenfassung

Entwicklung und Validierung eines Roboterfingers mit Formgedächtnisantrieb

Diese Veröffentlichung präsentiert den verbesserten Prototyp eines humanoiden Finger-Greifers, der mit dünnen Drähten aus einer Formgedächtnislegierung (FGL) angetrieben wird. Die FGL-Drähte werden in Drahtbündel Konfigurationen verbaut, um gleichzeitig Greifkräfte und Arbeitsfrequenz des Systems zu erhöhen. Zusätzlich werden superelastische FGL-Drähte in den Fingergelenken verbaut, welche die Rückstellung der Drahtaktoren unterstützen. Im Vergleich zu dem ersten Prototyp bietet das neue Design mehr Flexibilität in den einzelnen Gelenken und erlaubt durch die neue Drahtbündelkonfiguration die Skalierung der Greifkraft bei hoher Aktordynamik. Dieses Paper beschreibt die mechanische Konstruktion und den Aufbau des Prototyps und präsentiert im Anschluss erste experimentelle Ergebnisse.

Keywords

Shape Memory Alloy, bioinspired finger, SMA actuated finger, soft finger, soft robotics

1 Introduction

In recent years, with the introduction of the industry 4.0 paradigm, Human-Machine-Interaction acquired significant relevance among researchers. The design and assembly of novel prostheses, which allow amputees to perform daily operations, can be included among the fields of interest of Human-Machine-Interaction. The design of devices capable of reproducing the functionality and versatility of the human hand represents a big challenge due to the extreme complexity of this organ. To

achieve desired manipulation capability and reduce the weight of the entire structure, several anthropomorphic hands have been proposed in recent years. Remarkable examples include prototypes actuated via electric motors, e.g. the “iLimb” [Con08], realized by Touch Bionics, the “Bebionic” [MR11] produced by RSL Stepper, the “Michelangelo” Hand [Mig11] invented by Otto Bock, as well as devices driven by pneumatic systems [SPB01]. Both technologies can offer high

forces, high actuation speed, and great versatility [BSD13]. However, these kind of prostheses encountered high rejection rates by the amputees, mainly due to their low grasping stability, high structure rigidity, noisy operation, and heavy weight, as well as the unnatural feel and robot-like motion of the fingers [BBC07, TRK08, KGC04]. Therefore, currently used actuation technologies show some inherent limitations when used in prosthetic applications.

In this research work, a new actuation system for artificial hands is proposed, based on Shape Memory Alloy (SMA) transducers. These materials, typically made of Ni-Ti alloys, undergo a phase transformation when exposed to heat [Lag08]. In Figure 1, the operating principle of SMA is illustrated. At room temperature, without external stresses, the internal structure of the SMA shows two martensitic phase fraction. When a tensile stress is applied, one of the two phases is favoured, inducing the alloy elongation. In this state, by increasing the alloy temperature above 90° the martensitic phase transforms into austenite, thus allowing to recover the original shape. This phase transformation, which occurs at mesoscopic level, causes a macroscopic variation in length of the material, allowing it to be used as a linear contractile actuator. SMA materials typically exhibit a contraction of 4-8% when heated, which is one order of magnitude larger than the deformation observed in conventional metals. In addition, their high energy density makes them extremely lightweight and able to exert high forces within a relatively compact design [HHB91].

Due to these specific properties, SMA technology is potentially attractive for the realization of artificial hands. In fact, SMA wires can be easily integrated in mechanical structures without requiring large amount of space and complex gearing mechanisms, therefore favouring the optimization of production costs. For these reasons, various kinds of SMA-based hand prosthesis prototypes have been developed in recent years, e.g., [Jun09, [LOM12, BHB09, MH06]. Among the many examples, it is worth mentioning the 15 DOFs

underactuated prosthetic hand described in [AT15]. The prototype is driven by an SMA-spring actuation mechanism in which the SMA drives the finger flexion motion. In [SRS17], a hand prototype composed of 3 active fingers is presented. Each finger is driven by bundles of protagonist-antagonist SMA wires, in order to increase actuation speed and force. The different phalanxes of each finger are connected via rotational joints. Although the initial results have shown high potential of SMA technology for prosthetic devices, none of the SMA prosthetic hands presented so far can be considered mature enough to support amputees in typical real life operations, mainly due to performance limitations in terms of force, deformation, speed, and relatively low energy efficiency [KGC04].

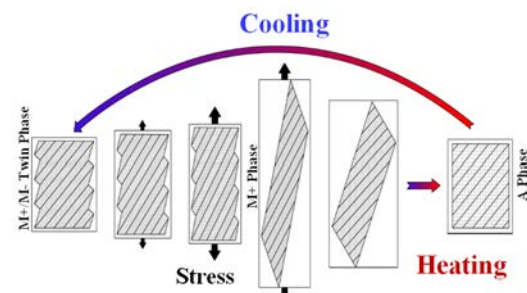


Figure 1: Diagram of Shape Memory Alloy phase change in response to heating, cooling and stressing

This research work aims at overcoming some of the limitations of state-of-the-art SMA-actuated prosthetic hands, by proposing an innovative design which makes use of bundles of thin actuated protagonist-antagonist SMA wires wrapped several times along the finger phalanxes and hand palm together with super-elastic SMA wires used as joints. When heated via an electric current, the SMA wires contract and produce a rotation of the fingers phalanxes, mimicking the fibres of human muscles. The protagonist-antagonist configuration allows to achieve a higher actuation speed with respect to a simple, standard SMA-spring arrangement. Furthermore, each finger phalanx can be driven independently of the others, increasing the prototype dexterity. The different phalanxes of each finger are connected via

superelastic SMA wires, rather than via rotational joints, which work as passive restoring springs and ensure structural flexibility at the same time. After presenting the prototype design, first experimental results are shown in order to assess the system performance in terms of bending angle.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 focuses on the description of the design of a second generation of a SMA-driven finger. Section 3 shows the prototype performance in terms of measurements of finger motion. Finally, Section 4 provides some conclusive remarks and possible future directions of the ongoing research.

2 Finger Structure Description

The design of the finger structure is inspired by real human fingers. It is divided into four parts, each one dimensioned according to the average size of human finger's phalanx, metacarpus, and carpus [TTM98]. For functional purposes, a small portion of the wrist is also considered as a part of the overall concept. The finger structure is initially designed in Solidworks® and then 3D printed with an Objet Connex 500 (Objet, Ltd. Rohovot, Israel), as shown in Figure 2.

To interconnect the phalanxes, several superelastic SMA wires, having a diameter of 0.2 mm each, are used. These kind of wires have a predominance of austenitic crystals at room temperature. When a tensile force is applied at the wire ends, a large-strain nonlinear elastic behaviour is observed (up to 8%). This design solution enables the phalanxes to rotate around the x-axis (see Figure) and at the same time gives a soft feature to the entire structure which comes from the intrinsic elasticity of the wires. If a bending motion is induced to a phalanx, these wires oppose to the applied force. Once the force no longer acts on the system, the superelastic wires help restoring the finger's original straight configuration. This behaviour is exhibited by the superelastic SMAs in a completely passive fashion (i.e., no electrical input power is needed).

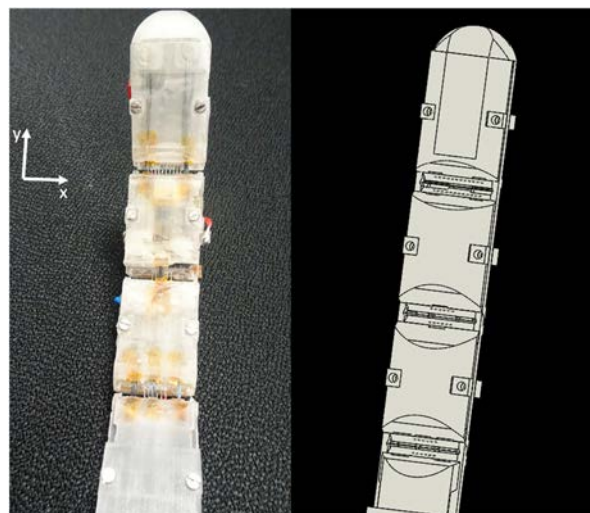


Figure 2: Finger prototype. Right-hand side: finger CAD drawing. Left-hand side: 3D printed prototype

Each finger phalanx is composed by three parts, held together by screws. This modular structure allows an easier assembly of the prototype. In the human body, the motion of the fingers is a result of the contraction of muscle fibers located in the arm. Similarly to biological muscles, also SMA wires produce a contraction when actuated. Such a contraction induces a rotation of the phalanxes, which results into the finger bending.

In order to ensure compactness and avoid contact between the wires and the grasping target, the wires are mounted inside the finger structure, along each phalanx. To achieve actuation frequencies close to the human hand (5 Hz in average [DAL01]), 0.1 mm diameter SMA wires have been chosen. Such wires allow to achieve a good trade-off between required force and activation time, in comparison to other wires with different available diameters [Dyn18]. Therefore, to increase the overall actuation force, each wire is wound several times along the finger structure, forming a bundle. Since the wires in the bundle are mechanically connected in parallel, the total force is given by the sum of the individual forces of each wire. The winding procedure has been realized with a custom built winding machine which ensures a constant wire prestress and a systematic mounting process. To enable the

possibility of driving each phalanx independently of the others, 3 different groups of wire bundles, one for each phalanx, are mounted (see Figure 3). In order to achieve high grasping force, the new design focusses on increasing the number of wires inside each bundle, compatibly with space constraints. For this reason, for the motion of the tip phalanx and the bottom phalanx, two bundles of 15 and 10 windings respectively are realized, while, for the middle one, only one bundle of 10 wires is designed. To allow bending motion of the phalanges, an antagonist-protagonist wire configuration is adopted. In this way, a faster actuation than the one performed with a simpler SMA-spring system can be achieved, ensuring an active and precise bending (carried out by protagonist wires) and stretching (by antagonist wires) movements, depending on which wire is activated [AT15]. In order to effectively oppose to the protagonist wire force and thus restore the finger's initial position, the antagonist wires are also arranged in bundles. To favour the gripping motion, a smaller number of windings is realized for the antagonist bundles. Each finger phalanx is designed in such a way that the available small contraction of SMA wires (in the range of 3 %) can generate enough bending moment around the joint. To allow a fast finger actuation, Flexinol® SMA wires (Dynalloy, Inc. Tusten, CA) with a diameter of 100 µm are used as metal muscles [Dyn18]. The antagonist bundles are supported by the superelastic wires, which play the role of a compliant joint. The use of active SMA wires contributes to increase the motion frequency of the finger actuator but, on the other hand, the use of superelastic SMA wires provides a passive restoring force. For this reason, both wire typologies have been taken into account for the device design.

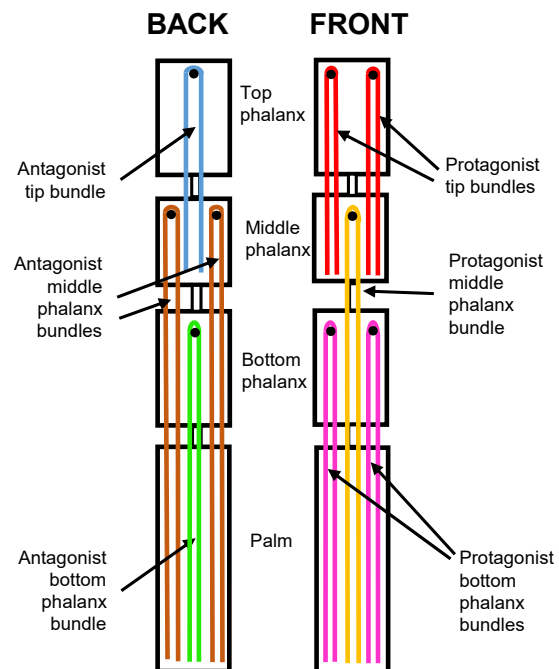


Figure 3: Scheme representing the wire bundles inside the finger prototype. Right-hand side: finger front part and the 3 protagonist bundles are depicted. Left-hand side: finger back part and the 3 antagonist bundles are shown

3 SMA Finger Performance

In order to evaluate the prototype performance, the bending motion capabilities of each phalanx is investigated. The measurement system setup consists of a NI (National Instruments Corporation, Austin, TX) cRIO-9074 real-time data acquisition system and a web camera both interfaced with LabVIEW 2012. The prototype is driven by constant voltages, which actuate one bundle at a time. The required voltage value depends on the specific SMA wire length [Dyn18], therefore it differs for each bundle in the prototype.

In order to read the real voltage driving each bundle inside the finger actuator, a NI 9223 module is used. The full experiments are recorded by a web camera which acquires the motion of each phalanx with 30 fps. The video is then post processed with MATLAB 2015 using routines embedded in its computer vision toolbox. The experimental results are shown in Figure 4 to Figure 6. In the upper part of these figures, the bundles' driving voltages are

shown. As remarked before, their value depends on the total electrical resistance of each bundle [Dyn18]. Note, that positive values imply that the voltage is sent to protagonist wires, while negative values imply that the corresponding absolute value is used to activate antagonist wires. In the lower part of each figure, the phalanx's displacement is shown. In Figure 4, lower part, the bending motion of the tip phalanx is depicted. In this picture, it can be observed how the rising time of the displacement signal is faster than the falling time. This means that the antagonist wires are too weak to quickly restore the phalanx initial position. In Figure 5, in which the behaviour of the middle phalanx is presented, this effect is not observed. The rising and falling times of the middle phalanx position are comparable. The slightly descendant plateau at 5 s represents the influence of the superelastic SMA wires, which try to oppose to the protagonist wires. In Figure 6, lower part, the bottom phalanx displacement behaviour is shown. In this case, the displacement signal falling time is

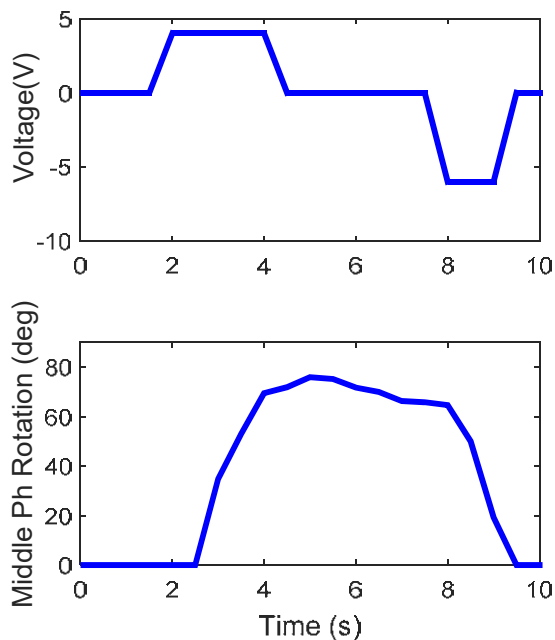


Figure 4: Upper part: tip phalanx input voltage. Lower part: tip phalanx achievable bending angle

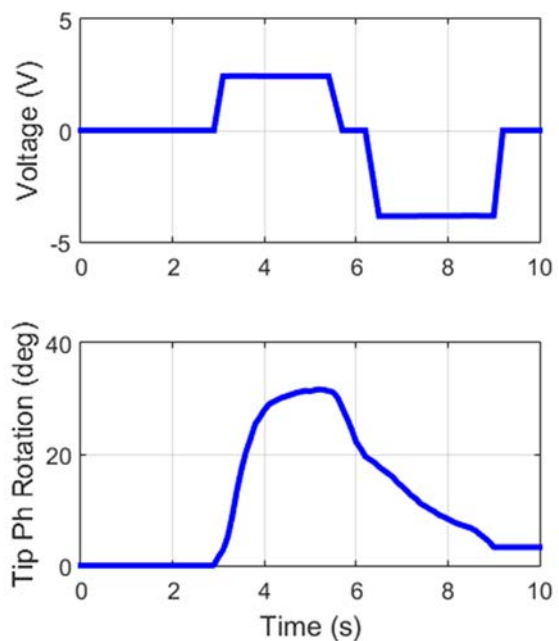


Figure 5: Upper part: middle phalanx input voltage. Lower part: middle phalanx achievable bending angle

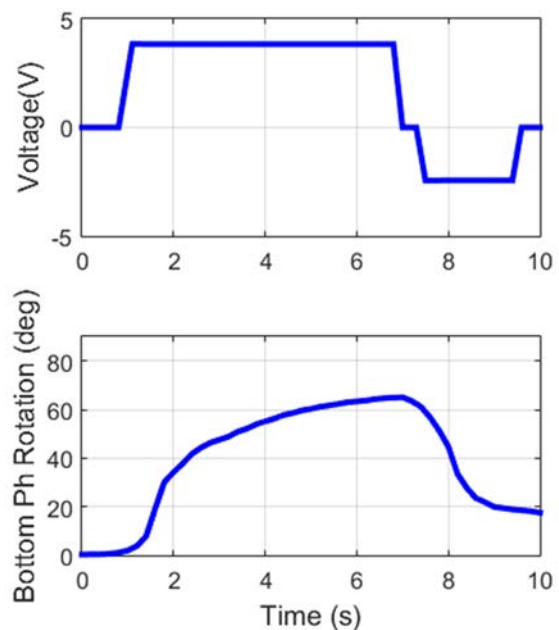


Figure 6: Upper part: bottom phalanx input voltage. Lower part: bottom phalanx achievable bending angle

shorter than the rising time, indicating a predominance of the antagonist force over the protagonist force. Both, the actuated antago-

nist wires and the superelastic elements contribute to the antagonist force. Therefore, the antagonist force dominates over the protagonist force mostly due to these passive wires which act as restoring springs.

4 Summary and future work

This work has presented a second generation finger prototype actuator, in which multiple SMA wires arranged in bundles are used to activate each phalanx independently. Compared to the first version of the SMA actuated finger, in the second generation prototype the motion of all three phalanxes is enabled. Moreover, the use of bundles of SMA wires gives the possibility to scale the prototype force in relation to the windings in each bundle. A systematic and precise procedure for mounting the wire inside the structure has been developed, ensuring reliable and repeatable behaviour of the prototype as well as optimization of the man-

ufacturing process. This enables potential future serial fabrication of the demonstrator. The complete finger structure has also acquired ‘soft’ features due to the use of superelastic SMA wires in the place of traditional stiff rotational joint. These passive wires help the actuated SMA antagonistic wires in restoring the finger’s stretched position and also play the role of a compliant joint. To demonstrate the prototype effectiveness, each phalanx has been independently actuated, and its motion recorded. In all of the observed cases, the performance in terms of bending angles and rising/falling times appear as suitable for prosthetic applications. For future works, the prototype structure will be further improved in order to increase the achievable bending angle of each phalanx. Force measurements will be also performed. Finally, a full hand based on many finger actuators will be realized and tested.

References

- [Con08] C. Connolly: Prosthetic hands from touch bionics. In: *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 35, S. 290-293, 2008.
- [MR11] C. Medynski and B. Rattray: Bebionic Prosthetic Design. In: *Proceedings of the MyoElectric Controls/Powered Prosthetics Symposium (MEC)*, (Fredericton: Canada/University of New Brunswick) Vol 1, S. 1-4, 2011.
- [Mig11] J. M. Miguelez: Clinical Experiences With The Michelangelo Hand: A Four-Year Review. In: *Proceedings of the MyoElectric Controls/Powered Prosthetics Symposium (MEC)* (Fredericton: Canada/University of New Brunswick) , Vol. 1, 2011.
- [SPB01] S. Schulz, C. Pylatiuk, G. Bretthauer: A new ultralight anthropomorphic hand. In: *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, S. 2437-41, 2001.
- [BSD13] J. T. Belter, J. L. Segil, A. M. Dollar and R. F. Weir: Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: a review. In: *J. Rehabil. Res. Dev.*, Vol. 50, Num 5, S. 599-618, 2013.
- [BBC07] E. Biddiss, D. Beaton and T. Chau: Consumer design priorities for upper limb prosthetics. In: *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, Vol. 2, Num. 6, S. 346-357, 2007.
- [TRK08] D. Trivedi, C. D. Rahn, W. M. Kier, I. D. Walker: Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research. In: *Appl Bionics Biomech.*, Vol. 5, Num. 3, S. 99-117, 2008.
- [KGC04] P. J. Kyberd, D. Gow and P. H. Chappell: Research and the future of myoelectric prosthetics. In: *Powered Up Limb Prostheses*, Vol. 1, S.175-190, 2004.
- [Lag08] D. C. Lagoudas: *Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications*. Springer, 2008
- [HHB91] I. W. Hunter, J. M. Hollerbach and J. Ballantyne: A comparative analysis of actuator technologies for robotics. In: *Robot. Rev.*, Vol. 2, S. 299- 342, 1991.

- [Jun09] J. Jung: Aufbau eines Greifmechanismus mit FGL-Drahtaktoren. Dresden: Fraunhofer- Institut Dresden, 2009.
- [LOM12] J. H. Lee, S. Okamoto and S. Matsubara: Development of Multi-Fingered Prosthetic Hand Using Shape Memory Alloy Type Artificial Muscle. In: Computer Technology and Application, Vol. 3, S. 477-484, 2012.
- [BHB09] V. Bundhoo, E. Haslam, B. Birch and E. J. Park: A shape memory alloy-based tendon-driven actuation system for biomimetic artificial fingers, part I: design and evaluation. In: Robotica, Vol.27, Num. 1, S. 131, 2009.
- [MH06] T. Maeno and T. Hino: Miniature of a Five-fingered Root Hand driven with Shape Memory Alloys. In: Proceedings of the 12th IASTED International Conference on Robotics and Applications, Honolulu: United States/RA, 2006.
- [AT15] K. Andrianesis and A. Tzes: Development and Control of a Multifunctional Prosthetic Hand with Shape Memory Alloy Actuators. In: Journal of Intelligent & Robotic Systems, Vol. 78, Num. 2, S. 257-289, 2015.
- [SRS17] F. Simone, G. Rizzello and S. Seelecke: Metal muscles and nerves—a self-sensing SMA-actuated hand concept. In: Smart Mater Struct, Vol. 26, S. 095007, 2017.
- [TTM98] R. Tubiana, J.M. Thomine and E. Mackin: Examination of the Hand and the Wrist, CRC Press, 1998.
- [DAL01] K. M. DeGoede, J. A. Ashton-Miller, J. M. Liao and N. B. Alexander: How quickly can healthy adults move their hands to intercept an approaching object? Age and gender effects. In: The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, Vol. 56, Num. 9, S. M584-M588, 2001.
- [Dyn18] Dynalloy: Technical Characteristics of FLEXINOL ® Actuator Wires. In: <http://www.dynalloy.com/TechDataWire.php>, 2018.

DigiNet.Air Fallstudien mit kollaborierendem Roboter und digitalem Zwilling in einem Vorgehensmodell zur Ableitung von Industrie 4.0 Bildungsmodulen

R. Isenberg¹, K. Gutiq¹ und L. Schell-Majoor²

¹ Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg,
Institut für Produkt- und Produktionsmanagement
randolf.isenberg@haw-hamburg.de, kastriote.gutiq@haw-hamburg.de

² Hamburg Centre of Aviation Training-Lab (HCAT+) e.V.
lena.schell-majoor@hcatplus.de

Kurzzusammenfassung

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind die notwendigen Veränderungsprozesse für die Digitalisierung/Industrie 4.0 mit den einhergehenden Qualifizierungsbedarfen schwer zu bewältigen. Gerade die Luftfahrtbranche ist geprägt von zahlreichen KMU.

Das Projekt DigiNet.Air liefert ein Vorgehensmodell, das eine gleichzeitige Optimierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen ermöglicht. Es beinhaltet u.a. das Virtuelle Projektlabor (VPL) zur Erforschung von Konzepten des Arbeitens und Lernens und den Tech-Shop mit Demonstratoren zur Erprobung von Technologie. In verschiedenen Formaten können Formen der Zusammenarbeit und des Lernens praktisch erprobt werden. Ein erster Demonstrator kombiniert das Konzept des digitalen Zwillings mit Gamification und schafft dadurch neue Möglichkeiten für die Fernwartung.

Abstract

DigiNet.Air Case Studies using collaborative robots and a digital twin in a process model for deriving learning modules for Industry 4.0

Small and medium enterprises face substantial difficulties handling necessary changes with regards to digitization/industry 4.0. Especially in the aviation industry, many SMEs are working as suppliers for a few large original equipment manufacturers.

The project DigiNet.Air provides a process model, which enables optimizing business and organizational processes simultaneously. It contains, e.g., the Virtual Project Lab (VPL) and the Tech-Shop, where technologies, new forms of collaboration and learning can be tested in practice. A first demonstrator of combines the concept of digital twin with gamification and thereby creates new possibilities for remote maintenance.

Keywords

Industrie 4.0, Digitaler Zwilling, Telerobotik, virtuelle Realität, immersives Lernen

1 Einleitung

Am Luftfahrtstandort Hamburg sind neben zentralen Ankerunternehmen wie der Airbus Operations GmbH und der Lufthansa Technik AG viele kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ansässig, die oftmals einen großen Teil ihrer Arbeit als Zulieferer für die großen Unternehmen tätigen. Zu den KMU

zählen sowohl Unternehmen, die Komponenten fertigen und teilweise auch luftfahrtrechtlich zertifizieren, als auch Engineering- und andere Dienstleistungsunternehmen.

Der digitale Strukturwandel stellt insbesondere die KMU vor eine große Herausforderung, denn sie haben oftmals keine eigene Per-

sonalentwicklung und nur begrenzte Ressourcen, z.B. für technologische Investitionen. Neben der Einführung aktueller Technologien beeinflusst der digitale Wandel aber auch Organisationsformen und Kommunikationsstrukturen. Er verändert die Anforderungen an jeden einzelnen Mitarbeiter: Weiterbildung und Qualifizierung der Belegschaft sind somit elementare Bestandteile des digitalen Strukturwandels in Unternehmen.

Gerade für KMU ist es wichtig, sich damit auseinander zu setzen, wie der digitale Wandel ihre Geschäftsmodelle beeinflussen wird und was sie tun können, um langfristig am Markt bestehen zu können. Auch die Mitarbeiter sollten für das Thema sensibilisiert werden, um den Prozess aktiv mitzugestalten [Sta18]. Bei einer Optimierung von Geschäftsprozessen muss aber auch die Anpassung von Arbeitsprozessen und den damit verbundenen Bildungskonzepten erfolgen. Bislang erfolgen Prozessanalysen getrennt voneinander [Goe16]. Ein Modell für ein integriertes Vorgehen, d.h. für die gleichzeitige Optimierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen mit Blick auf entsprechende Bildungskonzepte wurde im Projekt DigiNet.Air (Netzwerk Digitales Lernen in der Luftfahrtindustrie der Metropolregion Hamburg) entwickelt.

1.1 Integriertes Vorgehensmodell aus dem Projekt DigiNet.Air

Abbildung 1 zeigt das integrierte Vorgehensmodell, das im Projekt DigiNet.Air entwickelt wurde, um Veränderungs- bzw. Optimierungsprozesse im KMU holistisch, d.h. unter Berücksichtigung von Technologie, Organisation und Qualifikation zu gestalten.

Das Projekt DigiNet.Air arbeitet im Spannungsfeld zwischen Technologie, Wirtschaft und Bildung bzw. Qualifizierung, das insbesondere vom Einfluss technologischer Neuerungen auf Unternehmen und ihre Mitarbeiter geprägt ist. Das Besondere an dem Projekt ist, dass die zentralen Institutionen aus den verschiedenen Bereichen in einem Verbundprojekt zusammen ein übergreifendes Netzwerk

aufbauen und gleichzeitig konkrete Qualifizierungsmodule erarbeiten, die in die berufliche Bildungskette integriert werden können.

DigiNet.Air (www.diginetair.de) soll insbesondere KMU am Luftfahrtstandort Hamburg dabei unterstützen, eine Strategie zu entwickeln, den digitalen Wandel mitzugestalten und zielt auf die Entwicklung entsprechender bedarfsgerechter Qualifizierungsmodule ab. Beteiligt sind neben der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) und dem Hamburg Centre of Aviation Training - Lab (HCAT+ e.V.) die Verbände Hanse-Aerospace e.V. und HECAS e.V., das Hamburger Institut für Berufliche Bildung (HIBB), sowie NORDBILDUNG, der Bildungsverbund für die Metall- und Elektroindustrie und die Technische Universität Hamburg (TUHH).

Entscheidend ist, dass im Projekt sowohl die individuelle Sensibilisierung, Information und Begleitung einzelner KMU, als auch die Erarbeitung und Analyse übergreifender projektrelevanter Ergebnisse und die Ableitung bedarfsgerechter Bildungsmodule abgebildet werden. Dementsprechend beinhaltet das Vorgehensmodell folgende Elemente:

Die Kontaktaufnahme und Konsolidierung dient dazu, Themenschwerpunkte mit Relevanz für das Unternehmen zu identifizieren und priorisieren.

An einem exemplarischen Themenfeld wird dann ein unternehmensspezifisches Anwendungsprojekt durchgeführt, das den Ablauf einer Prozessveränderung im Kontext des digitalen Strukturwandels unter Berücksichtigung der technologischen, organisatorischen und qualifikatorischen Optimierungsbedarfe abbildet. Hierfür sind verschiedene Laborformate und Workshops geplant, die Technologie erlebbar machen (Tech-Shop). Diese Formate sollen als niederschwelliges Angebot dazu beitragen, die Beteiligten für Technologie zu begeistern, Berührungsängste abzubauen und Denkanstöße zu geben, welche Technologie den Wandel im Unternehmen sinnvoll unterstützen könnte.

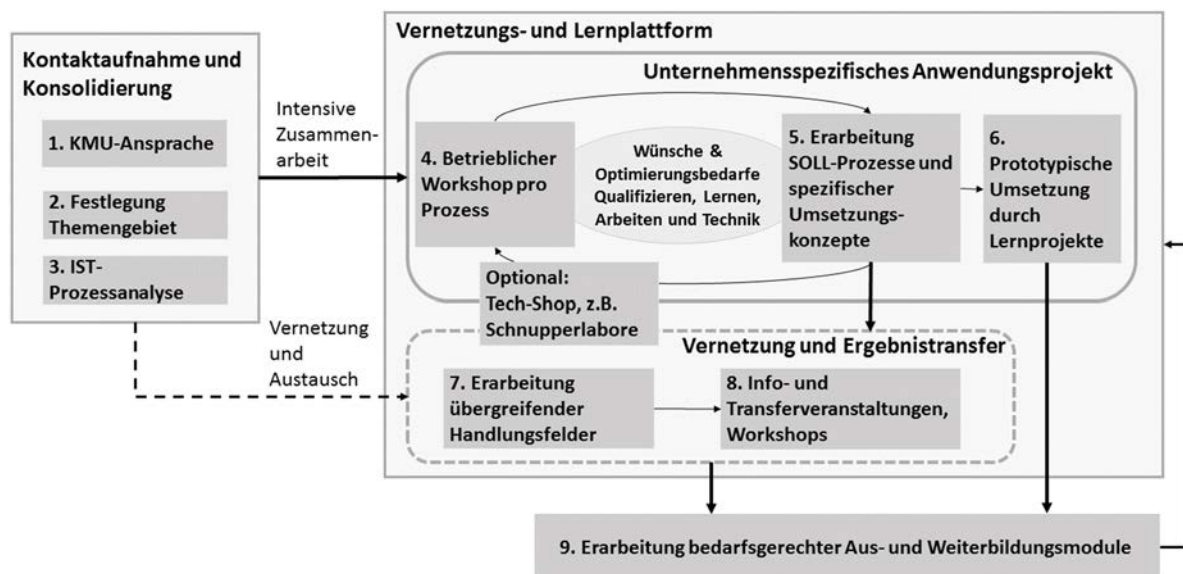


Abbildung 1: Vorgehensmodell zur Zusammenarbeit und Entwicklung von Bildungsmodulen für das Projekt DigiNet.Air

Hier erarbeitete Ergebnisse werden abstrahiert und für Vernetzung und Ergebnistransfer nutzbar gemacht.

Die Vernetzungs- und Lernplattform ergänzt die physischen Lernräume des Tech-Shops um eine virtuelle Plattform (virtuelles Projektlabor). Hier sollen Lerninhalte zur Verfügung gestellt, Lernprojekte dokumentiert und begleitet und unternehmensübergreifende Kommunikation und Kollaboration, insbesondere auch mit Methoden des agilen Arbeitens, ermöglicht werden.

Insgesamt werden die Ergebnisse der verschiedenen Projektschritte dazu genutzt, abzuleiten, welche Kompetenzen für die jeweiligen Prozessveränderungen nötig sind und parallel entsprechende Aus- und Weiterbildungsmodule zu konzipieren. Diese Module sollen sich dadurch auszeichnen, dass sie inhaltlich an den im Projekt ermittelten, tatsächlichen Kompetenzbedarfen der Unternehmen ausgerichtet werden. Die Module werden didaktisch und technologisch so konzipiert, dass sie in der beruflichen Bildungskette übergreifend eingesetzt bzw. absolviert werden können. So werden durch die Module keine spezifischen Berufsbilder ausgebildet, sondern zusätzliche Bildungs- und Qualifizierungskomponenten

für z.B. Auszubildende, Facharbeiter, Ingenieure und Führungskräfte geschaffen.

Das Konzept des Projekts trägt somit dem Umstand Rechnung, dass sowohl Informationen über Qualifizierungsbedarfe bei KMU, als auch entsprechend passende Qualifizierungsangebote für verschiedene Zielgruppen fehlen [Hom16].

Unsere ersten Anwendungen des Vorgehensmodells bei KMUs der Luftfahrtindustrie haben einen Bedarf für einen speziellen On-Site Support gezeigt. In diesem Paper werden wir dazu zwei Demonstratoren vorstellen, für die im Tech-Shop ein erster Prototyp erstellt worden ist.

Ziel ist es, am Beispiel die Kette entsprechend Vorgehensmodell (Abb. 1) exemplarisch aufzuzeigen und dadurch sowohl die Möglichkeiten bzgl. neuer Geschäftsprozesse als auch Arbeitsprozesse im interdisziplinären Team nach Methoden des agilen Projektmanagement zu erarbeiten.

Die erste Fallstudie untersucht die Möglichkeiten der Teleroobotik als Mensch-Maschine-Kommunikation im digitalen Raum durch den digitalen Zwilling. In der zweiten Fallstudie wird der Einsatz des digitalen Zwillings für immersives Lernen und Training mit einem kollaborierenden Roboter vorgestellt.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass keine vollständige Problemlösung für den On-Site Support entwickelt wurde, sondern ein Demonstrator als problemangepasste Lösung aus den Bereichen Digitaler Zwilling, Telerobotik, virtuelle Realität und immersives Lernen. Dabei betrachten wir insbesondere auch die Möglichkeit in diese komplexen Themen niederschwellig einzusteigen. Dies führt einerseits dazu, dass auch Neulinge in die Gebiete einsteigen können und andererseits zur besseren Abstimmung mit anderen Disziplinen wie z.B. der Didaktik oder den Arbeitswissenschaften, neben Themen wie der Robotik.

2 Erstes DigiNet.Air Konzept als Demonstrator für Arbeiten und Lernen in Industrie 4.0

Wir liefern einen Beitrag zur Kopplung von Produktionsarbeit und Lernen im Zeitalter von Industrie 4.0 und nutzen dabei die Technologie der virtuellen Realität, um eine besondere Form der Immersion zu erzeugen.

Im Kontext der virtuellen Realität bezeichnet "Immersion" den Zustand, in dem der Nutzer das Bewusstsein, sich in einer künstlichen Welt zu befinden, verliert. Er lässt sich mit allen seinen Sinnen auf das Erlebnis ein und kann, im Gegensatz zur filmischen "Immersion", mit der virtuellen Realität interagieren [Boc17].

Im Folgenden soll der für uns relevante Stand der Technik in den Bereichen Produktionsarbeit und Lernen vorgestellt und diskutiert werden.

2.1 Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0

Wir sprechen von der Produktionsarbeit der Zukunft, da wir keine konzeptionelle Trennung zwischen der Arbeit des Menschen und der eines Roboters machen wollen. Dabei schließen wir sowohl das Produzieren von Teilen bzw. Baugruppen als auch Dienstleistungen ein.

Für die Produktionsarbeit der Zukunft betrachten wir hier speziell die Telerobotik, die

eine weiterentwickelte Form der Teleoperation ist [Küh10], aber auch eine Ihrer Unterklassen [She95]. Als Realisierung der Telerobotik wählen wir das heute oft diskutierte Konzept des digitalen Zwillings. Für die Fallstudie zur Demonstration werden kostengünstige virtuelle Realitätsräume für Teleoperation bzw. Telerobotik verwendet.

2.1.1 Teleoperation und Telerobotik im Zeitalter von Industrie 4.0

Wir übernehmen hier die Definition der Teleoperation in Anlehnung an I. Kühl I. und A. Fay 2010: „Teleoperation ist die Erweiterung der sensorischen und manipulatorischen Fähigkeiten einer Person für das Wirken an einem entfernten Ort. Ein Teleoperator muss Sensoren, Arme und/oder Hände und multimodale Kommunikationskanäle von und zum menschlichen Bediener haben“.

Der Begriff der „Telerobotik“ kam im Zuge der Entwicklung des Faches Robotik auf und wird wie folgt definiert: „Telerobotik ist die weiterentwickelte Form der Teleoperation, bei der der menschliche Bediener als Überwacher fungiert; der Mensch formuliert Ziele, Nebenbedingungen, Pläne, Annahmen, Vorschläge und Kommandos, die durch einen zwischen geschalteten Computer an den Teleoperator übermittelt werden. Dabei erhält der Bediener Informationen vom System zurück, z.B. über den Stand der durch den Teleoperator erfüllten Aufgaben, über Schwierigkeiten, Bedenken und schließlich sensorielle Daten über den Teleoperator selbst und die Remote-Umgebung“ [Küh10].

Technisch betrachtet besteht die Teleoperation aus einem Master- und einem Slave-System. Im Master-System werden Modelle des Slave-Systems abgebildet, das von einem Bediener des Master-Systems gesteuert wird. Das Slave-System ist normalerweise in Bezug auf das Master-System disloziert und wird durch Befehle gesteuert, die vom Master-System über einen Kommunikationskanal gesendet werden [Hod15].

Der Einsatz von Virtual Reality (VR) - Anwendungen wurde nach Leinenbach bereits in 2000 im Zusammenhang mit Teleoperation-Systemen beschrieben. Nach Leinenbach (2000) gibt es einen Einsatz von VR in den Bereichen Medizin, Militär, Raumfahrt und in industriellen Umfeld bereits im Jahre 2000. Leinenbach sieht im industriellen Umfeld Anwendungen von VR bei der Bedienung und Wartung einzelner Maschinen oder komplexer Systeme, die sich entweder in einer für den menschlichen Benutzer gefährlichen, entfernen oder unzugänglichen Umgebung befinden. Mögliche Anwendungsbeispiele sind gefährliche Versuche oder Transporte von Gefahrstoffen innerhalb der chemischen Industrie oder die Reinigung nuklear verseuchter Behälter im Rahmen der Kernreaktortechnik. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die robotergestützte Bedienung von Versuchslabors im Weltraum. In all diesen Anwendungsfällen ist dem menschlichen Benutzer die Bedienung oder Wartung des betrachteten Systems aus sicherer Entfernung möglich [Lein00].

2.1.2 Erste Fallstudie: Telerobotik Demonstrator für den DigiNet.Air Tech-Shop

In der ersten Fallstudie untersuchen wir den Einsatz des Demonstrators für Telerobotik als Mensch-Maschine-Kommunikation im digitalen (virtuellen) Raum. Die Telerobotik wird hier nach T.B. Sheridan als Unterklasse der Teleoperation definiert [She95].



Abbildung 2: Digitaler Zwilling: realer und digitaler CoBot bewegen sich synchron in Echtzeit [Zim17]

Für den Demonstrator des Tech-Shops in DigiNet.Air wurde eine digitale Kopie eines UR 5 (CoBot - Collaborating RoBot des Typs UR 5 der Firma Universal Robot) erzeugt und mit einem realen UR 5 gekoppelt. Der virtuelle Roboter wurde als 3D Modell in die Game-Engine Unity importiert und dort mit direkter und inverser Kinematik ausgestattet.

Er kann so in gewünschte Posen verfahren und für erlebbare und interaktive Simulationen genutzt werden. Die Kommunikation zwischen virtuellem und realem UR 5 wurde über die Protokolle Modbus-TCP und TCP/IP umgesetzt.

Beide Roboter bewegen sich immer synchron in Echtzeit zueinander. Dadurch wurde die Grundlage für die Funktion eines digitalen Zwillings geschaffen (Abbildung 2). Der digitale Zwilling wird hier als Realisierung der Teleoperation betrachtet. Mithilfe des digitalen Zwillings lässt sich ein realer Roboter über das Internet fernsteuern und kann sich dabei an einem beliebigen mit dem Internet verbundenen Ort auf der Welt befinden. Neben dem Roboter werden eine Virtual Reality-Brille und die dazugehörige Rechner-Ausrüstung benötigt.

2.2 Lernen in der Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird die zweite Fallstudie vorgestellt. Hier wird der Demonstrator als Technologie für das immersive Lernen und Trainieren eingesetzt. Dabei werden wir insbesondere auf Gamification als wesentliche Erleichterung für den Einstieg ins Lernen und dessen Einfluss auf die Nachhaltigkeit des Lernens eingehen.

2.2.1 Immersives Lernen und Trainieren in der virtuellen Realität

Hier wird die Definition des immersives Lernens nach [Tra18] übernommen: „Immersives Lernen platziert Personen in einer interaktiven Lernumgebung, entweder physisch oder virtuell, um mögliche Szenarien zu replizieren oder spezifische Fähigkeiten oder Techniken zu lehren. Simulationen, Rollenspiele und virtuelle Lernumgebungen können als immersives Lernen betrachtet werden.“

Eine besondere Erweiterung des immersiven Lernens kann durch Gamification erreicht werden. Hier werden Lern- oder Trainingsumgebungen ansprechender und unterhaltsamer gestaltet, was letztlich die nachhaltige Nutzung überhaupt erst ermöglichen kann. Diese Ergänzung der traditionellen Lernumgebungen durch Spielelemente ist eine Möglichkeit, Lernprozesse zu schaffen, die die Aufmerksamkeit beim Lernen aufrechterhalten und das Lernen wirkungsvoller machen. Besonders für Personalentwickler und Manager ist "Gamification" eine sehr wirkungsvolle Möglichkeit, um das Lernen und dadurch die Leistung in Organisationen verbessern zu können.

Einige Autoren sehen in „Gamification“ eine wichtige und mächtige Waffe im Arsenal für Lernen, Marketing und Verhaltensänderungen jeglicher Art [Kap12].

Ruben van Dijk erläutert in seiner Bachelorarbeit [Dij16], die von Mitbegründern der Firma „Serious VR“ betreut wurde, wie eine virtuelle Trainingssimulation das Wissen über Maschinen an Mitarbeiter aller Ausbildungsstufen und Altersgruppen vermitteln kann. Dabei erwies sich die virtuelle Realität als eine der logischsten Lösungen für ein Trainingsspiel, da die Mitarbeiter dabei in der virtuellen Umgebung gleichzeitig lernen und weitestgehend realistisch arbeiten. Hierbei dürfen sie insbesondere auch Fehler machen, ohne schlechte Konsequenzen befürchten zu müssen.

Eine solche Trainingssimulation, d.h. Training in einer virtuellen Umgebung, kann nun mit dem digitalen Zwilling kombiniert werden. Dabei verhält sich der digitale Zwilling genauso wie sein reales Abbild.

2.2.2 Zweite Fallstudie: Demonstrator für immersives Lernen und Trainieren aus dem DigiNet.Air TechShop

In der zweiten Fallstudie wird der Demonstrator für das Lernen und Trainieren mit immersiven Gamification-Elementen eingesetzt. Dafür haben wir eine virtuelle Umgebung mit einem kollaborierenden Roboter entwickelt und implementiert. Ferner haben wir eine neue Form der Programmierung über parametri-

sierte Softwareblöcke geschaffen, die auch ungeübten Nutzern die Programmierung grundlegender Abläufe ermöglicht. Abbildung 3 zeigt den virtuellen Roboter und die Schnittstellen zu Programmierung.

Der digitale CoBot UR 5 wurde dabei mit einem realen Universal Robot 5 gekoppelt. So kann der Mitarbeiter lernen und trainieren ohne dass der Produktionsprozess unterbrochen wird. Es entstehen keine Ausfallkosten und die Produktionskapazität bleibt erhalten. Die Mitarbeiter lernen an Maschinen effektiv zu arbeiten, bevor sie echte Maschinen bedienen. So kann das Tauschen von Ersatzteilen, die Durchführung von Wartungsarbeiten oder sogar die Bedienung einer Maschine simuliert werden. Insgesamt werden die Trainingskosten drastisch reduziert.

Der digitale Zwilling wird hier also als Haupttechnologie für die Gestaltung bzw. Nachbildung der Lernumgebung verwendet.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt DigiNet.Air liefert ein Vorgehensmodell und Fallstudien speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Luftfahrtbranche, die als Zulieferer für die großen Unternehmen arbeiten. Dadurch werden die KMU beim digitalen Strukturwandel im Hinblick auf notwendigen Veränderungen in Geschäfts- und Arbeitsprozessen unterstützt, um die einhergehenden Qualifizierungsbedarfe allein oder Gruppen bewältigen zu können.

Modulare Qualifizierungskonzepte mit niederschweligen Eintrittsmöglichkeiten bilden die gesamte berufliche Bildungskette ab und ermöglichen auch deren Optimierung. Im Virtuellen Projektlabor (VPL) und im Tech-Shop können Technologien und neue Formen der Zusammenarbeit und des Lernens praktisch erprobt werden.

Im ersten Teil dieses Beitrags wurde das Vorgehensmodell von DigiNet.Air vorgestellt, Hier sind sowohl die didaktischen, als auch die für eine Verbesserung der Geschäftsprozesse notwendigen Schritte berücksichtigt. Für die KMU gibt es mehrere Möglichkeiten mit DigiNet.Air zu kooperieren, vom niederschwel-

ligen Laborformaten bis zum intensiven praxisorientierten Einsatz.

Anschließend haben wir den digitalen Zwilling als Demonstrator in zwei Fallstudien vorgestellt:

1. Fallstudie „Mensch-Maschinen-Interaktion im virtuellen Raum“. Als Technologie für die Produktionsarbeit der Zukunft wird die Telerobotik als weiterentwickelte Form der Teleoperation oder als Unterklasse der Teleoperation betrachtet und mit dem digitalen Zwilling realisiert.
2. Fallstudie „Immersives Training mit kooperativem Roboter“. Hier wurde der digitale Zwilling eingesetzt, um die Bedienung des Cobots zu erlernen oder bestimmte Arbeitsabläufe zu trainieren.

Insgesamt ergeben sich durch den Einsatz des digitalen Zwillings folgende Vorteile [Zim18]:

- Simulationen in VR sind erlebbar und interaktiv - man ist kein Zuschauer mehr, sondern kann aktiv teilnehmen und fühlt sich an den Ort des Geschehens versetzt.
- Die Ausbildung kann ohne realen Roboter durchgeführt werden.
- Die Ausbildung kann durch Gamification spannender gestaltet werden (spielerisches Erlernen).

- Der Lernende erhält direktes Feedback bei erfüllten Aufgaben.
- Die Angst vor Systemen kann genommen werden, denn mit der Simulation kann kein Schaden angerichtet werden.

Wir haben mit diesem Beitrag insgesamt gezeigt, dass:

- Der Einsatz des digitalen Zwillings als Demonstrator sowohl im Kontext von Arbeit bzw. Industrie 4.0, also auch im Bereich Lernen 4.0 vorteilhaft ist.
- Besonders durch die Kombination von Technologiekomponenten, wie z.B. die Kombination des digitalen Zwillings mit VR und einer Game-Engine können neue Anwendungsfelder, Geschäftsmodelle und Lernszenarien erschlossen werden.

In den nächsten Schritten sollen die Fallstudien in DigiNet.Air interessierten KMU als Basis für die Veränderung von Prozessen im Unternehmen vorgestellt und weitere Anwendungsfälle gefunden werden. Darüber hinaus sollen die Anwendungsszenarien anhand des vorgestellten Vorgehensmodells mit Unternehmen erprobt und evaluiert werden.

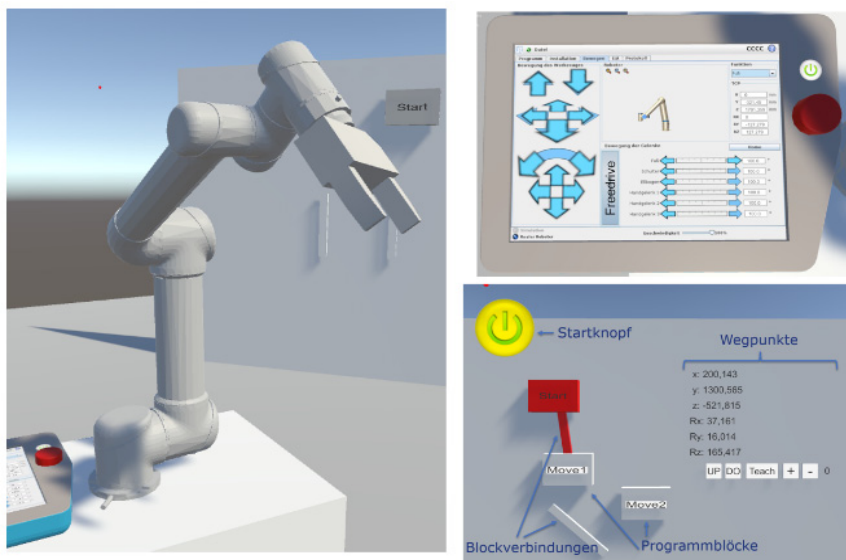


Abbildung 3: Der digitale Zwilling des UR – CoBot mit einer Schnittstelle zur Programmierung über parametrisierte Software-Blöcke [Zim18]

Literatur

- [Sta18] S. Stahl-Rolf, T.Mörsch, K. Reuß, R. Dobischat, K. Düsseldorf und A. Schäfer: Digitalisierung weiterdenken - Qualifizierungsbedarfe von KMU erkennen und im Netzwerk Fachkräfte für die Region sichern. DIHK Service GmbH, 2018.
- [Goe16] R. A. Goehlich, I. Krohne, R. Weidner, C. Gimenez, S. Mehler und R. Isenberg: Exoskeleton Portofolio Matrix – Organizing Demands, Needs and Solutions from an Industrial Perspective. Zweite transdisziplinäre Konferenz zum Thema “Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen”. HSU Hamburg, 2016.
- [Hom16] M. ten Hompel, R. Anderl, J. Gausemeier, Ch. Meinel, T. Schildhauer, M. Beck, N. Schaper, G. Maier, L. Nagel, J. Cirullies, G. Engelmeier, T. Flum, A. Heindl, T. Kaufhold, Ch. Schwede, M. Zajac, J. Winter und A. Heindl.: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. acatech, Fraunhofer IML und equeo, 2016.
- [Boc17] N. Bockholt: VR, AR, MR und was ist eigentlich Immersion. Think with Google. Online in Internet: URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/de-de/marketing-kanaele/innovative-technologien/vr-ar-mr-und-was-ist-eigentlich-immersion/> . Abrufdatum: 29.08.2018.
- [Küh10] I. Kühl und A. Fay: Eine Ontologie von Fernzugriffs-Begriffen. Conference: Effizientes Engineering von komplexen Automatisierungssystemen (EKA), Hamburg, 2010.
- [Hod15] A. Hodzic und E. Mujcic: Teleoperation system control based on the method for supervisory control with variable time delay. 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). Online in Internet: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7377480/> . Abrufdatum: 29.08.2018.
- [Lein00] S. Leinenbach: Interaktive Geschäftsprozessmodellierung – Dokumentation von Prozesswissen in einer Virtual Reality-gestützten Unternehmungsvisualisierung. ISBN 978-3-8244-9042-4, Wiesbaden, 2000.
- [She95] T. B. Sheridan: Teleoperation, telerobotics and telepresence: A progress report – Control Engineering Practice., Elsevier, Massachusetts 1995, Online in Internet: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096706619400078U>. Abrufdatum: 28.08.2018.
- [Zim17] M. Zimmermann und J. Hennings: Mensch-Maschinen-Interaktion im virtuellen Raum. Bachelorprojekt im WS17. HAW Hamburg, 2017.
- [Tra18] Training Industry, Inc.: Immersive Learning, Online in Internet: URL: <https://trainingindustry.com/glossary/immersive-learning/>. North Carolina, Abrufdatum: 28.08.2018.
- [Kap12] K. M.Kapp: The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education. ISBN: 978-1-118-09634-5, United States, 2012.
- [Dij16] R. van Dijk: Concept Design for a Virtual Training Simulation with Game Elements. Bachelor Assignment Industrial Design University of Twente. Enschede, 2016.
- [Zim18] M. Zimmermann: Immersive Training mit kollaborierendem Roboter. Studienarbeit SS18, HAW Hamburg, 2018.

Der Beitrag technografischer Analysen zur partizipativen sozio-technischen Assistenzsystemgestaltung für eine Weberei 4.0

A. Fohn¹ und A. Altepost²

¹ RWTH Aachen University, Institut für Soziologie,
Lehrstuhl für Technik- & Organisationssoziologie
afohn@soziologie.rwth-aachen.de

² RWTH Aachen University, Institut für Textiltechnik,
Lehrstuhl für Textilmaschinenbau
andrea.altepost@ita.rwth-aachen.de

Kurzzusammenfassung

Dieser Artikel zeigt, was technografische Analysen zur partizipativen Entwicklung digitaler Assistenzsysteme beitragen können. Zu diesem Zweck wurde ein empirisch analysierbarer Use-Case, im Rahmen des Rüstprozesses einer Webmaschine mit der Unterstützung eines Assistenzsystems, unter realen Bedingungen entwickelt. Die Integration von technischen Daten, subjektiven Wahrnehmungen sowie Beobachtungen des Forschungsteams, die auf das spezifische Erkenntnisinteresse ausgerichtet sind, ermöglicht eine umfassende Analyse der Handlungen von technischen Einheiten und sozialen Akteuren sowie der Mensch-Maschine-Interaktion. Der technografische Ansatz erfordert ergänzende Instrumente aus dem Kontext der Beobachtungssituation sowie eine Generalisierung und den Transfer.

Abstract

The contribution of technographic analyzes to the participatory socio-technical assistance system design for a weaving mill 4.0

This article shows what technographic analyses can contribute to the participatory development of digital assistance systems. To this end, an empirically analyzable use case was developed under real conditions as part of the setup process of a weaving machine with the support of an assistance system. The integration of technical data, subjective perceptions as well as observations of the research team, which are focused on the specific epistemological interest, enables a comprehensive analysis of the actions of technical units and social actors as well as human-machine interaction. The technographic approach requires supplementary instruments from the context of the observational situation as well as generalization and transfer.

Keywords

Soziotechnische Systeme, partizipative Assistenzsystemgestaltung, technografische Analysen, Webmaschine, Industrie 4.0

1 Forschungssetting

Die Digitalisierung nimmt unmittelbaren Einfluss auf bestehende Techniken und wird darüber auch in die Arbeitswelt distribuiert, so dass viele Arbeitsplätze einem Wandel unterliegen [Neu18]. Maschinen entwickeln sich zusehends zu hochkomplexen Systemen, die

um sensorische Technik ergänzt werden. Daten können in großen Mengen erfasst, gespeichert und verarbeitet werden und die Vernetzung im Produktionskontext expandiert deutlich [Neu18]. Die Digitalisierung und Vernetzung sind auch in der textilen Wertschöpfungskette herausfordernde Determinanten, die nicht nur über die Wettbewerbsfähigkeit

deutscher Textilunternehmen entscheiden, sondern auch darüber, wie sich die deutsche Textilindustrie und damit die Arbeitsplätze der MitarbeiterInnen in Zukunft modifizieren werden. Insbesondere die überwiegend mittelständisch geprägten Webereien befinden sich gegenwärtig erst am Beginn ihrer digitalen Transformation zur „Industrie 4.0“. Die modernen Webmaschinen werden zwar komplexer und erfordern schnell umfängliche Kompetenzanpassungen der MaschinenbedienerInnen, doch die für Industrie 4.0 typische Vernetzung zwischen cyber-physikalischen Systemen ist noch eher selten vorzufinden. Gleichzeitig ist der Textilsektor stark durch demographische Veränderungen geprägt, so dass der Anteil von MitarbeiterInnen über 45 Jahren höher ist als in anderen deutschen Industrien. Die Belegschaftsstrukturen stellen sich als sehr heterogen dar. Erfahrungswissen und betriebsspezifisches Wissen sind stark an einzelne Akteure gebunden [Foh16].

Um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, den diversen MitarbeiterInnen und ihren Bedürfnissen gerecht zu werden, die Attraktivität der Branche für Fachkräfte zu erhöhen sowie lebenslanges Lernen zu ermöglichen, bedarf es folglich spezifischer Unterstützungssysteme und flankierender Maßnahmen, die dezidiert auf diese Anforderungen des Sektors zugeschnitten sind. Die interdisziplinäre Nachwuchsforschergruppe SozioTex am Institut für Textiltechnik und am Institut für Soziologie der RWTH Aachen University – gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung – arbeitet an einem ganzheitlichen Vorgehensmodell zur Entwicklung und Implementation eines solchen Unterstützungssystems für die Weberei. Die erfolgreiche Konstruktion von akzeptierter und gewollter Technik, steht in starker Abhängigkeit zu organisationalen Aushandlungsprozessen [Häu14], sodass die Konzeption und die arrivierte Implementation technischer Unterstützungssysteme entscheidend durch die sozialen und technischen Voraussetzungen und die damit verbundenen Interaktionen und Interessen der Beteiligten tangiert sind. Nega-

tive Konnotationen, etwa eine befürchtete Abnahme der menschlichen Handlungsfreiheit sowie der Interventions- und Kontrollmöglichkeiten [Wey06] können zu erheblichen Wettbewerbsnachteilen führen. Damit werden neue partizipative Forschungs- und Entwicklungsbestrebungen erforderlich, die die hybriden Systeme ganzheitlich – technisch und sozial – untersuchen und entwickeln.

Im Kontext dieser gesamtheitlichen Betrachtung von Technikentwicklung, ihre Bedingungsfaktoren und ihrer Folgen wird vermehrt von soziotechnischen Systemen gesprochen. In einem soziotechnischen System – einer spezifischen Konstellation aus Menschen und (sozialen) Technik(en) – ist das Handeln zwischen diversen Handlungsträgern, wie technischen Artefakten, Techniken und menschlichen Körpern, verteilt [Ram07]. Daher muss auch der Forschungsfokus darauf gerichtet werden, dass Technik selbst handelt beziehungsweise graduell mithandelt [Ram07]. So können Webmaschinen, gleichermaßen wie auch Menschen, während des eigentlichen Webprozesses – etwa beim Rüstprozess – die Handlungsträgerschaft übernehmen. Veränderungen von soziotechnischen Systemen und Modulationen der graduellen Handlungsträgerschaft stehen in einem interdependenten Verhältnis.

Dieser Beitrag zeigt anhand des Forschungsdesigns des Projektes „SozioTex - Neue soziotechnische Systeme in der Textilbranche“, was technografische Analysen zur partizipativen Assistenzsystemgestaltung für eine Weberei 4.0 leisten können. Es werden Ableitungen für den generellen Einsatz der Technografie vorgeschlagen und gleichzeitig ihre praxisrelevanten methodischen Grenzen verdeutlicht.

2 Forschungsdesign und Technografie

SozioTex intendiert die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Herausbildung und Implementierung von Assistenzsystemen in diversen Settings, ausgehend von einem ersten Anwendungsfall in Webereien der textilen Industrie. Um das Technische ebenso wie das Soziale bei der Assistenzsystementwicklung

zu berücksichtigen, wurde ein neues Forschungsdesign entwickelt, das sich aus der Technografie im Sinne Werner Rammerts ableitet. Technik ist nach dem Verständnis von Werner Rammert in vielfacher Weise Teil der sozialen Handlung. Er führt daher das Konzept der Technik-in-Aktion ein, durch das die unterschiedlichen Aktivitätsgrade der Technik festgehalten und aufbereitet werden [Ram08]. Durch diese Betrachtungsweise wird es möglich, die Handlungsträgerschaft in einem soziotechnischen System beschreibbar zu machen. Durch dezidierte Beobachtung aus unterschiedlichen relevanten Perspektiven sowie die Kombination verschiedener Eindrücke zu einem ganzheitlichen Bild werden die Handlungen den Trägern zugeordnet und können so in ihren graduellen Abstufungen unterschieden werden [Ram07]. Rammert transferiert dieses Verständnis von Technik in sein eigenes Forschungsprogramm, die Technografie [Ram07]. Sie dient der empirischen Beobachtung und Beschreibung soziotechnischer Systeme und nutzt, in Anlehnung an die Ethnografie, sozialwissenschaftliche Methoden, wie u.a. Beobachtungen, Interviews und fotografische Dokumentationen. Zusätzlich werden jedoch auch technische Instrumente zur Datenerfassung verwendet, wie beispielsweise „das Speichern von Logfiles oder die Durchführung von Interaktivitätsexperimenten“ [Jan14]. Diese vielseitigen Methoden erscheinen gut geeignet für die Erforschung der soziotechnischen Systeme samt der ihnen inhärenten systemspezifischen Prozessen. Darauf baut die gezielt beteiligende Entwicklung eines bedarfsorientierten technischen Assistenzsystems, das etwa Rüstprozesse an Webmaschinen unterstützt, auf. Im Projekt SozioTex dient die Analyse der Mensch-Technik-Interaktion zudem der weiteren Entwicklung und Gestaltung des soziotechnischen Systems und dem Erkenntnistransfer in andere industrielle Settings. Hierzu sind die Chronologie der Entwicklung sowie die Generalisierung auf andere Kontexte in der Analyse zu berücksichtigen.

2.1 Beschreibung als Gestaltungsgrundlage

Die detaillierte Beschreibung und Zuordnung von Handlungsträgerschaft ermöglicht eine ideale Gestaltungsgrundlage, anhand derer sehr genau erkenntlich wird, wo Probleme im soziotechnischen System vorliegen und gegebenenfalls nachjustiert werden muss: Bedarf es Änderungen der Technik oder müssen beispielsweise soziale Prozesse stärker in den Blick genommen werden? Das angewandte Forschungsdesign ist humanzentriert, d. h. partizipativ auf die Bedürfnisse der zukünftigen AnwenderInnen ausgerichtet. Mittels der Technografie soll festgestellt werden, ob sich z. B. die Mensch-Technik-Interaktion im Sinne der Beteiligten entwickelt. Dazu werden Momentaufnahmen zu Zeitpunkten (t_1 , t_2 , ...) des soziotechnischen Systems beschrieben und analysiert. Die NutzerInnen bestimmen maßgeblich mit, wie sich das Unterstützungssystem entwickeln wird. Ein erstes Funktionsmodell des Unterstützungssystems wurde aus einer dezidierten Bedarfs- und Anforderungsanalyse abgeleitet. Hierzu wurde zunächst die Konstellation Webmaschine – Mensch untersucht. Als wesentliche funktionale Anforderungen an die zu entwickelnde Unterstützung ergaben sich die Lernförderlichkeit des Systems, die Fokussierung auf den Rüstprozess des Kettbaumwechsels an der Webmaschine und die Implementierung einer Kommunikationskomponente. Im Entwicklungsprozess spielen ELSI-Aspekte (Ethic, Legal and Social Issues) als Leitlinie und Evaluationskriterium eine maßgebliche Rolle.

2.2 Design und die SozioTex-Applikation

Unter Berücksichtigung dieser Maßgaben entstand das digitale Assistenzsystem als Tablet- und Smartphone-Applikation namens SozioTex-App. Diese beinhaltet in der aktuellen Version folgende Funktionen:

- Handlungsanweisungen für die Arbeitsschritte
- Kommunikation via Instant Messenger
- Abrufen von Maschinendaten (Fadenspannung, Energieeffizienz)
- Lerntool mit dezidierten Hilfestellungen zu Arbeitsschritten

- Lokalisation der Maschinen anhand einer 3-D-Raum-Visualisation der Weberei

Beim Design, der „Gestaltung der Oberfläche eines technischen Artefakt[s] bzw. einer Technologie“, das für die Anschlussfähigkeit menschlicher Wahrnehmung und Handlung unabdingbar ist [Häu14], wurden demografische Aspekte berücksichtigt wie beispielsweise die Möglichkeit zur Vergrößerung von Bildern beim Interface. Mit dem Lerntool wurde zusätzlich die Möglichkeit zur Nutzung von Videotutorials geschaffen. Dafür wird derzeit eine externe webbasierte Plattform genutzt. Diese ermöglicht zwar für die NutzerInnen bereits einen nahtlosen Zugriff in der SozioTex-App, jedoch muss die Schnittstelle etwa für die Logdateianalysen noch weiterentwickelt werden, um sie zur Analyse entsprechend verwerten zu können.

Das erweiterte technografische Forschungsdesign wird im folgenden Abschnitt näher beleuchtet.

3 Forschungsmethoden und Analysen

Für das empirische Forschungsdesign im Projekt SozioTex werden mannigfaltige komplementäre Methoden eingesetzt, sodass ein möglichst präzises Bild des soziotechnischen Systems erfasst werden kann. Diese detaillierten Beschreibungen dienen dann den Analysen zur agilen Weiterentwicklung des Systems. Insofern ist die Validierung der Methoden erst in der praktischen Erprobung im Unternehmenskontext vollends möglich, denn die technografische Analyse hat hier die partizipative Entwicklung des soziotechnischen Systems zum Ziel. Gleichzeitig zielt die Auswahl der methodischen Elemente auf eine Kreuzvalidierung. Globale Eckpfeiler des Forschungsdesigns sind die sehr diversen Untersuchungsorte und ProbandInnen sowie das grundsätzlich iterativ und handlungsorientiert angelegte Forschungshandeln.

3.1 Analysen in Laboren und Unternehmen

Da neue soziotechnische Systeme „lokal und situativ“ [Jan14] entstehen, erfolgen die Analysen von u.a. Unterstützung, Design, Usability, Lernförderlichkeit, Wirtschaftlichkeit

und Akzeptanz des Assistenzsystems methodisch sowohl in Laboren und Lernfabriken als auch in Unternehmen. Dadurch kann das System fortlaufend ergänzt oder überarbeitet werden. Die Settings Labor und Unternehmen lassen eine umfassende und sehr realitätsnahe Untersuchung der Handlungsträgerschaften und Verteiltheit von Handlungen in soziotechnischen Systemen zu. So könnte die Verteiltheit unter Umständen in Unternehmen anders ausfallen als in einer Laborsituation, die die organisationalen soziotechnischen Systemfaktoren, wie etwa Organisationskultur, ausklammert. Systemvoraussetzungen und die damit verbundenen Interaktionen und Interessen der beteiligten Anspruchsgruppen können so selektiert und in die Gestaltung einbezogen werden. Gleichzeitig gewährleistet das Labor Wiederholbarkeit unter gleichbleibenden Bedingungen und eine leichtere Kontrolle von Störvariablen.

3.2 Iteratives Vorgehen

Die iterative Anwendung der Methoden zur Assistenzsystementwicklung basiert im Kern auf der Annahme, dass Innovationen sich über größere Zeitspannen heraus in kontingenten Zusammenhängen durch unterschiedliche Arten des Zusammenspiels von sozialen Akteuren und technischen Dingen bilden und entstehen [Ram06]. Das soziotechnische System – ursprünglich konzipiert aus Mensch(en) und Webmaschine im Unternehmenssetting mit allen ihm inhärenten Voraussetzungen – verändert sich fortan. Mit dem Assistenzsystem – basierend auf Bedarf und Anforderungen, also Ableitungen aus dem soziotechnischen System selbst heraus – wird eine neue Schnittstelle eingespeist, wodurch sich ein Wandel des gesamten Systems vollzieht.

3.3 ProbandInnen-Spektrum und Use-Case

Das Spektrum der ProbandInnen ist breit aufgestellt, damit die Entwicklung möglichst allumfassend Anforderungen, Meinungen und Merkmale der zukünftigen NutzerInnen abbildet. Sowohl erfahrene WebmaschinenbedienerInnen und Auszubildende in der Weberei

als auch Studierende und MaschinenbedienerInnen, die noch nie an einer Webmaschine gearbeitet haben, bilden heterogene Nutzergruppen dieser partizipativen Technikentwicklung ab. Zur Untersuchung des aktuellen Assistenzsystems wurde ein Use-Case entwickelt, der in dem Rüstprozess einer Luftwebmaschine eingebettet ist. Er umfasst die letzten Arbeitsschritte dieses Prozesses bis zum Anweben, das auch als Qualitätsprüfung der durchgeführten Rüstarbeiten aufgefasst werden kann. Der Use-Case beinhaltet diverse Schraub-, Fädel-, und Justiervorgänge, die für die ProbandInnen mit motorischen und kognitiven Anforderungen sowie dem Erlernen spezifischer Prozesskenntnisse verbunden sind. Der Anwendungsfall inkludiert außerdem den fingierten Fehler, dass den ProbandInnen ein benötigtes Werkzeug vorenthalten wird, um zu testen, wie in solch einer Situation reagiert wird. Fordern die ProbandInnen Hilfe durch das Kommunikationstool an? Wird der Fehler trotz Assistenz gar nicht erst entdeckt? Wird das Lerntool angesteuert, um zu überprüfen, ob das Werkzeug tatsächlich für den Arbeitsprozess notwendig ist? Des Weiteren werden die ProbandInnen während des Versuchs durch den Instant-Messenger kontaktiert, denn in der Arbeitsumgebung in einer Weberei ist bislang die Kommunikation aufgrund lauter Maschinengeräusche stark eingeschränkt [Foh16]. Es wird exemplarisch untersucht, ob und wie das Kommunikationstool genutzt wird, ob die Nutzung eher störend ist oder ablenkt und zudem inwieweit das Assistenzsystem erfahreneren MitarbeiterInnen bei einer Störung behilflich sein kann, wieder in den regulären Arbeitsablauf zurückzufinden.

3.4 Methodenmix

Der erweiterte technografische Methodenmix setzt sich zusammen aus klassischen quantitativen Befragungen und qualitativen Interviews sowie dazu ergänzenden neueren technischen Methoden, wie der Videografie, der Logdateienanalyse und Bildschirmaufzeichnungen. Die einzelnen Methoden sind für sich jeweils komplex, sodass sie nachfolgend erläutert werden.

3.4.1 Videografie, Logdateienanalyse

Kern des Methodenmix bildet das Tracking von Logdateien im Zusammenspiel mit Bildschirmaufzeichnungen. Die verschiedenen Funktionen des Assistenzsystems werden allesamt anhand des Use-Cases erprobt, wobei alle ProbandInnen gefilmt werden. Zum einen wird dafür eine GoPro Hero eingesetzt, um die ProbandInnen nicht durch ein zu großes technisches Gerät zu stören und um durch die Weitwinkel-Optik ein größeres Spektrum des Arbeitsprozesses videografisch festhalten zu können. Zusätzlich erfolgt eine Aufnahme des gesamten Versuchssettings mittels eines Full-HD Camcorders. Beides geschieht, um den Arbeitsprozess detailliert zu erfassen, die Reproduzierbarkeit der Daten zu gewährleisten, somit die Interreliabilität verschiedener BeobachterInnen ermitteln zu können und eine spätere Kreuzvalidierung mit den quantitativen und qualitativen Methoden zu ermöglichen.

Die Logdateien sind Protokolle, die mit einem Zeitstempel speichern, wann die NutzerInnen welche Aktivität in der App ausgeführt haben. Im Rahmen der SozioTex-App wird im derzeitigen Systemzustand u.a. erfasst, ob die ProbandInnen Maschinendaten ablesen, beispielsweise Statistiken, das Lern- oder das Kommunikationstool anklicken. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe von deskriptiven statistischen Verfahren, sodass spezifische Klick-Muster und damit Handlungsmuster visualisiert und verglichen sowie Häufigkeiten untersucht werden können. Logdateien können mit u.a. Bildschirmaufzeichnungen in einen aufgabenbezogenen Zusammenhang gestellt werden. Bedienfehler fallen in die zu beschreibende und untersuchende Handlungsträgerschaft der ProbandInnen. Manuell während des Use-Case geführte Beobachtungsaufzeichnungen runden das Bild der technografischen Methoden ab, indem Aspekte des Verhaltens der ProbandInnen – beispielsweise Nervosität, einsetzender Stress – vermerkt werden und so zum Beispiel auf fehlerhafte Durchführung eines Arbeitsschrittes bezogen werden können.

3.4.2 Quantitativ und qualitativ

Die Vergleichbarkeit der Projektergebnisse und Zurechenbarkeit zu interessierenden soziodemografischen Merkmalen wie Berufserfahrung, Geschlecht oder Alter wird durch standardisierte Fragebögen erreicht, ebenso werden validierte Skalen für einige Konstrukte subjektiver Wahrnehmung bzw. Einstellungen verwendet.

Vor der Durchführung des Use-Case werden demografische Daten sowie die Technikaffinität [Kar09] der ProbandInnen erfasst. Items wie „Wenn ich neue Techniken nutze, dann habe ich das Gefühl, dass ich die Kontrolle über die Nutzung habe“ adressieren die Wahrnehmung der Handlungsträgerschaft im soziotechnischen System. Ein verhaltensbezogener Indikator misst zusätzlich die technische Affinität, indem sich die ProbandInnen zwischen einem ausgedruckten Fragebogen und einem Onlinefragebogen entscheiden müssen. A posteriori werden die Usability (in Anlehnung an die Usability Scale) und Akzeptanz (anhand ausgewählter und adaptierter Fragen in Anlehnung an das TUI – Technology Usage Inventory) [Kot13] des Assistenzsystems sowie die subjektive Beanspruchung anhand des NASA Task Load Index (TLX) erhoben (Har88, Har06). Als qualitative Methode kommt anschließend ein 30-minütiges leitfadengestütztes Interview zur Beschreibung des soziotechnischen Systems zum Einsatz. Hier können u. a. Antworten aus dem standardisierten Fragebogen bei Bedarf hinterfragt und ergänzt werden. In Kombination mit den Ergebnissen der technografischen Analyse des Use-Case kann ein sehr detailliertes und umfangreiches Bild des soziotechnischen Systems gezeichnet werden, insbesondere der Verteilung von Handlungsträgerschaft.

3.5 Systematisierende Kreuzvalidierung

In Pretests wurden die grundsätzliche technische Funktionsfähigkeit des Assistenzsystems im Use-Case geprüft und die eingesetzten Methoden, bisher jeweils separat, vorgetestet. Die Ergebnisse aller Instrumente können letztendlich wie Schablonen in einer systematisierenden Kreuzvalidierung übereinandergelegt

werden. Fragebogen, Interview-Transkripte, Videografie- und Logdateianalysen ermöglichen eine sehr weitgehende Interpretation von Handlungsverteilungen, wie beispielsweise wahlloses Umherklicken der ProbandInnen in der SozioTex-App, indem in der Videografie Zeichen von Nervosität eventuelle Fehler in der Aufgabendurchführung und Hinweise auf Übernahme der Handlungsträgerschaft durch die technischen Artefakte aufgefunden werden können. Werden via Kommunikationstool KollegInnen kontaktiert, kann dies in den Arbeitsvollzug eingeordnet und die Wahrnehmung der NutzerInnen anhand des NASA TLX im Interview nochmals abgeglichen werden.

Erste Erfahrungen zeigen, dass die Zusammenschau mehr als nur die Summe der Einzelergebnisse produziert, vielmehr werden diese eindeutiger interpretierbar. Als Beispiel kann ein Pretest aus dem August 2018 dienen. Hier erledigten drei ProbandInnen die Use-Case-Aufgabe ausschließlich mit dem im Assistenzsystem enthaltenen Lerntool. Von Testperson 03 wurden die inkludierten Videos nicht genutzt. Im Leitfadeninterview gab die Person an, diese aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung nicht benötigt zu haben. Hingegen zeigt das Beobachtungsprotokoll, dass sie einige fehlerhafte Handlungen vollzogen hat. Gleichzeitig offenbart das Bildschirmscreening ein häufiges Hin- und Her-„Swipen“ der Fotos zu den Arbeitsschritten, also ein häufiges Wischen zum Wechsel der Anzeige. Dies hat die Testperson 03 insgesamt 82-mal durchgeführt, die beiden anderen Teilnehmerinnen jedoch nur 57- bzw. 54-mal.

Die Testperson hat nach eigenen Angaben noch nie an einer Webmaschine gearbeitet und noch keinen Kettbaumwechsel durchgeführt. Die angeführte Erfahrung erscheint daher eher als statusrelevant und die Nutzung des Assistenzsystems als überflüssig, da die Kompetenz und Erfahrung der Testperson in Frage gestellt werden könnte – und man ihr möglicherweise die Handlungsträgerschaft aberkennt. Der a priori-Fragebogen weist eine eher geringe Affinität zu elektronischen Medien aus, insbesondere wird nicht erwartet, dass diese den

Alltag erleichtern und helfen, an Informationen zu gelangen. Daran gemessen, fällt a posteriori die Beurteilung des Assistenzsystems durchaus positiv aus. Im Arbeitsalltag würde die Testperson sich eine solche Unterstützung wünschen. Gleichzeitig hat sie jedoch relativ hohe Unsicherheit und Stress erlebt. Auf den Interpretations- und Wahrnehmungshintergrund insbesondere von erfahrenen MitarbeiterInnen muss durch geeignete Vorbereitung eingegangen werden, um Handlungsträgerschaft zu unterstützen.

Damit ist der Befund im Einklang mit der entwickelten Idee, dass eine solche Vorbereitung partizipativer Mitwirkung erforderlich sein könnte [Sel93]. Der Vergleich von Ergebnissen ermöglicht es also insbesondere auch, zu erfassen, welche der Handlungsträger in dieser Situation welchen Grad der Handlungsträgerschaft übernommen hat und wo Probleme im System aufgetreten sind. Zeigt sich zukünftig z.B. in den quantitativen und qualitativen Ergebnissen, dass die Testperson eine geringere Technikaffinität und ein höheres Alter aufweist, sowie Probleme in der Nutzung des Assistenzsystems hat, zum Beispiel, dass sie oder er im Use-Case an dem fingierten Fehler scheitert, Arbeitsschritte nicht richtig abrufen oder keine Hilfe anfordern kann oder mit dem Kommunikationstool nicht zurechtkommt, so müsste dann die Anschlussfähigkeit der App für ältere NutzerInnen mit geringerer Technikaffinität nachgebessert werden. Das heißt, in diesem Fall hätte das Tablet zwar einen hohen Grad der Handlungsträgerschaft, jedoch würde diese nicht als zielführende Assistenz fungieren und müsste daher verbessert werden. Stellt sich jedoch heraus, dass der Testperson ein höherer Grad an Handlungsträgerschaft in einer problematischen Situation zuzuschreiben ist – beispielsweise fehlendes Wissen über generelle Maschinenbedienung, Werkzeug- oder Fadenkunde – so können Schlussfolgerungen über Inhalte des Lerntools sowie zu erforderlichen Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen abgeleitet werden. Die Veränderungen und Einspeisungen sowie Einpassung in das soziotechnische System verändern dieses wieder, sodass es wiederum

in einer iterativen Schleife überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden muss.

4 Konklusion und Ausblick

Technik ist eingebettet in soziotechnische Systeme, in denen Handlungen verteilt auf Menschen und technische Entitäten beziehungsweise in deren Zusammenspiel erfolgen. Die Entwicklung neuer Techniken, sowohl als materielles Artefakt wie auch als (Prozess-)Technologien, ist daher ein sozialer Prozess. Er „beruht auf kollektiven Wissensbeständen, Handlungsmustern, Wertvorstellungen und Zukunftserwartungen“, auf Annahmen über technische Entwicklungschancen und über aktuelle oder zukünftig erwartete Nutzerbedürfnisse sowie auf den Strategien und institutionellen Rahmenbedingungen der Akteure im Innovationsgeschehen [Sch08]. Dessen Erforschung und Gestaltung verlangt nach einem iterativen Vorgehen und neuen innovativen Forschungsdesigns. Die Rekombination von qualitativen und quantitativen Forschungsmethoden sowie technischen und technografischen Methoden kommt dieser Anforderung nach einem neuen und innovativen Forschungsdesign schon sehr nah. Die Kreuzvalidierung der diversen Daten aus den unterschiedlichen Instrumenten vermag eine komplexe Analyse von Technischem und Sozialen im Zusammenspiel zu leisten, wenn eine sorgfältig systematisierende Auswertungsstrategie zugrunde gelegt wird. Es ist zu konstatieren, dass durch das Forschungsdesign und der damit einhergehenden ergänzenden Verwendung von Daten eine massive Komplexitätssteigerung erfolgt, die sich auch auf die Interpretation der Daten auswirkt.

Um das iterative Vorgehen in SozioTex empirisch abzubilden, muss sich auch ein Versuchsdesign weiterentwickeln können. Die Technografie ist eher zur Analyse von Systemzuständen denn für längsschnittige Prozesse konzipiert. Dennoch bietet sie einen praktikablen Ansatz für die Analyse der Gestaltung soziotechnischer Systeme nicht nur aufgrund des reichhaltigen Spektrums der angebotenen Methoden. Die Beschreibung des Entwicklungsprozesses kann beispielsweise

durch technografische Analysen zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten ermöglicht werden. Ihr Verdienst ist zunächst die Einsetzbarkeit in Lebenswelt- oder Reallabor-Kontexten. Die Rückmeldungen aus den ersten Pretests für das SozioTex-Projekt lassen den Schluss zu, dass der Use-Case als realistische Arbeitssituation empfunden wird und daher die Validität der Ergebnisse hoch ist. Damit stehen die Entwicklung einer neuen Technik und die sozialen Folgen einer technischen Entwicklung ebenso wie ihre untrennbar interdependente Beziehung zueinander gleichermaßen im Analysefokus.

Die partizipative soziotechnische Systemgestaltung wird in SozioTex mit Hilfe technografischer Analysen wissenschaftlich erprobt und Technik wird praxisnah gemeinsam in Interaktion mit AkteurInnen der Textilindustrie entwickelt. Technografie ist ferner gekennzeichnet durch die multiperspektivische Betrachtung der verschiedenen technik- und individuumseitigen Handlungsbeiträge, auf die sie den Blick lenkt, und das Angebot der Kategorisierung verschiedener Handlungsgrade, in die das empirisch Beobachtete systematisiert werden kann. Ausdrücklich bezieht sie die gemeinsame Handlung von (hier digitaler) Technik und Mensch ein, indem sie etwa die Logdateien im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion beschreibbar macht und dadurch ForscherInnen eine Erweiterung des Analysefokus verschafft.

In der Technikentwicklung ergibt sich hier die erste Schwierigkeit, da in einem frühen Stadium einer Applikation oftmals nicht auf aufschlussreiche Logdateien zurückgegriffen werden kann und unter Umständen nur rudimentäre Prozesse, wie beispielsweise der Login eines Benutzers, ablesbar wären. Im beschriebenen Pretest wurde dies teilweise durch Screen-Recording kompensiert. Lässt sich ein solches Manko noch durch findigen Einsatz alternativer Werkzeuge beheben, fehlt der technografischen Perspektive aus strukturellen Gründen noch einiges zur Ganzheitlichkeit. Insbesondere mangelt es an vergleichbaren Instrumenten zu (hier arbeitsbezogenen) Aspekten des soziotechnischen Systems, wie

etwa der Beanspruchung, also der subjektiven Auswirkung von Belastungen, oder zur subjektiv empfundenen Usability in vorgegebenen, weil evident relevanten Kriterien. Das hat seinen Grund – diese Resultate können umgehend im Sinne einer Evaluation verwendet werden, was nicht der Zielsetzung der Technografie entspricht. Um diese realistisch in Technikentwicklungsprojekten anwenden zu können, benötigt sie Elemente, die Transfer begünstigen, aber auch durch den Kontext des Forschungsproblems – hier die Arbeitssituation – vorgegeben sein können: So ist die Beanspruchungsmessung ein erster Schritt hin zur anstehenden Gefährdungsbeurteilung bei der Implementation des Systems in Unternehmen.

Das der Technografie eingeschriebene Grundkonzept der Methodentriangulation ist keine neue Idee, man erinnere sich etwa an die Marienthal-Studie [Jah33]. Die Technografie fügt den sozialen Akteuren ein technologisches Pendant hinzu. Deskriptive Maschinendaten eröffnen besonderes Potenzial für die empirische Analyse innovativer, vernetzter cyberphysikalischer Systeme etwa im Rahmen der Industrie 4.0. Dabei wäre z. B. an die Entwicklung relationaler Messgrößen als Grundlage für die Darstellung von Mensch-Technik-Netzwerken zu denken. Die Logfile-Analyse bietet dabei ein Höchstmaß an Datenpräzision, indem sie z. B. Beobachtungsfehler verhindert. Die Herausforderung besteht darin, sie erstens an die technische Entwicklung zu adaptieren – z. B. Technologien künstlicher Intelligenz in den Blick nehmen zu können – und sie zweitens für den jeweiligen Kontext mit anderen Instrumenten – z. B. arbeitswissenschaftlichen Erhebungsverfahren – zu integrieren.

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung – Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH – für die Förderung des Projekts, sowie den SozioTex-Kollegen, insbesondere Mario Löhner, Arash Rezaey und Fabian Schreiber, in deren Aufgabenbereich die technische Assistenzsys-

temmentwicklung und das ihm zugrundeliegende Bildungskonzept fallen. Ohne sie wäre dieser Beitrag nicht möglich gewesen.

Literatur

- [Foh16] A. Fohn, R. Livora und W. Merx: Empirische Ergebnisse einer Arbeitsprozess- und Arbeitsplatzanalyse zur diversitätsgerechten Assistenzsystem-Entwicklung in der Textilbranche. In: R. Häußling und J. Lemm (Hg.): Empirische Studien zur angewandten Technik- und Organisationssoziologie, Band 1. 1. Auflage. Aachen: Shaker S. 77-94, 2016.
- [Har88] S. G. Hart und L. E. Staveland: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: *Advances in Psychology*, Vol. 52, S. 139-183, 1988.
- [Har06] S. G. Hart: Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later. In: *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting 50 (9)*. Los Angeles: Sage Publications, S. 904-908, 2006.
- [Häu14] R. Häußling: Techniksoziologie. 1. Auflage. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft (utb), (utb-studie-e-book, 4184), 2014.
- [Jah33] M. Jahoda, P. Lazarsfeld und H. Zeisel: Die Arbeitslosen von Marienthal. Ein soziographischer Versuch über die Wirkungen langandauernder Arbeitslosigkeit. Leipzig: Hirzel, 1933.
- [Jan14] V. Janda: Werner Rammert: Wider technische oder soziale Reduktion. In: D. Lengersdorf und M. Wieser (Hg.): *Schlüsselwerke der Science & Technology Studies*. Wiesbaden: Springer VS, S. 205-219, 2014.
- [Kar09] K. Karrer, C. Glaser, C. Clemens und C. Bruder: Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG. 2009.
- [Kot13] O. D. Kothgassner, A. Felnhofer, N. Hauk, N. Hauk: Show all 6 authorsIlse Kryspin-ExnerIlse Kryspin-Exner: TUI – Technology Usage Inventory. Wien: Icarus Research Team, 2013.
- [Neu18] R. Neugebauer: Digitale Information – der „genetische Code“ moderner Technik. In: R. Neugebauer (Hg.): *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. 1. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag (Fraunhofer-Forschungsfokus), S. 1-7, 2018.
- [Ram06] W. Rammert: Technik, Handeln und Sozialstruktur: Eine Einführung in die Soziologie der Technik. In: *TUTS Working Papers (3)*, S. 1-32, 2006.
- [Ram07] W. Rammert: Technografie trifft Theorie: Forschungsperspektiven einer Soziologie der Technik. In: *TUTS Working Papers (1)*, S. 1-35, 2007.
- [Ram08] W. Rammert: Die Techniken der Gesellschaft: in Aktion, in Interaktivität und in hybriden Konstellationen. In: K.-S. Rehberg (Hg.): *Deutsche Gesellschaft für Soziologie (DGS) (Ed.): Die Natur der Gesellschaft: Verhandlungen des 33. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Kassel 2006*. Teilbd. 1 u. 2. Frankfurt am Main: Campus Verl., S. 208-234, 2008.
- [Sch08] I. Schulz-Schaeffer: Technik als Gegenstand der Soziologie. In: *TUTS Working Papers (3)*, S. 1-30, 2008.
- [Sel93] R. Sell und P. Fuchs-Frohnhofer: Gestaltung von Arbeit und Technik durch Beteiligungsqualifizierung. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1993.
- [Wey06] J. Weyer: Die Kooperation menschlicher Akteure und nicht menschlicher Agenten: Ansatzpunkte einer Soziologie hybrider Systeme. In: *Soziologische Arbeitspapiere (16)*, S. 1-2, 2006.

Herausforderungen in der Beratung älterer Menschen im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme

M. Nitschke, D. Schlindwein, H. Hagen und S. Goll

Hochschule Hannover, Fakultät V (DGS)
michel.nitschke@hs.hannover.de, sigrun.goll@hs-hannover.de

Kurzzusammenfassung

Ziel einer lebensweltorientierten Beratung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme ist es, ältere Menschen zu unterstützen oder zu befähigen, selbstbestimmt über Versorgung und (technische) Unterstützung zu entscheiden. Neben gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die das Arbeitsfeld in umfassender Weise beeinflussen, spielen auch die spezifischen Sichtweisen und Haltungen der Beratenden eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Beitrag wird eine empirische Untersuchung vorgestellt, die der Frage nachgeht, welche spezifischen Herausforderungen in der Beratung zu altersgerechten Assistenzsystemen auftreten können. Auf der Grundlage werden Anforderungen an eine lebensweltorientierte Beratungskonzeption formuliert, die ältere Menschen zur selbstbestimmten Nutzung altersgerechter Assistenzsysteme befähigt und Beratende in ihrer alltäglichen Praxis angemessen unterstützt.

Abstract

Challenges in advising older people in the context of age-appropriate assistance systems

The goal of life-world-oriented counseling in the context of age-appropriate assistance systems is to support or enable older people to make independent decisions about care and (technical) support. In addition to social framework conditions that influence the field of work in a comprehensive manner, the specific views and attitudes of the counselors also play an important role. This article presents an empirical study that investigates the specific challenges that can arise in advising age-appropriate assistance systems. On this basis, requirements are formulated for a life-oriented consulting concept that empowers older people to independently use age-appropriate assistance systems and adequately supports counselors in their day-to-day practice.

Keywords

Altersgerechte Assistenzsysteme, Beratung, Lebensweltorientierung

1 Einleitung

Der Wandel in der Altersstruktur der Bevölkerung wird von politischer Seite als relevantes gesellschaftliches Problem betrachtet. Vor diesem Hintergrund wird seit einigen Jahren auch der Einsatz technischer Assistenzsysteme zur Unterstützung älterer und hilfebedürftiger Menschen diskutiert, und es werden europaweit umfängliche Förderprogramme aufgelegt, um die (technische) Entwicklung und den Einsatz altersgerechter Assistenzsysteme voranzutreiben [Mey16].

Eine planmäßige Aufklärung und Beratung älterer Menschen wurde bereits vor fast 25 Jahren als notwendige Bedingung für eine erfolgreiche Einführung technischer Assistenzsysteme formuliert [Mol94]. Eine systematische und gezielte Informationsbereitstellung gibt es jedoch in diesem Bereich bis auf wenige Ausnahmen nicht und noch immer wird das Fehlen von Anlaufpunkten und niedrigschwelligen Beratungsstellen konstatiert [Mey16]. Inzwischen wurden einige konkrete Anstrengungen unternommen um diese Lücke zu schließen. Beispielsweise durch die Förderung ver-

schiedener Projekte zur „Entwicklung von beruflichen und hochschulischen Weiterbildungsangeboten und Zusatzqualifikationen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme – QuAALi“ [Bun10]. In diesem Zusammenhang sowie im Rahmen europäischer Förderprogramme (z. B. CompAAL, engAGEnt) sind bereits Kompetenzprofile für Fachkräfte verschiedener Berufsfelder entwickelt worden. Eine Schwierigkeit die allerdings weiterhin besteht, sei der Transfer erlernter Inhalte in die Berufspraxis [Hou14, Plr14]. Ein Grund hierfür könnte die Input-Orientierung der bisherigen Qualifizierungsansätze und die geringe Berücksichtigung sozialwissenschaftlicher Ansätze, sowie eine unzureichende Praxisorientierung sein [Hou14]. Auffällig ist außerdem, dass eine Auseinandersetzung mit der konkreten Umsetzung einer Beratung im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme im (sozial-)wissenschaftlichen Diskurs bis auf wenige Ausnahmen [Apf16, Gol15b] kaum stattgefunden hat. Somit fehlen vor allem konkrete und praktikable Lösungs- und Handlungsansätze auf der Ebene der Interaktionen zwischen Beratenden und älteren Menschen [Gol15a].

Hier setzt der vorliegende Beitrag an. Ausgangspunkt ist der Befund, dass zukünftige Berater_innen oft selbst noch keine Erfahrungen mit altersgerechten Assistenzsystemen und Dienstleistungen gemacht haben und dass sie vor allem Unterstützung für die konkrete Beratungssituation benötigen [Gol15a]. Vor diesem Hintergrund werden zentrale Ergebnisse einer empirischen Untersuchung vorgestellt, die der Frage nachgeht, welche Anforderungen ein Beratungsangebot im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme erfüllen muss, das sowohl ältere Menschen befähigt selbstbestimmt über Versorgung und (Nicht-)Nutzung technischer Assistenzsysteme zu entscheiden, als auch Beratende in ihrer alltäglichen Praxis angemessen unterstützt. Auf Basis der Ergebnisse werden allgemeine Grundlagen einer lebensweltorientierten Beratungskonzeption abgeleitet und formuliert (der vorliegende Beitrag beruht auf einer Dissertationsschrift [Nit18] und gibt zentrale Ergebnisse wieder).

2 Forschungsdesign

Die Untersuchung war eingebettet in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt „Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten, praxisorientierten Beratungsleitfadens zu ELSI-Themen in der Beratung zu altersgerechten Assistenzsystemen“ [Gol15a]. Ziel des Projekts war es, konzeptionelle Ideen und konkrete Lösungsstrategien für das Beratungshandeln zu entwickeln. Methodisch orientierte sich das Vorhaben an Ideen zur Konzeptentwicklung sozialpädagogischer und pflegerischer Berufe [Rie13]. Der Grundgedanke dieser Vorgehensweise ist, dass sich sowohl auf der Basis einer theoretischen Auseinandersetzung als auch empirisch aus der alltäglichen Praxis Problemlösungen eines Arbeitsfeldes bzw. fachlichen Handelns ermitteln lassen. Im Folgenden sollen die für diese Untersuchung wesentlichen Vorüberlegungen und theoretischen Implikationen kurz dargestellt werden. Diese beruhen auf einer umfassenden Analyse der gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen und einer theoretischen Reflexion und Verortung der Beratung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme.

2.1 Vorüberlegungen und theoretische Implikationen

Die Entwicklung und der Einsatz altersgerechter Assistenzsysteme findet parallel zu der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen statt. Viele dieser gesellschaftlichen Rahmenbedingungen werden von den Expert_innen zwar in umfassender Weise diskutiert, jedoch wird konstatiert, dass die Fragen sowohl auf der individuellen als auch auf der gesellschaftlichen Ebene bislang nicht ausreichend beantwortet wurden. Dies betrifft vor allem ethische, soziale, (datenschutz-)rechtliche und finanzielle Aspekte [Bun13].

Technische Assistenzsysteme haben das Potenzial, ältere Menschen in ihrem Alltag zu unterstützen und ihre Selbstbestimmung zu fördern [Kün16]. Zugleich birgt der Einsatz solcher Technologien auch die Gefahr „einer kontinuierlichen Überwachung und Kontrolle“ [Man14]. Das wird z. B. deutlich an der

sehr kontrovers geführten Diskussion zum Einsatz von GPS-Ortungssystemen für demenziell erkrankte ältere Menschen.

Eine mögliche Antwort auf die Frage nach den Gründen für die feststellbaren Widersprüche und Ambivalenzen des Technikeinsatzes liefern techniksoziologische Überlegungen. Längst wird hier davon ausgegangen, dass sich Technik und Soziales wechselseitig beeinflussen. Eine entscheidende Rolle in der Wechselbeziehung von Mensch und Technik spielt die Frage, wer Einfluss auf die Entwicklung von Technik nimmt [Sch09]. Folglich müssen gesellschaftliche Machtverhältnisse und Bedingungen in den Blick genommen werden, die den Verlauf technologischer Entwicklungen maßgeblich beeinflussen [Hom08]. Neuere Überlegungen im Rahmen der Auseinandersetzung mit Mediatisierungsprozessen in der Sozialen Arbeit verweisen dabei auf die „macht- und ungleichheitsbezogenen Rahmungen“ [Kut15] hinsichtlich der Technikaneignung und -nutzung.

Bezüglich des Einsatzes und des Nutzens altersgerechter Assistenzsysteme lassen sich deutlich divergierende Zielsetzungen und Interessensgruppen unterscheiden. So beherrschen gegenwärtig wenige multinationale Unternehmen die digitalen Informationswege sowie die Verwertung der Daten und darauf aufbauender Dienstleistungen [Ste15]. Während sich ältere Menschen vor allem Unterstützung bei der Bewältigung ihres Alltags wünschen, kommt der Technikeinsatz von staatlicher Seite als ein Mittel des wirtschaftlichen Wachstums [Fac14, Bun08] oder auch als Gegenstand sozialpolitischer Interessen in Betracht, z. B. um die stationäre Unterbringung zu vermeiden bzw. hinauszuzögern [Wei13]. Im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme stehen sich demnach der einzelne (ältere) Mensch und Organisationen bzw. Institutionen gegenüber, die ein hohes Machtpotenzial aufweisen. Vor diesem Hintergrund wäre zu überlegen, ob die manchmal als ‚eigenwillig‘ erscheinende Skepsis älterer Menschen gegenüber technischen Assistenzsystemen nicht auch als Abwehr von diskriminierender Zu-

schreibung und ordnungspolitischen Imperativen verstanden werden kann, die möglicherweise in solche Technologien eingeschrieben sind [End18].

Vom Ideal der Deckungsgleichheit gesellschaftlicher Entwicklungen und lebensweltlicher Strukturen, kann die Ausdehnung systemrationaler Prozesse in Form sprachunabhängiger Steuerungsmedien (Geld und Macht bzw. Recht) auf kommunikativ strukturierte Bereiche (Lebenswelt) ‚sozialpathologische‘ Formen annehmen. Habermas bezeichnet solche Entwicklungen als ‚Kolonialisierung der Lebenswelt‘ [Hab81]. Technische Assistenzsysteme in Form selbstentscheidender Systeme mit zum Teil ‚fremdbestimmten‘ Handlungslogiken liegen demzufolge genau auf der Schnittstelle systemrationaler Prozesse und kommunikativ strukturierter Bereiche und können die Lebenswelt älterer Menschen nachhaltig stark verändern. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von subjektiven Gestaltungs- bzw. Handlungsmöglichkeiten und technisch-strukturellen Vorgaben. Im Kontext der Beratung gilt dies sowohl für die Ratsuchenden als auch für die professionell Beratenden [Gru14].

In modernen Gesellschaften bestehen oftmals verdeckte, aber sehr genaue Normalitätsvorstellungen [Grö16], z. B. hinsichtlich der Lebensführung älterer Menschen in Form gängiger Altersbilder. Ebenso bestehen gegenüber Beratenden – insbesondere dann, wenn sie im institutionellen Rahmen tätig sind – gesellschaftliche Erwartungen und gesetzliche Normen (z. B. der vom Gesetzgeber vorgeschriebene Grundsatz ‚ambulant vor stationär‘), die mit Widersprüchen im Sinne eines gleichberechtigten Dialogs verknüpft sein können [Grö16]. Professionelle Beratung selbst kann demzufolge im Sinne einer Disziplinierung und Lenkung angelegt sein bzw. ‚normalisierend‘ wirken und muss kritisch reflektiert werden, um kolonialisierende Tendenzen aufzudecken und soweit dies möglich ist angemessen damit umzugehen [Gru14].

2.2 Forschungsfragen

Vor dem Hintergrund der theoretischen Überlegungen lautet die übergeordnete Fragestellung: *Welche Anforderungen muss ein Beratungsangebot im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme erfüllen, das sowohl ältere Menschen zur selbstbestimmten Nutzung altersgerechter Assistenzsysteme befähigt als auch Beratende in ihrer alltäglichen Praxis angemessen unterstützt?*

Aufgrund der zum Forschungsbeginn nicht vorhandenen Fachliteratur zur Beratung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme wurde bewusst auf die Formulierung von Hypothesen verzichtet. Stattdessen sind weitergehende Fragestellungen formuliert worden, um Informationen über ein Untersuchungsfeld zu erhalten, über das nur wenig bzw. kein Vorwissen existiert, z. B.:

- Was sind die spezifischen Herausforderungen in der Beratung zu altersgerechten Assistenzsysteme?
- Welche konkreten Lösungsstrategien sind hilfreich, um problematische Beratungssituationen zu bewältigen?

Diese (qualitativ orientierte) Vorgehensweise wird dabei nicht bloß als ein Verfahren zur Bildung von Hypothesen verstanden. Neben dem explorativen Charakter geht es auch darum, die auf Basis der theoretischen Auseinandersetzung entwickelten Fragestellungen mit den Erfahrungen der Beratenden und deren Alltagspraxis zu konfrontieren und gegebenenfalls anzupassen.

2.3 Ziele, Forschungsstrategie und methodische Vorgehensweise

Die Untersuchung soll Anforderungen und Problemlagen der Beratungspraxis sowie Erfahrungswissen und die Lösungsstrategien der Beratenden ermitteln, um ihnen nützliche Informationen bereit zu stellen und konkrete Handlungsanleitungen anzubieten, wenn sie ältere Menschen bei einer Entscheidung über die Nutzung altersgerechter Assistenzsysteme unterstützen wollen. Im Zentrum der Betrachtung stehen somit die subjektiven Einschätzungen der Beratenden bzw. die Deutungen

und Bewertungen des professionellen Beratungshandelns und deren praktische Konsequenzen. Insofern ist der Ansatz dieser Untersuchung subjekt- bzw. lebensweltorientiert und legt eine qualitative Forschungsstrategie nahe. Die Erhebung persönlicher Vorstellungen und Haltungen setzt eine subjektbezogene Datenerhebung voraus, die die Qualitäten von Denkstrukturen zu erfassen vermag. Vor diesem Hintergrund wurden problemzentrierte (leitfadengestützte) Interviews mit Angestellten von sechs kommunalen Beratungsstellen „Besser Leben im Alter durch Technik“ [Bun15] durchgeführt. Als Auswertungsmethode wurde eine qualitativ-orientierte Inhaltsanalyse [May15] angewendet. Dabei kam ein gemischtes Verfahren zur Anwendung, in dem die vollständig transkribierten Interviews zunächst auf der Grundlage eines vorab festgelegten Kategoriensystems strukturiert wurden (deduktive Reduktion). In einem zweiten Schritt wurden Kategorien direkt aus dem Material abgeleitet (induktive Zusammenfassung). Darüber hinaus wurden Workshops und Reflexionsrunden im Rahmen von Schulungsterminen und Fachtag(ung)en angeboten. Auf diese Weise sind den Beratenden – im Sinne einer kommunikativen Validierung – Teilergebnisse vorgestellt worden, die gemeinsam reflektiert und zur (Weiter)Entwicklung der Beratungskonzeption genutzt wurden.

2.4 Stichprobenbeschreibung

Um eine räumliche und organisatorische Vielfalt abzubilden, wurden Beratungsstellen aus verschiedenen Bundesländern im gesamten Bundesgebiet berücksichtigt. Zudem sollte mindestens eine Kleinstadt, eine kreisangehörige Stadt, ein Landkreis sowie eine kleinere und eine größere Großstadt einbezogen werden. Insgesamt haben 14 Fachkräfte (acht weibliche und sechs männliche Personen) an den Gesprächen teilgenommen: Eine Beraterin, vier Berater und eine Mitarbeiterin auf Honorarbasis der Beratungsstelle, die im Rahmen der Projektförderung durch das BMBF angestellt waren, sowie drei Sozialarbeiterinnen und ein Sozialarbeiter, ein ehrenamtlich Beschäftigter, eine Wirtschaftsingenieurin,

eine Pflegewirtin und eine Wohnraumberaterin, die allesamt Beratung zu altersgerechten Assistenzsystemen in der Projektlaufzeit angeboten haben. Sechs der befragten Fachkräfte (zwei weibliche und vier männliche) sind im Rahmen der Projektförderung der Beratungsstelle beschäftigt. Die anderen sind (mit einer Ausnahme) bei der jeweiligen Kommune angestellt, z. B. als Sozialarbeiterin oder als Beraterin in einem Pflegestützpunkt. Die durchschnittliche (allgemeine) Beratungserfahrung liegt bei 8,9 Jahren (Streuung zwischen 2,5 und 25 Jahren).

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden Auszüge von wesentlichen Ergebnissen der Kategorie ‚Herausforderungen der Beratung‘ präsentiert (diese können hier nur andeutungsweise in ihrer Entstehung dargestellt werden). Die Angaben in Klammern verweisen auf die Fundstellen im Textmaterial der transkribierten Interviews (I4, 52 verweist beispielsweise auf die Textzeile 52 im Interview 4):

Ungeklärte gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Aus Sicht der Beratenden bestehen (noch) viele ungeklärte Fragestellungen auf gesellschaftlicher Ebene. Das betrifft vor allem datenschutzrechtliche und finanzielle Aspekte. Die Antworten der Beratenden verweisen zum einen auf einen Beratungsbedarf älterer Menschen, der sich direkt aus dem Umstand ungeklärter oder zumindest sehr komplexer Rechtsfragen im Bereich der Finanzierung oder des Datenschutzes ableiten lässt. Die Rückmeldungen machen aber auch deutlich, dass den Beratenden selbst bei diesen Themenbereichen sowohl Informationen als auch praktische Erfahrungen fehlen (siehe Tabelle 1).

Insbesondere beim Datenschutz fühlen sich einige Beratende nicht ausreichend informiert und in der Folge auch nicht in der Lage bzw. nicht zuständig, ältere Menschen über diese Thematik aufzuklären: „Glaube ich, dass es eine Anmaßung ist zu Datenschutz und zu einzelnen Produkten etwas sagen zu können (...)

ich würde auch nie in der Beratung empfehlen zum Datenschutz schlicht erstmal nichts zu sagen, weil wir es nicht überschauen können.“ (I3, 522).

Tabelle 1: Nennungshäufigkeiten in der Kategorie ‚Ungeklärte gesellschaftliche Rahmenbedingungen‘ (Auszug)

(Haupt-)Kategorie: Herausforderungen der Beratung		
<i>Ungeklärte gesellschaftliche Rahmenbedingungen</i>	<i>Nennungen</i>	<i>%</i>
Sozialversicherungsträger lehnen Kostenübernahme ab	5	21,7
Technologien zu hochpreisig	7	30,4
Geringe Zahlungsfähigkeit und -bereitschaft älterer Menschen	7	30,4
Kaum Erfahrungen mit der Refinanzierung technischer Assistenzsysteme	4	17,4
Sub-Kat. 1 Finanzierung	23	100
Fehlende Transparenz	4	19,0
Keine Zweckbindung	1	4,8
Fehlende Informationen	6	28,6
Datenschutz als Hindernis für die Beratung	10	47,6
Sub-Kat. 9 Datenschutz	21	100

Dies erklärt möglicherweise auch die Häufigkeit von Aussagen, in denen das Thema Datenschutz häufig als Hindernis in der Beratung beschrieben wird (siehe Tabelle 1). Eine Grundhaltung wie: „wir leben doch letztendlich schon in so einer gläsernen Welt“ (I4,

926) ist dann möglicherweise der Grund dafür, das Thema Datenschutz in der konkreten Beratungssituation eher zu vermeiden (I4, 780). Deutlich wird damit auch, dass die Beratenden eigene Überzeugungen und Haltungen mitbringen, die den Beratungsverlauf maßgeblich beeinflussen können. Ideen für den Umgang mit Datenschutzfragen und bewährten Lösungsstrategien lassen sich so zusammenfassen, dass die Beratenden den Ratsuchenden vor allem den Umgang mit persönlichen Daten beim jeweiligen Produkt erläutern (technische Ebene) und über die Rechte des Betroffenen und die Pflichten der datenerhebenden Stelle aufklären (rechtliche Ebene, BDSG).

Familiäre Einflussnahme beim Beratungszugang

Die Erfahrungen der Beratenden zeigen, dass eine wesentliche Hürde hinsichtlich des Zugangs zur Beratung darin besteht, dass die Anlaufstellen in den meisten Fällen zuerst von Angehörigen oder anderen Unterstützungspersonen aufgesucht werden: „Aber vielfach habe ich hier im Rahmen der Pflegeberatung und Wohnraumberatung eher Angehörige als die Betroffenen selber“ (I5, 306). Oftmals versprechen sich die Unterstützungspersonen vom Einsatz altersgerechter Assistenzsysteme eine Entlastung von überfordernden Pflege- und Versorgungstätigkeiten und erhoffen sich mehr Sicherheit für ihre pflege- und hilfebedürftigen Eltern und Großeltern: „Und zwar geht es da um ein System, wo sie ihn orten, wenn er die Wohnung wieder verlassen hat. Also, er verlässt immer unkontrolliert die Wohnung und das macht den Kindern Sorgen“ (I5, 194). Trotz des prinzipiell gutgemeinten Unterstützungsangebots führt dies häufig zu Konflikten zwischen dem älteren Menschen und deren Angehörigen.

Interessenskonflikte im Beratungssetting

Nicht selten wird bei der Annahme von Unterstützungsangeboten Druck von Angehörigen ausgeübt oder von anderen Personen aus dem sozialen Netzwerk der Einsatz von Assistenzsystemen als Forderung an die älteren Menschen herangetragen: „Bei diesen Fällen mit

der Herdsicherung, da kam einfach der Druck von außen.“ (I1, 133). Ein weiterer Grund für Konflikte zwischen älteren Menschen und Unterstützungspersonen ist der zunehmend schlechtere Gesundheitszustand, weil „es auf einmal um Krankheit geht, es geht um Eingestehen von Gebrechlichkeit, von Unselbstständigkeit“ (I2, 1117). Konflikte entstehen vor diesem Hintergrund oftmals aufgrund unterschiedlicher Bewertung des Gesundheitszustandes: „Also, ich sehe ja manchmal tatsächlich, dass Angehörige ihren älteren Angehörigen deutlich schlechter wahrnehmen, als er tatsächlich beieinander ist.“ (I6, 632). Die tatsächlich bestehende Abhängigkeit von der Hilfe anderer ruft in einem solchen Fall oftmals Ängste vor Kontrolle und Entmündigung durch Unterstützungspersonen hervor: „Und da kommt’s auch relativ häufig zu einer Situation, wo sich dieser ältere Mensch auch durch seine Angehörigen bevormundet fühlt - und zwar ganz massiv“ (I6, 634).

Bevormundung durch Hilfe: ‚Fürsorgliche Lenkung‘ in der Technikberatung

Unterstützung in Form von professioneller Beratung anzunehmen, bedeutet für viele ältere Menschen auch, sich selbst und auch den Beratenden gegenüber einzugestehen, dass sie den Alltag nicht mehr selbstständig bewältigen können. Vor diesem Hintergrund besteht oftmals die Befürchtung, die eigene Hilfebedürftigkeit führe dazu, dass die Ratgebende Person die Problemlage für den älteren Menschen definiert und ihm sagt, wie sie gelöst werden soll. Tatsächlich ist die Skepsis gegenüber solchen ‚Hilfsangeboten‘ aufgrund der ‚strukturellen Asymmetrie‘ [Gru14] nicht nur nachvollziehbar, sondern vor dem Hintergrund ermittelter Handlungsstrategien von Beratenden durchaus angebracht. So kann es vorkommen, dass Beratende die Ängste älterer Menschen vor häuslichen Unfallszenarien als günstige Gelegenheit (‚Türöffner‘) auffassen, um technische Lösungen als probates Mittel zum Schutz vor möglichen Gefahren zu präsentieren: „Und genau das ist das Gleiche bei dem Sturz. Es passiert erst dann, wenn sie ein-

mal gestürzt sind, wenn sie einmal dolle gestürzt sind, dann ist die Angst, dass es wieder passiert und dann suchen sie nach einer Lösung und auch dann schaffe ich den Zugang, um die Leute dahin zu kriegen, dass sie diese Technik nutzen“ (I2, 950). Es kann davon ausgegangen werden, dass solche Sichtweisen nicht unüblich sind, wenn selbst in der Fachliteratur solche Strategien wie der ‚emotionale bzw. Angstappell‘ aus dem Bereich des Gesundheitsmarketings und der Konsumentenpsychologie empfohlen werden, um explizit Einstellungsänderungen älterer Menschen hinsichtlich der Techniknutzung herbeizuführen [Apf16]. Somit liegt der Verdacht nahe, dass es im Ausgangspunkt weniger um die Frage geht, ob und welche Technik ältere Menschen wirklich brauchen, sondern vielmehr was alles erforderlich ist, damit ältere Menschen Technik (endlich) nutzen.

4 Anforderungen an eine Beratung im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme

Im Fokus einer (Technik-)Beratung älterer Menschen stehen die besonderen Schwierigkeiten bei der Bewältigung des Alltags und eine Förderung in allen Lebensbereichen. Idealerweise sollten dazu Bedarfs- und Problemanalysen durchgeführt werden, die „den tatsächlichen Alltag der Älteren mit den konkreten Herausforderungen und Problemlagen erfassen“ [Pel16], um dann unvoreingenommen und ergebnisoffen über eine angemessene Lösung für das konkrete Problem nachzudenken – technische Assistenzsysteme müssen in der Logik als eine mögliche Lösung unter anderen betrachtet werden.

Für eine in diesem Sinne ‚vorurteilsfreie‘ (Technik-)Beratung kann das aus der Sozialen Arbeit stammende Konzept der Lebensweltorientierung einen wichtigen Beitrag leisten [Ott10]. Im Folgenden werden auszugweise wesentliche Prinzipien bzw. Handlungsmaximen einer lebensweltorientierten Beratung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme dargestellt:

Zugang zur Beratung/Beratung im Alltag

Da Angebote mit einer ‚Komm-Struktur‘ ältere Menschen häufig nicht erreichen, sollte eine lebensweltorientierte Beratung auch als aufsuchendes Beratungsangebot konzipiert sein. Beratung sollte sich von festgefügt, institutionalisierten Strukturen lösen und im Alltag der Menschen eingelassen sein bzw. stattfinden, sowie verschiedene Formen von informellen Beratungsangeboten ermöglichen.

Selbstverständnis des Beratenden

Die in der Beratung strukturell gegebene Asymmetrie kann nicht prinzipiell aufgehoben werden. Für den Beratenden bedeutet dies zuallererst, sich der gegebenen strukturellen Asymmetrie bewusst zu sein und die Unterschiede zwischen dem Beratenden und dem älteren Menschen transparent zu halten. Das erfordert eine Reflexion der eigenen Rolle bzw. des professionellen Beratungshandelns und damit verbundener Widersprüche [Grö16]. Das bedeutet, dass Beratende in der Lage sein müssen, gesellschaftliche Aufträge, professionelle und institutionelle Befangenheiten [Gru14] sowie persönliche Haltungen kritisch zu hinterfragen, um die in der professionellen Hilfe strukturell angelegte ‚fürsorgliche Belagerung‘ [Thi14] gegenüber Ratsuchenden aufzudecken und zu berücksichtigen. Die Lösung einer lebensweltorientierten Beratung besteht in einer parteiischen Haltung bzw. der ‚Hinwendung zum Einzelnen‘.

Erkundung der Lebenswelt

Im Fokus lebensweltorientierter Beratung steht der Mensch mit seinen alltäglichen Problemen in seinen spezifischen Lebensverhältnissen. Dabei ist eine Sensibilität für die Biografie [Hub05] und vor diesem Hintergrund die Reflexion der (aktuellen) Lebenssituation eine wesentliche Voraussetzung, um die Selbstbestimmung von älteren Menschen zu fördern.

Hinsichtlich des Einsatzes bzw. der Implementierung altersgerechter Assistenzsysteme spielen dabei insbesondere die im Alltag entwickelten Routinen eine bedeutende Rolle.

Solche gewohnheitsmäßigen Handlungen entwickeln mit der Zeit eine Eigenlogik, die eine Entlastung des Alltags ermöglichen. Zugleich werden solche Alltagsroutinen, die oft über einen langen Zeitraum funktioniert haben, nicht so einfach aufgegeben [Pel13]. Insofern stellt jede Veränderung, sei es die Unterstützung durch pflegende Angehörige oder technische Assistenzsysteme, eine Störung gewohnter Abläufe dar und wird in der Regel abgelehnt [Pel16]. Für eine sinnvolle Integration altersgerechter Assistenzsysteme zur Unterstützung älterer Menschen müssen die Routinen älterer Menschen und deren Sinnhaftigkeit zuerst einmal identifiziert werden. Um dies zu ermöglichen ist es notwendig, dass die älteren Menschen ausreichend Gelegenheit bzw. Zeit haben, sich und ihre Lebenswelt darzustellen.

Beratung als Aushandlungsprozess

Bei einer lebensweltorientierten Beratung geht es um das Aushandeln von Lösungen und sie wird auch als eine Form des miteinander Handelns gesehen. Dabei geht es auch darum, Menschen von persönlicher Zuschreibung durch die Aufdeckung gesellschaftsstruktureller Problemlagen zu entlasten. Bezogen auf den Ratsuchenden soll ein solcher Perspektivwechsel der Beratenden ein gleichberechtigtes Hilfesetting gewährleisten. Auf diese Weise können Lösungen ‚auf Augenhöhe‘ ausgehandelt werden, um gemeinsam mit der hilfebedürftigen Person einen ‚gelingenderen‘ Alltag zu ermöglichen [Gru14].

Interdisziplinarität

Für eine gelingende Beratung ist es erforderlich, dass aufgrund der Komplexität der The-

matik unterschiedliche Fachdisziplinen miteinander kooperieren und ein gemeinsames Ziel verfolgen. Auf diese Weise kann ein multiprofessionelles, ganzheitlich ausgerichtetes Beratungsangebot entstehen, das zum einen auf die unterschiedlichen Bedürfnisse älterer Menschen eingehen und zum anderen individualisierte und nachhaltige Lösungsmöglichkeiten entwickeln und anbieten kann.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ermittlung und kritische Analyse der Anforderungen aus der Praxis und des Unterstützungsbedarfs der Beratenden zeigen sowohl Spannungsfelder als auch Lösungsansätze auf, die einen wichtigen Beitrag hinsichtlich der häufig geforderten konsequent(er)en Berücksichtigung individueller Bedürfnisse und vielfältiger Lebenssituationen älterer Menschen leisten können.

Die dargestellten Überlegungen eines lebensweltorientierten Beratungsangebots bündeln die Erkenntnisse einer theoretischen Analyse und einer empirischen Untersuchung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme. Sie stellt wegen der Beweglichkeit der zugehörigen Themenkomplexe eine Zwischenbilanzierung dar, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Die hier vorgestellte Beratungskonzeption stellt vielmehr einen Versuch dar, die theoretischen Überlegungen der lebensweltorientierung für die konkrete Beratung im Kontext altersgerechter Assistenzsysteme nutzbar zu machen und Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Wünschenswert wäre die Einführung und Verankerung einer solchen umfassenden Beratungskonzeption in der Praxis. Dieser Prozess sollte wissenschaftlich begleitet und evaluiert werden.

Literatur

- [Apf16] B. Apfelbaum, N. Efker und T. Schatz: Technikberatung für ältere Menschen und Angehörige, Berlin, 2016.
- [Bun08] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Bekanntmachung von Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet "Altersgerechter Assistenzsysteme für ein gesundes und unabhängiges Leben – AAL“. Bonn, 2008.
- [Bun10] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Bekanntmachung von Richtlinien zur Förderung der „Entwicklung von beruflichen und hochschulischen

- Webildungsangeboten und Zusatzqualifikationen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme – QuAALi“. Bonn, 2010.
- [Bun15] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): „Besser Leben im Alter durch Technik“. Kommunale Beratungsstellen – 22 Wege zur Umsetzung in Stadt und Land. Bonn, 2015.
- [End18] C. Endter: How older people matter – Nutzer- und Nutzerinnenbeteiligung in AAL-Projekten. In: Künemund/Fachinger (Hg.), *Alter und Technik*. Wiesbaden, S. 207-225, 2018.
- [Fac14] U. Fachinger, H. Koch, B. Schöpke, K.-D. Henke und S. Troppens: *Gesund altern: Sicherheit und Wohlbefinden zu Hause. Marktpotenzial und neuartige Geschäftsmodelle altersgerechter Assistenzsysteme*. Baden-Baden, 2014.
- [Gol15a] S. Goll und M. Nitschke: *Schlussbericht BMBF Forschungsvorhaben, Berufliche und akademische Weiterbildung im Bereich AAL – MHH-QuAALi, Teilvorhaben Evaluation*. Hannover, 2015.
- [Gol15b] S. Goll, M. Nitschke und M. Witte: *Beratungsleitfaden zu ELSI-Themen in der Beratung zu altersgerechten Assistenzsystemen*. Hannover, 2015.
- [Grö16] K. Gröning: *Sozialwissenschaftlich fundierte Beratung in Pädagogik, Supervision und Sozialer Arbeit*. Gießen, 2016.
- [Gru14] K. Grunwald und H. Thiersch: *Lebensweltorientierung*. In: *Enzyklopädie Erziehungswissenschaft Online*. Weinheim, S. 1-40, 2014.
- [Hab81] J. Habermas: *Die Theorie des kommunikativen Handelns* (Bd. 2). *Zur Kritik der funktionalistischen Vernunft*. Frankfurt a. M., 1981.
- [Hom08] J. Homann und L. Bruhn: *Welche Technik wollen wir? Ethische Erwägungen zu technischen Hilfen und helfender Technik*. In: *Das Zeichen*, 22: 80. Hamburg, S. 428-433, 2008.
- [Hou14] HOU, DEKRA, IAQ, und WIFI: *Der AAL-Berater. Ausbildungscurriculum – Hintergründe, Richtlinien, Materialien für die Qualifizierung von AAL-Beratern*, 2014.
- [Hub05] M. Huber, S. A. Siegel, C. Wächter und A. Brandenburg: *Autonomie im Alter. Leben und Altwerden im Pflegeheim*. Hannover, 2005.
- [Kün16] H. Künemund: *Wovon hängt die Nutzung technischer Assistenzsysteme ab? Expertise zum Siebten Altenbericht der Bundesregierung*. Herausgegeben von Block, Hagen, Berner. Berlin, 2016.
- [Kut15] N. Kutscher, T. Ley und U. Seelmeyer: *Mediatisierung (in) der Sozialen Arbeit*. In: Dies. (Hg.), *Mediatisierung (in) der Sozialen Arbeit*. Baltmannsweiler, S. 3-18, 2015.
- [Man14] A. Manzeschke: *Altersgerechte Assistenzsysteme: Ethische Herausforderungen technologischen Wandels*. In: *Informationsdienst Altersfragen*, H. 3, 41. Jg. Berlin, S. 10-18, 2014,.
- [May15] P. Mayring: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (12. überar. Aufl.), Weinheim und Basel, 2015.
- [Mey16] S. Meyer: *Technische Unterstützung im Alter – Was ist möglich, was ist sinnvoll? Expertise zum Siebten Altenbericht der Bundesregierung*. Herausgegeben von Block, Hagen, Berner. Berlin, 2016.
- [Mol94] H. Mollenkopf: *Technik zur Integration älterer Menschen*. In: Zapf, *Technik, Alter, Lebensqualität*. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Familie und Senioren; Bd. 23. Stuttgart, S. 14-101, 1994.

- [Nit18] M. Nitschke: Lebensweltorientierte Beratung älterer Menschen zur selbstbestimmten Nutzung altersgerechter Assistenzsysteme. Empirisch gestützte Entwicklung einer Beratungskonzeption und praktischer Arbeitshilfen (vorläufiger Titel), geplante Veröffentlichung in der Buchreihe ‚Vechtaer Beiträge zur Gerontologie‘, 2018.
- [Ott10] U. Otto: Altern und lebensweltorientierte Soziale Arbeit – aktuelle Herausforderungen. In: Knapp und Spitzer (Hg.), Altern, Gesellschaft und Soziale Arbeit. Klagenfurt, S. 476-503, 2010.
- [Pel16] H. Pelizäus-Hoffmeister, T. Birken und P. Schweiger: Technische Assistenzsysteme und ihre Konkurrenten: Zur Bedeutung von Praktiken der Alltagsbewältigung für die Technikentwicklung. In: VDE e.V. (Hg.), Zukunft Lebensräume. Berlin, 2016.
- [Pel13] H. Pelizäus-Hoffmeister: Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive. Wiesbaden, 2013.
- [Plr14] P. L. Reichertz Institut für medizinische Informatik (PLRI): AAL-Kompetenz im Beruf – Wege in die Zukunft. Hannover, 2014.
- [Rie13] A. Riedel und S. Lehmeyer: Theoretische Fundierung und Prämissen zur Konzeptualisierung ethischer Fallbesprechung. In: Riedel/Lehmeyer/Elsbernd (Hg.), Einführung von ethischen Fallbesprechungen – Ein Konzept für die Pflegepraxis. Lage, 2013, S. 39-158.
- [Ros11] M. Rost: Datenschutz bei Ambient Assist Living (AAL) durch Anwendung der Neuen Schutzziele. Berlin, 2011.
- [Sch09] C. Schachtner und C. Roth-Ebner: Konstruktivistisch-partizipative Technikentwicklung. In: kommunikation@gesellschaft, 10 Jg. Beitrag 1, 2009.
- [Ste15] O. Steiner: Widersprüche der Mediatisierung Sozialer Arbeit. In: Kutscher/Ley/Seelmeyer (Hg.), Mediatisierung (in) der Sozialen Arbeit. Baltmannsweiler, S. 19-38, 2015.
- [Thi14] H. Thiersch: Über Entwicklungen und aktuelle Bezüge des Konzepts einer lebensweltorientierten sozialpädagogischen Beratung. In: Bauer/Weinhardt (Hg.), Perspektiven sozialpädagogischer Beratung. Weinheim, S. 310-330, 2014.
- [Wei13] C. Weiß, G. Braeseke, M. Lutze, D. Compagna, T. Richter und M. Merda: Abschlussbericht zur Studie Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme. Berlin, 2013.

Unterstützung bei Arbeitshandlungen durch ein digitales adaptives Diagnose- und Trainingssystem

L. Vogel und T. Schack

Universität Bielefeld
Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC)
AG Neurokognition und Bewegung
ludwig.vogel@uni-bielefeld.de

Kurzzusammenfassung

Das Diagnose- und Trainingssystem ist ein smarter Terminal, der im Rahmen des Projekts „Adaptive Cognitive Training“ (ACT) entwickelt wurde. Es identifiziert die kognitiven Handlungsmuster, die sich in der Ausbildung etabliert haben. Aufbauend auf diese individualisierte Untersuchung wird für jeden Einzelfall passend eine Rückmeldung zur kognitiven Struktur der Arbeitshandlungen gegeben. Jede neue Testung am Ausbildungsterminal dokumentiert den Lernfortschritt und kann mit einer angepassten (adaptiv-lernorientierten) Rückmeldung verbunden werden. Durch dieses System ist es möglich, das Lernpotential von Auszubildenden anzuregen und somit Lehr-/ Lernprozesse in der Ausbildung individualisiert und problemorientiert zu unterstützen. In einer Studie zum Annähen eines Knopfes untersuchten wir die kognitiven Handlungsstrukturen von Novizen und verglichen diese mit einem Experten. Wir fanden signifikante Unterschiede zwischen den Gedächtnisstrukturen des Experten und der Novizen. Der Experte zeigte eine aufgabenspezifische kognitive Struktur, wohingegen die Novizen fehlerhafte und funktionslose Strukturen zeigten. Mit diesem Diagnose- und Trainingssystem präsentieren wir einen kognitiv-technischen Ansatz, mit dem systematisch individualisierte Rückmeldung im Lernprozess eingebunden werden können.

Abstract

Support at work actions through a digital adaptive diagnosis and training system

The diagnostic and training system is a smart terminal developed as part of the project “Adaptive Cognitive Training” (ACT). It identifies the cognitive action patterns established through education. Based on this individualized examination, a feedback on the cognitive structure of the work actions is given for each individual case. Each new test at the training terminal documents the learning progress and is associated with an adapted (adaptive-learning-oriented) feedback. Through this system, it is possible to stimulate the learning potential of trainees and thus support teaching/learning processes in the training individualized and problem-oriented. Exemplary, we examined in a study the cognitive action structures of novices and compared them with an expert. We found significant differences between the memory structures of the expert and the novices. The expert showed task-specific cognitive structures with structured representations, whereas the novices showed faulty and functionless structures. With this diagnostic and training system, we present a cognitive-technical approach, which is able to individualize feedback in learning processes.

Keywords

Mentale Repräsentation, Kognitives Training, Smart Terminal

1 Einleitung

Alltägliche oder wiederkehrende Arbeitshandlungen sind in der Regel durch sequenzielle oder parallele Arbeitsschritte gekennzeichnet. Beispielsweise werden zu Beginn des Zubereitens eines Rühreis zunächst die Eier geöffnet, anschließend gewürzt und danach aufgeschlagen. Parallel wird eine Pfanne auf den Herd gestellt, das Fett in die Pfanne gegeben und der Herd angestellt.

Je nach Arbeitshandlung können die Prozessabläufe zeitlich, räumlich oder funktional strukturiert sein. Zur erfolgreichen Bewältigung ist es allerdings notwendig, die anstehenden Aufgaben nicht nur motorisch zu beherrschen, sondern ebenfalls eine kognitive Struktur der Arbeitshandlung zu besitzen. Dieses Wissen über die Abläufe der Teilschritte der Handlung ist im Langzeitgedächtnis gespeichert und wird über den Lernverlauf erworben. Aus einer perzeptuellen-kognitiven Perspektive werden Lernprozesse durch den strukturellen Aufbau und die Adaptionen von Gedächtnisstrukturen zur Steuerung von Handlungen begleitet [Eri91].

Im Lernprozess entstehen jedoch nicht nur sinnvolle Repräsentationsstrukturen, die zur erfolgreichen Aufgabenbewältigung eingesetzt werden können, sondern ebenso dysfunktionale Strukturen, die zu Problemen bei der Ausführung der Handlung führen. Am Beispiel des Zubereitens des Rühreis, könnten die Eier bereits vor dem Anstellen des Herds in die Pfanne gegeben werden. Dies verändert den Garvorgang und produziert ein unerwünschtes Ergebnis. Mit Hilfe des Terminals können Gedächtnisstrukturen von Arbeitsaufgaben ermittelt werden und somit der Trainingsprozess individualisiert begleitet werden. Außerdem kann das System auch zur Evaluierung des Lernfortschritts genutzt werden, indem die Gedächtnisstrukturanalyse zu definierten Zeitpunkten während der Ausbildung durchgeführt wird.

1.1 Messung kognitiver Repräsentationsstrukturen

Als Voraussetzung für die Umsetzung unseres Systems gilt die Annahme, dass Bewegungen

als mentale Repräsentationen im Gedächtnis gespeichert sind und diese zur Bewältigung von Bewegungsaufgaben bzw. Bewegungsproblemen eingesetzt werden [Sch07a]. Diese Repräsentationen besitzen eine konzeptuelle Struktur, die als Basis zur Bewegungssteuerung eingesetzt wird. Es wurden bereits viele Methoden entwickelt, um die mentale Repräsentation im Gedächtnis zu erfassen [Hod07], die jedoch größtenteils nicht für unser System geeignet sind, da sie Wissen explizit abfragen. Wir haben deshalb, zur Erfassung in der Gedächtnisstruktur der Arbeitsaufgaben, die Struktur Dimensionale Analyse Mentaler Repräsentationen (SDA-M) angewendet. Die SDA-M ermöglicht eine psychometrische Analyse von individuellen Gedächtnisstrukturen, sowie von Gruppen, ohne dabei explizit Angaben bezüglich der Gedächtnisstruktur abzufragen. Mit Hilfe dieses methodischen Ansatzes können die Ergebnisse der Gedächtnisstrukturanalyse schnell und übersichtlich dargestellt werden und somit als Diagnosetool für das System verwendet werden [See16].

Die SDA-M wurde bereits in vielen Studien eingesetzt, u.a. in der Rehabilitation nach Schlaganfällen [Bra07], bei manuellen Handlungen von Kindern [Stö12], in Sportbewegungen wie Tennis [Sch06] oder Golf [Fra13] oder bei der Untersuchung von Taktik im Sport [Lex15]. Diese Studien zeigten, dass Experten eine hierarchisch organisierte Gedächtnisstruktur besitzen, die funktional zu Anforderungen der Aufgabe passen. Ebenso konnten Land et al. (2014) zeigen, dass sich Gedächtnisstrukturen über den Lernverlauf in Richtung der funktionalen Struktur von Experten verändern [Lan14].

Erste Studien zeigen, dass die Veränderungen der Gedächtnisstruktur auch in der Ausbildung stattfinden [Vog16], indem unterschiedliche Handlungen und Arbeitsaufgaben vermittelt werden, die durch die Auszubildenden gelernt werden sollen. Beim Erlernen der Handlungsaufgaben treten in der Regel unterschiedliche Handlungsprobleme auf, die durch die Ausbilder korrigiert werden. Jedoch kann meist nur indirekt, durch Erfragen oder genaues Beobachten, ermittelt werden, welches

Wissen über die Arbeitsaufgabe bereits aufgebaut worden ist und an welcher Stelle es mehr Unterstützung bedarf. In Bildungszentren, bei der Arbeit mit Menschen mit Behinderung, ist der Betreuungsschlüssel und die Anzahl der Aufgaben meist so hoch, dass es unmöglich erscheint, dieser individuellen Betreuung nachzukommen. Außerdem wird noch eine gründliche Dokumentation über den Leistungsstand abverlangt. Demnach erscheint es durchaus sinnvoll, ein Diagnose- und Trainingssystem, das sowohl ohne, als auch mit dem Ausbilder genutzt werden kann, auf Handlungsaufgaben bei der Ausbildung einzusetzen.

1.2 Das digitale adaptive Diagnose- und Trainingssystem

Das Verfahren zur Ermittlung der Gedächtnisstrukturen ist anwenderfreundlich und kann sowohl auf einem handelsüblichen Computer, als auch als Tablet Version zur Diagnose von kognitiven Handlungsmuster von Arbeitsprozessen eingesetzt werden. Der Ablauf des Diagnose- und Trainingsprozesses erfolgt in einem vierstufigen Prozess.



Abbildung 1: Testperson bei der Untersuchung der Gedächtnisstruktur

Zunächst wird die zu untersuchende Arbeitshandlung analysiert und die Teilschritte zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe in die Software eingelesen. Im zweiten Schritt wird der Teilnehmer gebeten, die Teilschritte in einem binären Entscheidungsprozess (es werden jeweils nur zwei Teilschritte abgebildet) mehrfach miteinander zu vergleichen (Abbildung 1

und Kapitel 3.3). Diese Entscheidung trifft der Teilnehmer mit seinem Wissen über die Handlungsaufgabe, über das er bisher verfügt. In Schritt 3 werden die mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse ausgewertet (Kapitel 3.3) und mit einer Idealstruktur, die von der funktionalen Struktur der Aufgabe ableitet, oder einer Expertenstruktur, verglichen. Strukturelle Abweichungen können identifiziert werden und dienen als Grundlage für das individualisierte Training des Teilnehmers (Kapitel 1.3). Im Lernprozess der Aufgabe kann dieses Diagnose- und Trainingstool mehrfach zur Lösung unterschiedlicher Handlungsprobleme eingesetzt werden und bietet somit nicht nur die Möglichkeit einer Dokumentation des kognitiven Lernfortschritts, sondern eröffnet dem Teilnehmer darüber hinaus die Möglichkeit in der Zone der nächsten Entwicklung [Gri98] zu trainieren. Die Lernpotentiale von Auszubildenden werden somit angeregt und der Lehr-/ Lernprozesse in der Ausbildung individualisiert und problemorientiert unterstützt.

1.3 Training am Diagnose- und Trainingssystem

Die Diagnostik der handlungsbezogenen Gedächtnisstruktur kann für unterschiedliche Trainingsformen und zur Evaluation des Lernprozesses genutzt werden. Zum einen können fehlerhafte Gedächtnisstrukturen mit dem Auszubildenden besprochen werden und mit konkreten Maßnahmen zur Vermeidung der falschen Handlungsausführung kombiniert werden. Ist in unserem Einstiegsbeispiel das Würzen des Rührreis beispielsweise nicht mit dem Verrühren des Eis verbunden, könnten beim Mise-en-Place die Gewürze neben die Eier gelegt werden. Ebenso kann die Gedächtnisstruktur für mentale Trainingsformen, beispielsweise handlungssteuernde Selbstinstruktionen oder Visualisierungen genutzt werden [Sch07b]. Durch die Integration der Gedächtnisdiagnostik wird dabei vermieden, dass bei der Visualisierung der Handlungsaufgabe oder bei dem Einsatz von Selbstinstruktionen nicht nur die guten Handlungsabläufe wiederholt und genutzt werden, sondern auch

die fehlerhaften Elemente. Die Individualisierung der Hinweise und der Trainingsformen verbessert somit den Lehr- und Lernprozess.

2 Projekt ACT

Das digitale adaptive Diagnose- und Trainingssystem zur Unterstützung von Arbeitshandlungen wurde im Projekt *Adaptive Cognitive Training* (ACT) in einem Kooperationsprojekt zwischen der Arbeitsgruppe *Neurokognition und Bewegung – Biomechanik* der Universität Bielefeld und dem Stiftungsbeereich *proWerk* der von *Bodelschwingschen Anstalten Bethel* entwickelt und angewendet. Zu Beginn des Projekts wurde das System zunächst im gastronomischen Bereich in einem Bildungszentrum getestet. Die Teilnehmer mit geistigen, sozialen oder körperlichen Beeinträchtigungen nutzen das System um die Organisation im Kiosk zu erlernen, Speisen zuzubereiten oder Dienstkleidung zu bügeln. Außerdem gaben sie Hinweise zur Verbesserung des Systems und gestalteten aktiv die verwendeten Stimuli mit. Im Verlauf des Projekts wurde verschiedene Anwendungsszenarien im *proWerk* untersucht, beispielsweise die Umsetzung im Bereich Werkstatt oder im Garten- und Landschaftsbau.

3 Studie zu kognitiven Handlungsstrukturen

Exemplarisch präsentieren wir zur Veranschaulichung des Systems eine Studie zur Repräsentation von Handlungsstrukturen und untersuchten dabei eine manuelle Handlung, das Annähen eines Knopfes. Wir verglichen die Gedächtnisstruktur der Versuchsteilnehmer mit der Struktur eines Experten. Wir erwarten, dass sich die Gedächtnisstrukturen der Novizen signifikant von der Expertenstruktur unterscheiden und erfahrenere Versuchspersonen strukturell ähnlicher zur Expertenstruktur sind. Anschließend zeigen wir auf, wie Hinweise für die Verbesserung der Leistung im Einzelfall abgeleitet werden können.

3.1 Versuchspersonen

An der Untersuchung zum Annähen des Knopfes nahmen 6 Versuchspersonen teil (2

Frauen, 4 Männer) mit einem durchschnittlichen Alter von 25,3 Jahren ($SD = 4,1$ Jahre). Die Versuchspersonen führten das Annähen eines Knopfes nie (3), selten (2) bzw. manchmal (1) aus. Des Weiteren wurden die Versuchspersonen um eine Selbsteinschätzung ihrer Qualitäten im Haushalt bzw. bei Haushaltstätigkeiten gebeten. Dabei gaben 54,55% der Versuchspersonen an, gute bis sehr gute Qualitäten im Haushalt zu haben. 18,18% der Versuchspersonen gaben an, sehr schlechte bis schlechte Qualitäten im Haushalt zu haben. Die Expertin war 43 Jahre alt und arbeitet professionell seit 21 Jahren als Textil- und Modenäherin. Alle Personen erklärten schriftlich ihr freiwilliges Einverständnis zur Teilnahme am Experiment.

3.2 Versuchsaufbau

Die für die Untersuchung relevanten Arbeitsschritte zum Annähen eines Knopfes wurden in einem mehrstufigen Verfahren ermittelt. Zunächst wurden die relevanten Arbeitsschritte mit Hilfe von einschlägiger Literatur und durch die Unterstützung eines unabhängigen Experten ermittelt. Anschließend wurden die ermittelten Arbeitsschritte zwei weiteren Experten zur Überprüfung der Reihenfolge und der Formulierung der Arbeitsschritte vorgelegt. Außerdem sollte noch die Passung der ausgewählten Bilder für die Arbeitsschritte überprüft werden. Folgende Arbeitsschritte für das Annähen eines Knopfes wurden ermittelt ($n = 13$):

1. Passenden Knopf und Faden wählen
2. Faden durch die Öse der Nähnadel ziehen
3. Faden verknoten
4. Knopf korrekt positionieren
5. Erster Stich (von unten durch Stoff und Knopfloch)
6. Stecknadel setzen, nächsten Stich setzen
7. Weitere Stiche setzen, bis der Knopf fest sitzt
8. Letzter Stich (Nähnadel nur durch den Stoff stechen)
9. Stecknadel entfernen
10. Restlichen Faden umwickeln
11. Nähnadel auf die Innenseite stechen

12. Stiche auf der Innenseite setzen
13. Rest des Fadens abschneiden

3.3 Versuchsdurchführung und Datenauswertung

Vor der Durchführung der Untersuchung füllten die Versuchspersonen die Einverständniserklärung zur Teilnahme am Experiment aus und fertigten einen individuellen Code zur Anonymisierung der Daten an. Außerdem füllte jede Versuchsperson einen Fragebogen zu den demographischen Daten, sowie den handlungsbezogenen Fragen zur persönlichen Einschätzung der Häufigkeit und Qualität der zu bearbeitenden Alltagshandlung aus.

Zur Ermittlung der Gedächtnisstruktur wurde die SDA-M mit der Softwareversion *QSplit-corrected* angewendet (siehe Kapitel 1.1 und 1.2). Eine ausführliche Beschreibung der Anwendung der Software wurde den Versuchspersonen durch ein Demonstrationsvideo gegeben. Bei der anschließenden Abstandsskalierung saßen die Versuchspersonen vor dem Computerterminal und sahen zwei Arbeitsschritte. Sie sollten entscheiden, ob die beiden gezeigten Arbeitsschritte des Nähens für sie zusammengehören oder nicht. Der oben dargestellte Arbeitsschritt diente als Referenzobjekt und wurde mit den restlichen ($n - 1$) Arbeitsschritten verglichen. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis jeder Arbeitsschritt einmal in der Referenzposition war.

Für die Clusteranalyse werden die entstandenen Entscheidungsbäume zur Standardisierung in eine Z-Matrix überführt und anschließend in euklidische Distanzen transferiert. Diese dienen als Grundlage für die hierarchische Clusteranalyse und können in einem Dendrogramm dargestellt werden. Für die Auswertung der Ergebnisse der Clusteranalyse wurde durchgängig ein α von 0.05, was einem d_{krit} von 3.43 entspricht, verwendet. Ausschließlich Verbindungen der Arbeitsschritte unter dem kritischen Wert werden als statistisch relevant betrachtet. Die Überprüfung der strukturellen Varianz zwischen den Novizen und dem Experten wurde mit der Invarianzanalyse (λ) durchgeführt [Sch12]. Ein Wert größer gleich $\lambda = 0.68$ bedeutet, dass es

keinen Unterschied zwischen den beiden geprüften Clusterstrukturen gibt. Außerdem wurde zur Überprüfung der strukturellen Ähnlichkeit der Adjusted Rand Index (ARI, [San09]) angewendet. Der ARI hat eine Spanne von -1 bis 1, wobei -1 eine vollständige Verschiedenheit der Strukturen und 1 eine strukturelle Gleichheit bedeutet.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Clusteranalyse des Experten ergab vier Cluster (Abbildung 2). Die Struktur der mentalen Repräsentation der Arbeitsschritte zeigte eine klare Einteilung der 13 Arbeitsschritte in funktional organisierte Cluster: 1 – 4 (Vorbereitung), 5 – 8 (Nähvorgang), 9 – 10 (Loslösen) und 11 – 13 (Abschluss).

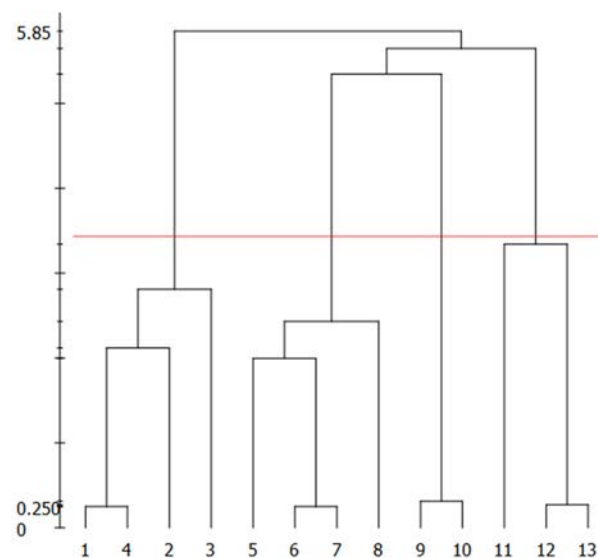


Abbildung 2: Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse für den Experten ($\alpha = 5\%$; $d_{\text{krit}} = 3.43$)

Die gruppenbezogene Clusteranalyse der Versuchsgruppe ergab fünf Cluster und zwei alleinstehende Arbeitsschritte (Abbildung 3). Insgesamt waren die Arbeitsschritte strukturell schwächer miteinander verknüpft. Auffällig ist, dass die Vorbereitung mit zwei Clustern (1-3; 4-5) repräsentiert war, allerdings wenig sinnvolle Cluster für den Nähvorgang und das Loslösen etabliert waren. Die alleinstehenden Arbeitsschritte 6 und 9 sind ein Anzeichen für problematische Handlungsabfol-

gen in der durchschnittlichen Gedächtnisstruktur.

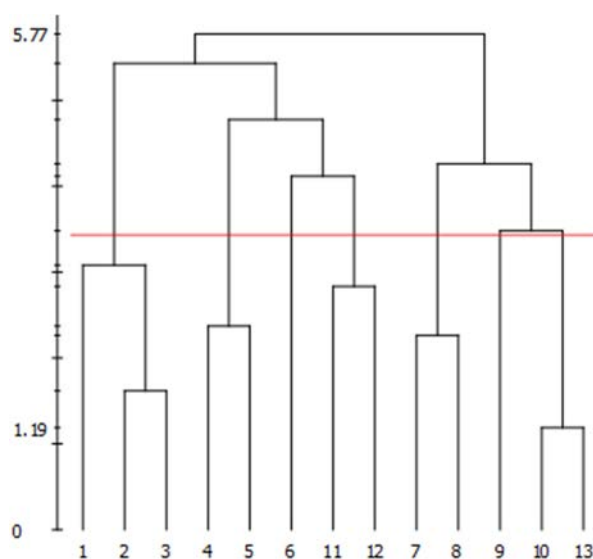


Abbildung 3: Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse für die Versuchsgruppe ($n = 6$; $\alpha = 5\%$; $d_{\text{krit}} = 3.43$)

Das in *Tabelle 1* dargestellte Ergebnis der Invarianzanalyse zeigt, dass weder die Gruppenstruktur der Novizen ($0.40 < 0.68 = \lambda_{\text{krit}}$), noch die Strukturen der einzelnen Versuchsperson invariant zur Expertenstruktur waren. Der zur Überprüfung der strukturellen Ähnlichkeit eingesetzte ARI zeigte Unterschiede in der Ähnlichkeit zwischen den Novizen und der Expertenstruktur auf. Auffällig hierbei war, dass die Gedächtnisstruktur von VP 4 sowohl die größte Ähnlichkeit mit der Expertenstruktur besaß, als auch die größte Erfahrung (Häufigkeit des Nähens: manchmal). Einhergehend mit der Ausführung der Tätigkeit, könnte sich somit eine Gedächtnisstruktur aufgebaut haben, die einem Experten ähnelt. Durch die gelegentliche Ausführung der Tätigkeit, werden funktionale Einheiten im Gedächtnis gebildet, die zur Steuerung der Handlungsausführung beitragen. Dies steht in Einklang mit aktuellen Forschungsergebnissen [Kim17, Fra13, Lan14]. Studien zeigten, dass sich funktionale Gedächtnisstrukturen durch die Ausführung von Bewegungen, beispielsweise im Golf, aufbauen und gleichzeitig die Leistungen zunehmen [Fra13, Lan14]. Studien aus den Sportarten Ballett und Tennis zeigen zudem

strukturelle Unterschiede in der Gedächtnisstruktur zwischen Anfängern und Experten [Blä09, Sch06], wie sie auch in dieser Studie gefunden worden sind. Unsere Studie trägt somit zur Annahme bei, dass Experten eine angepasste Gedächtnisstruktur als kognitive Basis für die Ausführung der Handlungsaufgabe entwickeln [Sch06].

Tabelle 1: Ergebnisse der Invarianz Analyse (IA) und des Adjusted Rand Index (ARI) im Vergleich zur Expertenstruktur ($d_{\text{krit}} = 3.43$)

VP	IA	ARI
Gruppe	0.40	0.35
1	0.40	0.05
2	0.33	0.12
3	0.39	0.20
4	0.41	0.54
5	0.40	0.35
6	0.44	0.23

5 Individualisiertes Training basierend auf kognitiven Repräsentationen

Die individuelle Clusteranalyse von VP3 zeigt fünf Cluster und drei alleinstehende Arbeitsschritte (Abbildung 4). Besonders auffällig ist, dass die Arbeitsschritte 5 und 11 sehr eng miteinander verknüpft sind. Die Verbindung von Arbeitsschritt 5 (Erster Stich von unten durch Stoff und Knopfloch) und 11 (Nähnadel auf die Innenseite stechen) ist nicht sinnvoll, da somit der Knoten am Knopf zu dick wird und am Ende nicht mehr entsprechend abgeschlossen werden kann. Die alleinstehenden Arbeitsschritte 6, 9, und 12 sind ein Anzeichen für eine fehlende Handlungsvorstellung. Für diese Versuchsperson ist es sinnvoll, die Technik des Nähvorgangs kennenzulernen (Arbeitsschritte 5 – 8) und gezielte Hilfestellung beim Abschluss des Nähens zu erhalten. Das Trainingssystem erkennt die Abweichung der Gedächtnisstruktur des Teilnehmers von der Idealstruktur, die sich von der Handlungsstruktur ableitet, und blendet Ausführungshinweise ein. Ebenso können dem Teilnehmer Übungsreihen angezeigt werden oder die Anweisung sich von Fachpersonal anleiten zu lassen.

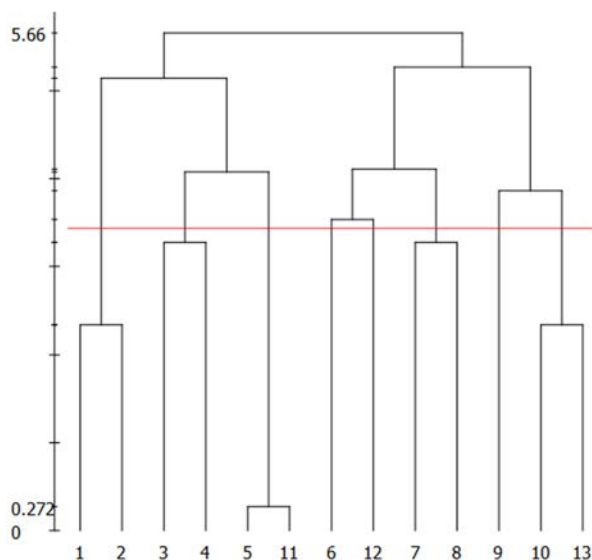


Abbildung 4: Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse für VP3 ($\alpha = 5\%$; $d_{\text{krit}} = 3.43$)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte Diagnose- und Trainingssystem kann in vielfältigen Einsatzbereichen zur Unterstützung von Arbeitshandlungen genutzt werden. Basierend auf der individuellen Messung der Gedächtnisstruktur können Hinweise für ein gezieltes Training abgeleitet werden und Lernfortschritte auf kognitiver Ebene evaluiert werden. Für den anwendungsbezogenen Einsatz müssen Arbeitsprozesse analysiert und in Teilaufgaben gegliedert werden. Diese können mit wenig Aufwand in das System geladen werden und ggf. auch wieder verändert werden. Somit ist der vielfältige Einsatz bei Arbeitsprozessen, beispielsweise in der Ausbildung, bei der Arbeit in Behindertenwerkstätten oder bei anspruchsvollen Montagearbeiten möglich.

Die Einbindung dieses kognitiv-technischen

Ansatz in den Lernprozess kann zu einem besseren Verständnis des Verhaltens der jeweiligen Personen beitragen und bietet zugleich die Möglichkeit der personalisierten Ansprache und Intervention. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt durch geschultes Personal oder kann durch verbale computergestützte Rückmeldungen bzw. zukünftig mittels zusätzlicher Assistenzsysteme (z.B. virtuelle Agenten) geschehen. Wenn der Ausbilder aufbauend auf die Diagnose weiß, wie die ausbildungsbezogenen Wissensstrukturen des Auszubildenden aussehen, dann weiß er auch besser, wie er ihn gezielt ansprechen, anleiten und durch verbesserte Lehrmethoden erreichen kann. Das Wissen über die individuellen kognitiven Prozesse des Auszubildenden unterstützt das wechselseitige Einfühlungsvermögen der Kooperationspartner und ermöglicht somit den verständnisvollen Umgang untereinander. Wenn der Auszubildende selbst einen Einblick in seine abgespeicherten Wissensstrukturen und darauf aufbauende Empfehlungen erhält, dann kann er eigenständig an der Weiterentwicklung seiner Fähigkeiten bzw. einer Verbesserung der ausbildungsbezogenen Abläufe (Handlungsstruktur) arbeiten. Der Einsatz dieser Methoden trägt damit zur Entwicklung eines intelligenten Ausbildungs- und Arbeitsplatzes im Bereich Arbeit und berufliche Rehabilitation bei.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt vom Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie CITEC (EXC 277) der Universität Bielefeld, welcher von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert wird.

Literatur

- [Blä09] B. Bläsing, G. Tenenbaum und T. Schack: The cognitive structure of movements in classical dance. *Psychology of Sport and Exercise* 10.3, S. 350-360, 2009.
- [Bra07] S. M. Braun, A. J. Beurskens, T. Schack, R. G. Marcellis, K. C. Oti, J. M. Schols und D. T. Wade: Is it possible to use the Structural Dimension Analysis of Motor Memory (SDA-M) to investigate representations of motor actions in stroke patients?. *Clinical Rehabilitation* 21.9, S. 822-832, 2007.
- [Eri91] K. A. Ericsson und J. Smith: Prospects and limits of the empirical study of expertise: An introduction. *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* 344, 1991.

- [Fra13] C. Frank, W. M. Land und T. Schack: Mental representation and learning: the influence of practice on the development of mental representation structure in complex action. *Psychology of Sport and Exercise* 14.3, S. 353-361, 2013.
- [Gri98] E. L. Grigorenko und R. J. Sternberg: Dynamic testing. *Psychological Bulletin* 124.1, S. 75, 1998.
- [Hod07] N. J. Hodges, R. Huys und J. L. Starkes: Methodological review and evaluation of research in expert performance in sport. *Handbook of sport psychology*, S. 159-183, 2007.
- [Kim17] T. Kim, C. Frank und T. Schack: A systematic investigation of the effect of action observation training and motor imagery training on the development of mental representation structure and skill performance. *Frontiers in human neuroscience* 11, S. 499, 2017.
- [Lan14] W. M. Land, C. Frank und T. Schack: The influence of attentional focus on the development of skill representation in a complex action. *Psychology of Sport and Exercise* 15.1, S. 30-38, 2014.
- [Lex15] H. Lex, K. Essig, A. Knoblauch und T. Schack: Cognitive representations and cognitive processing of team-specific tactics in soccer. *PLoS One* 10.2, e0118219, 2015.
- [San09] J. M. Santos und M. Embrechts: On the use of the adjusted rand index as a metric for evaluating supervised classification. *International Conference on Artificial Neural Networks*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [Sch07a] T. Schack: Repräsentation und Bewegungssteuerung - die kognitiv-perzeptuelle Perspektive. *Zeitschrift für Sportpsychologie* 14.3, S. 104-113, 2007.
- [Sch12] T. Schack: Measuring mental representations. *Measurement in sport and exercise psychology* 8, S. 203-14, 2012.
- [Sch06] T. Schack und F. Mechsner: Representation of motor skills in human long-term memory. *Neuroscience letters* 391.3, S. 77-81, 2006.
- [Sch07b] T. Schack und M. Bar-Eli: Psychological factors in technical preparation. *Psychology of sport training*, S. 62-103, 2007.
- [See16] C. Seegelke und T. Schack: Cognitive representation of human action: Theory, applications, and perspectives. *Frontiers in public health* 4, S. 24, 2016.
- [Stö12] T. Stöckel, C. ML Hughes und T. Schack: Representation of grasp postures and anticipatory motor planning in children." *Psychological Research* 76.6, S. 768-776, 2012.
- [Vog16] L. Vogel und T. Schack: The cognitive representation of complex actions in work processes: A technological approach for individual diagnostic in people with cognitive disabilities. 2016.

Individualized cognitive assistance by smart glasses for manual assembly processes in industry

B. Streng, L. Vogel und T. Schack

Bielefeld University
Cluster of Excellence “Cognitive Interaction Technology” (CITEC)
Neurocognition and Action group
benjamin.streng@uni-bielefeld.de

Abstract

Smart glasses can assist manual assembly with augmented reality. However, displaying hints for all actions for every user raises issues concerning attention and suitability for learning. User tests in an industrial setting have shown that purposeful intervention with AR glasses using 3D in-situ instructions when errors occurred was considered highly usable. Additionally, we investigated the usage of approaches for analyzing human memory structures to determine whether users are likely to require assistance for specific actions or not. Assistance systems could use such data to prevent many errors before they occur and to reduce the amount of unneeded information.

Kurzzusammenfassung

Individualisierte kognitive Assistenz durch Datenbrillen für manuelle Zusammenbauprozesse in der Industrie

Datenbrillen können manuelle Montageprozesse unterstützen, indem sie virtuelle Hilfinformationen zur realen Welt hinzufügen. Würden jedoch undifferenziert jedem Nutzer Hilfinblendungen für sämtliche Arbeitsschritte angezeigt, können Probleme durch Ablenkung und mangelnde Lernförderlichkeit entstehen. Usability-Tests unseres Systems im industriellen Umfeld zeigten, dass eine gezielte Intervention mittels In-situ-Einblendung von 3D-Hinweisen bei auftretenden Handlungsfehlern als hochgradig gebrauchstauglich bewertet wird. Des Weiteren haben wir Verfahren zur Gedächtnisstrukturanalyse untersucht, mit denen eingeschätzt werden kann, ob ein Nutzer nach einem bestimmten Handlungsschritt eine korrekte Folgeaktion auswählen wird oder Unterstützung benötigt. Anhand dieser Information können Assistenzsysteme unnötige Einblendungen wesentlich reduzieren und gleichzeitig zahlreiche Fehler antizipieren, bevor diese auftreten.

Keywords

Augmented Reality (AR), Assistance Systems, Scene and Action Understanding, SDA-M

1 Einleitung

Industrial assembly is generally highly automated and many tasks that previously used to be performed mostly by humans are nowadays handled by robots. However, in the case of a broad spectrum of product variants and/or small lot sizes many assembly processes still involve a considerable amount of manual work by humans. A large number of recent studies investigated the use of augmented reality (AR) as a means to providing assistance in manual assembly, e.g. [Kor13, Pet13,

Khu14, San16, Fun16, Bla17, Bla18]. For example, in the furniture-related industry smaller prototypes or “mockup versions” of actual products, e.g. drawer systems, are manually assembled and used to illustrate technical concepts to potential customers. In the BMBF-funded research project ADAMAAS (“Adaptive and Mobile Action Assistance”) [Ess16] we worked with company Hettich, one of the leading manufacturers of furniture fittings, in order to establish an intelligent assistance system for this scenario.

As illustrated provocatively by the short film “Hyper-Reality” [Mat16], the design of AR systems must carefully consider limitations of human capabilities. Numerous studies in the fields of cognitive psychology and humanmachine interaction have shown that visual attention, working memory and executive functions are limited resources. Therefore, usability-oriented design guidelines, such as the dialogue principles from ISO 9241-110, ISO 15005, ISO 14915, Shneiderman’s golden rules [Shn16], and Nielsen’s heuristics [Nie05] established that user interfaces shall contain as little irrelevant and unneeded information as possible. Furthermore, assisting each and every step of an activity may cause users to unthinkingly follow the system’s instructions and prevent them from learning to perform tasks on their own. This may create unwanted and persistent dependences on technical systems. In accordance with ISO 9241-110’s principle of “suitability for learning”, we argue that systems should rather strive to minimize the amount of assisting information and help users to learn performing activities independently. This paper presents the ADAMAAS smart glasses assistance system for manual assembly, results from a user test demonstrating its general usability in absence of unneeded system feedback, as well as an approach for anticipating human errors and reducing the amount of irrelevant information based on task-related memory analyses.

2 The ADAMAAS project

The overall goal of the ADAMAAS project was the development and evaluation of a cognitive assistance system that enables people with and without disabilities to lead an independent and self-determined life. ADAMAAS is a mobile co-acting system that can assist different activities. It was implemented in the form of intelligent smart glasses and integrates techniques from augmented reality, eye tracking, biofeedback and cognitive diagnostics. In order to enable an age-appropriate, individual assistance in different situations, the system diagnoses the cognitive representation structure of the specific task. Based on the diagnoses, it is able to identify problems in the cognitive structure, and to give appropriate feedback to users during tasks execution. Therefore, the system facilitates users’ autonomous control of professional and everyday activities by showing situation-specific hints.

The primary application scenarios in the ADAMAAS project were the following:

- Assisting users with disabilities in an educational context,
- assisting elderly people in interacting with high-tech machines, and
- assisting Hettich staff members in assembling drawer system mockups.

This paper reports on some approaches and results concerning the third application scenario.

3 AR assembly assistance user test

The design of the ADAMAAS system’s AR assistance for manual assembly of Hettich’s drawer system mockup (Fig 1) was based on a range of studies conducted at our institute during the project which investigated aspects like the placement of information within the field of view, visual attention guidance, and the design of visual feedback [Ess16, Ren17d, Ren17c, Ren17b, Ren17a, Bla17, Ren18, Bla18]. The overall system development process followed an agile methodology that involved close cooperation with potential users and other stakeholders [Str18]. Over time, the design was improved through several iterations of formative evaluation.



Figure 1: Assembly of a Hettich drawer system mockup

The resulting ADAMAAS assistance system used Microsoft HoloLens AR glasses to display an orange 2D bar showing textual descriptions of current actions (e.g. “Slide baseplate to the rear wall”) at a fixed position in the real world, slightly above the working

area (Fig 2), and guided visual attention (Fig 3) towards instructions illustrating the current action with animated 3D objects indicating the handling and placement of drawer parts (Fig 2). Advanced AR features such as the “SWave” attention guidance system [Ren17a] and the use of 3D in-situ instructions distinguish the ADAMAAS system from other common approaches that use e.g. side-byside instructions [Khu14] or simple 2D projections [Fun15].

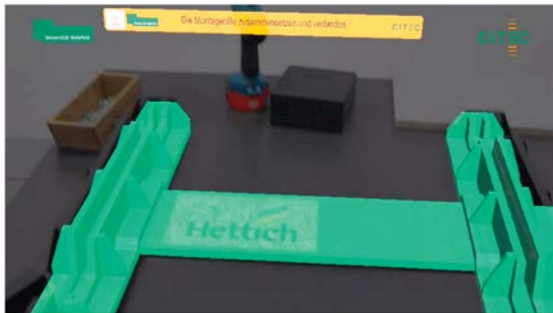


Figure 2: Status bar and 3D AR placement assistance

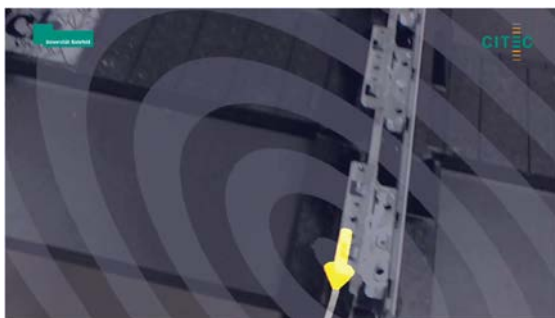


Figure 3: Attention guidance system “SWave” [Ren17a].

When a sufficiently promising state was reached, we conducted a summative test with potential users within the actual context of use (i.e. at company Hettich) in order to quantify the expected usability of the AR assistance. Hereby we used a Wizard of Oz study design to ensure that the smart glasses showed AR assistance only when participants made an error, i.e. no unneeded visual information was presented at all.

3.1 User test participants

All $N = 28$ participants of our user test were employees of Hettich (21 male, 7 female).

Their average age was 41,7 years, standard deviation $SD = 11,2$ years, within a range of [21,70]. All participants declared deliberate participation via informed consent. In order to be representative of different levels of task-related skill and knowledge, our company contacts selected the sample to include approximately half of all participants with extensive relevant expertise (e.g. professional carpenters) and half with limited or no task-related expertise (e.g. clerks and novices). The participants were released from their regular work duties for the duration of our user test. Therefore we waived elaborate analyses regarding the impact of individual features on the user experience and focused on a summative assessment of the system prototype’s overall usability.

3.2 User test task and setting

The task was to assemble a drawer system mockup from Hettich while wearing HoloLens AR glasses that displayed the ADAMAAS assembly assistance. The HoloLens was connected via Wi-Fi to controller software running on a notebook. This allowed the experimenters to enable and disable the assistance display for any action in a Wizard of Oz style. Before the actual user test, participants were shown a short instructional video how to assemble the drawer system, so that they had at least rudimentary knowledge about the task. All necessary parts and tools (electric screwdrivers) were provided on a work bench. Participants could start the assembly at their own discretion and there were no time constraints. Assembly was observed by the experimenters (Fig 4). When participants executed a wrong action or stated that they did not know how to proceed, the experimenters triggered the ADAMAAS system to display the assistance for the current action. As soon as that action was successfully executed, the assistance system was deactivated. This allowed participants to try identifying and executing the next correct step on their own and prevented unwanted distraction by the system. After task completion participants were asked to fill out the System Usability Scale (SUS) questionnaire [Bro96].



Figure 4: User test at company Hettich

3.3 User test results and discussion

Despite the fact that our ADAMAAS system was merely a research prototype, the overall SUS score of 73.2 corresponded to a “good” result [Ban09] and was rated as having already above-average usability compared to other technical systems [Sau11]. With $N = 28$ participants, this result is considered highly reliable, since it has been shown that the SUS questionnaire yields reliable results with as few as 8-12 users [Tul04, Bro13]. The learnability factor [Lew09] had an even higher value of 76.8 indicating that the system was suitable for use by novices.

Overall the user tests showed that the ADAMAAS system’s specific design and combination of AR instructions had a high degree of usability and were helpful for the manual assembly task under the condition that assistance was only displayed when users actually needed it. During the study, this was ensured by using a Wizard of Oz approach, i.e. experimenters manually triggered required assistance. This is obviously not applicable in most real-life scenarios. Therefore, concurrent and subsequent work by researchers from the ADAMAAS project was concerned with developing an action recognition system based on computer vision and machine learning techniques in order to replace the Wizard of Oz by an unattended, automatized system [Sch17a, Sch17b]. However, it should be noted that even perfect detection of and quick reaction to human errors has the inherent drawback that errors must first occur during task execution

and then be rectified before the next correct action can be performed. Arguably, it would be best to anticipate errors beforehand and prevent that they occur in the first place. The next section describes a new approach to tackling this issue.

4 Individual error anticipation for user-specific assistance

In order to adjust assistance to individual needs, specific information about users and/or the assisted tasks is required. This could be statistics about which errors occurred most prevalently in the past among groups of users, e.g. novices, or users sharing other distinct, relevant properties correlating with the probability of making specific errors. However, this requires extensive empirical data that is often not available. It can also be accurate only to the extent that an individual user is representative of a given group. Another approach is to directly measure relevant properties of individuals. Arguably, the most relevant property in this context is individual task-related knowledge and experience. An established method from cognitive psychology for measuring human memory structures for specific activities is structural-dimensional analysis of mental representations (SDA-M) [Sch12]. In the following, we briefly outline the SDA-M method and describe how it can be applied for individualizing assistance.

4.1 The SDA-M method

The structural-dimensional analysis of mental representations (SDA-M) is a noninvasive method that implicitly investigates the cognitive structure based on a semiautomatized survey of users, the so-called splitting procedure, to provide psychometric data on the dimensions and structures of mental representations (MR) of movements and other actions [Sch12]. It has been applied in different fields to investigate the underlying cognitive structure of human memory [Sch13]. Current research has shown that mental representation structures change over the course of learning [Lan14] and differ as a function of expertise [Sch06]. Studies in soccer [Lex15], judo

[Wei11] and dance [Blä09] showed that experts possessed functionally meaningful and hierarchically clustered mental representation structures in their field of expertise, whereas novices had less structured representations. SDAM has also been used as a cognitive diagnostic tool to enrich mental training, e.g. visualization of complex sport movements, by avoiding the repetition of wrong movement patterns [Sch07]. Moreover, the SDA-M method has been applied to manual action [Stö12], auditory and spatial representation [Vel14, Lex12] and rehabilitation [Bra07]. For example, investigations of mental representations in stroke patients found that patients with serious stroke had less structured representations than healthy controls [Bra07]. Previous studies indicated that integrating the SDA-M method into technical systems seems to be a promising approach to improve the interaction capabilities of the system [See16]. In project ADAMAAS, we investigated whether and how SDA-M data can inform assistance systems about users' task-related knowledge in order to focus on providing relevant helpful assistance instead of unneeded, distracting visual clutter.

4.2 Assessment of error-prone action steps

The SDA-M procedure yields, individually for each user, a measure of distance between mental representation units relevant for a problem-solving domain in their memory. The set of these representation units can be defined to include all subtasks or action steps of a common overarching activity. Additionally, users must be instructed to assess during the SDA-M split procedure whether each pair of actions is directly sequentially associated or not, i.e. whether the actions immediately follow each other during task execution. Under these conditions it is possible to analyze for each action whether it is suitably associated (in the user's memory) with a correct follow-up action. In project ADAMAAS, we extended our SDA-M software to incorporate such algorithmic analysis of individual task-related memory structures: Given the set of all correct action sequences, if an action a_i has

closest distance (i.e. strongest association) to at least one of the correct follow-up actions (disregarding the previous action a_{i-1}) then the system assumes that the user will know what to do on his or her own after finishing action a_i . Otherwise it is assumed that the user may make an error or not know how to proceed, therefore, immediately after the user finishes action a_i , it would display assistance for a correct follow-up action a_{i+1} .

4.3 Empiric evaluation study

We evaluated the SDA-M-based approach for distinguishing between user-specific assistance requirements in an empiric study. The setting and proceedings largely resembled those of our user test described above. However, the goal of this study was to find out how an individualized assistance system using our SDA-M-based assessment would perform with respect to the errors actually occurring during task execution.

4.3.1 Study participants

The set of participants in this study was different from the one in our user test, with some degree of overlap between both sets. Again, all $N = 28$ participants of our user test were employees of Hettich (21 male, 7 female). Their average age was 40,0 years, standard deviation $SD = 10,2$ years, within a range of [23,59]. All participants declared deliberate participation via informed consent. In order to be representative of different levels of task-related skill and knowledge, our company contacts selected the sample to include approximately half of all participants with extensive relevant expertise (e.g. professional carpenters) and half with limited or no task-related expertise (e.g. clerks and novices).

4.3.2 Study proceedings

The test task was the same one as described above, i.e. manual assembly of a Hettich drawer system mockup within the actual context of use. Firstly, participants were shown the instructional video how to assemble the drawer system, so that they had at least rudimentary knowledge about the task. After that,

they were asked to perform an SDA-M split procedure regarding the assembly task to measure their task-related memory structures. The SDA-M software for this ran on mobile computing devices. The action descriptions included in the split procedure had been created in cooperation with our contact persons at Hettich. This ensured that they conformed to official process descriptions and were understandable for the target groups. All parts and tools (electric screwdrivers) necessary for the subsequent assembly were provided on a workbench. After the split procedure, participants could start the assembly at their own discretion and there were no time constraints. Assembly was observed by the experimenters. When participants executed a wrong action or stated that they did not know how to proceed, the experimenters intervened by stopping participants, noted the error, and provided instructions how to perform the next correct step. Note that due to pragmatic reasons, these instructions were given personally by the experimenters (other than in the user test).

4.3.3 Study results and discussion

The experimental recordings regarding each participant's successful or unsuccessful execution of each action step were afterwards compared to what the algorithm described in section 4.2 would have predicted based on the respective individual SDA-M data. For further analyses, we considered each correct prediction of a successful action step execution as a "true positive" and applied the standard metrics for evaluation of binary classifiers [Wik18]. Binomial tests showed that the overall accuracy of 63.2% was highly significant above chance level ($p < 0.0001$). Hereby all cases of predicted errors that actually occurred, as well as all cases of users being predicted to know what to do after a given action actually executing correct follow-up actions on their own, counted as successful Bernoulli trials, while all deviating cases counted as a failures.

A sensitivity value of 0.637 indicated that an assistance system using our prediction module

would have reduced the amount of irrelevant, unnecessarily displayed information by 63.7% (Fig 5), while correctly predicting many actual errors in order to provide the respective assistance (specificity value 0.594).

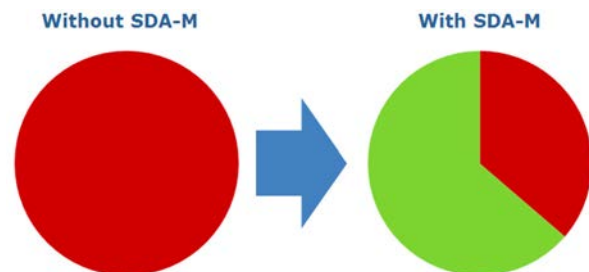


Figure 5: Amount of unneeded information (red) detected by SDA-M-based analyses with 63.7% sensitivity

A positive predictive value of 92.4% implied that in approximately 12 out of 13 cases when the system had decided to remain silent this would have been right, but in one of these cases users would actually have needed assistance. Therefore, such a system cannot be completely unattended, but must provide some means of user interaction that allows users to trigger the assistance explicitly if needed. In the context of manual assembly, we integrated simple voice commands into the ADAMAAS system for this purpose; other approaches for smart glasses could use gesture recognition, head tracking, or eye tracking, in order to keep users hands free.

5 Outlook

The results from the user test and study reported in this paper indicate that individual analyses of task-related knowledge and in-situ AR instructions are highly promising approaches for mobile cognitive assistance systems. We consider these results merely as a first glimpse into the vast potential of combining smart glasses and methods from psychology for providing individualized cognitive task assistance. We expect industrial applications, with a special focus on assembly processes and human-robot interaction, to be among the first scenarios that make actual use of such systems in practice. However, the approaches presented here are in principle not

restricted to this context, but may just as well be applied to activities of personal daily life. In our future work, we will investigate how these approaches perform in other tasks. Furthermore, we are working on more advanced cognitive models incorporating additional data about the current user state using sensor-based measurements in order to further improve accuracy and yield more fine-grained error predictions.

Acknowledgments

This research was supported by the Cluster of Excellence Cognitive Interaction Technology 'CITEC' (EXC 277) at Bielefeld University, which is funded by the German Research Foundation (DFG). Project ADAMAAS was funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

Literature

- [Ban09] A. Bangor, P. Kortum and J. Miller: Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. In: *Journal of usability studies* 4.3, pp. 114-123, 2009.
- [Blä09] B. Bläsing, G. Tenenbaum and T. Schack: The cognitive structure of movements in classical dance. In: *Psychology of Sport and Exercise* 10.3, pp. 350-360, 2009.
- [Bla17] J. Blattgerste, B. Streng, P. Renner, T. Pfeiffer and K. Essig: Comparing Conventional and Augmented Reality Instructions for Manual Assembly Tasks. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA'17)*. Island of Rhodes, Greece: ACM, 2017.
- [Bla18] J. Blattgerste, P. Renner, B. Streng and T. Pfeiffer: In-Situ Instructions Exceed Side-by-Side Instructions in Augmented Reality Assisted Assembly. In: *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference. PETRA '18*. Corfu, Greece: ACM, pp. 133-140, DOI: 10.1145/3197768.3197778, 2018.
- [Bra07] S. M. Braun, A. J. Beurskens, T. Schack, R. G. Marcellis, K. C. Oti, J. M. Schols and D. T. Wade: Is it possible to use the Structural Dimension Analysis of Motor Memory (SDA-M) to investigate representations of motor actions in stroke patients? In: *Clinical Rehabilitation* 21.9, pp. 822-832, 2007.
- [Bro96] J. Brooke: SUS - A quick and dirty usability scale. In: *Usability evaluation in industry*, 1996.
- [Bro13] J. Brooke: SUS: A Retrospective. In: *Journal of Usability Studies* 8.2, pp. 29-40. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=28179122817913>, 2013.
- [Ess16] K. Essig, B. Streng and T. Schack: ADAMAAS: Towards Smart Glasses for Mobile and Personalized Action Assistance. In: *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. PETRA '16*. Corfu, Island, Greece: ACM, pp. 46:1-46:4. DOI: 10.1145/2910674.2910727, 2016.
- [Fun16] M. Funk, T. Kosch and A. Schmidt: Interactive Worker Assistance: Comparing the Effects of In-situ Projection, Head-mounted Displays, Tablet, and Paper Instructions. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. UbiComp '16*. New York, NY, USA: ACM, pp. 934-939. DOI: 10.1145/2971648.2971706. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2971648.2971706> (visited on 12/06/2016), 2016.
- [Fun15] M. Funk, A. Bächler, L. Bächler, O. Korn, C. Krieger, T. Heidenreich and A. Schmidt: Comparing Projected In-situ Feedback at the Manual Assembly Workplace with Impaired Workers. In: *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. PETRA*

- '15. New York, NY, USA: ACM, pp. 1:1-1:8. DOI: 10.1145/2769493.2769496. (Visited on 01/21/2016), 2015.
- [Khu14] B. M. Khuong, A. Kiyokawa, J. J. Miller, T. La Viola, T. Mashita and H. Takemura: The effectiveness of an AR-based context-aware assembly support system in object assembly. In: 2014 IEEE Virtual Reality (VR), pp. 57-62. DOI: 10.1109/VR.2014.6802051, 2014.
- [Kor13] O. Korn, A. Schmidt and T. Hörz: Augmented Manufacturing: A Study with Impaired Persons on Assistive Systems Using In-situ Projection. In: Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. PETRA '13. New York, NY, USA: ACM, pp. 21:1-21:8. DOI: 10.1145/2504335.2504356. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2504335.2504356> (visited on 10/15/2016), 2013.
- [Lan14] W. M. Land, C. Frank and T. Schack: The influence of attentional focus on the development of skill representation in a complex action. In: Psychology of Sport and Exercise 15.1, pp. 30-38, 2014.
- [Lew09] J. R. Lewis and J. Sauro: The factor structure of the system usability scale. In: International conference on human centered design. Springer, pp. 94-103, 2009.
- [Lex12] H. Lex, M. Weigelt, A. Knoblauch, T. Schack: Functional relationship between cognitive representations of movement directions and visuomotor adaptation performance. In: Experimental brain research 223.4, pp. 457-467, 2012.
- [Lex15] H. Lex, K. Essig, A. Knoblauch and T. Schack: Cognitive representations and cognitive processing of teamspecific tactics in soccer. In: PLoS One 10.2, e0118219, 2015.
- [Mat16] K. Matsuda: Hyper-Reality. URL: <http://hyper-reality.co/>, 2016.
- [Nie05] J. Nielsen: 10 Usability Heuristics for User Interface Design. URL: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>, 2005.
- [Pet13] N. Petersen, A. Pagani and D. Stricker: Real-time modeling and tracking manual workflows from first-person vision. In: 2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp. 117-124, DOI: 10.1109/ISMAR.2013.6671771, 2013.
- [Ren18] P. Renner, J. Blattgerste and T. Pfeiffer: A Path-based Attention Guiding Technique for Assembly Environments with Target Occlusions. In: IEEE Virtual Reality 2018. Reutlingen: IEEE, 2018.
- [Ren17a] P. Renner and T. Pfeiffer: Attention Guiding Techniques using Peripheral Vision and Eye Tracking for Feedback in Augmented-Reality-based Assistance Systems. In: 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). IEEE, pp. 186-194. DOI: 10.1109/3DUI.2017.7893338, 2017.
- [Ren17b] P. Renner and T. Pfeiffer: Evaluation of Attention Guiding Techniques for Augmented Reality-based Assistance in Picking and Assembly Tasks. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion. Limassol: ACM, pp. 89-92. DOI: 10.1145/3030024.3040987, 2017.
- [Ren17c] P. Renner and T. Pfeiffer: Eye-Tracking-Based Attention Guidance in Mobile Augmented Reality Assistance Systems. In: Abstracts of the 19th European Conference on Eye Movements. Ed. by Ralph Radach et al. Vol. 10. 6. Wuppertal, p. 218. DOI: 10.16910/jemr.10.6, 2017.
- [Ren17d] P. Renner and T. Pfeiffer: [POSTER] Augmented Reality Assistance in the Central Field-of-View Outperforms Peripheral Displays for Order Picking: Results from a Virtual Reality Simulation Study. In: 2017 IEEE International Symposium on

- Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct), pp. 176-181. DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.59, 2017.
- [San16] O. Sand, S. Büttner, V. Paelke and C. Röcker: smARt.Assembly – Projection-Based Augmented Reality for Supporting Assembly Workers. In: Virtual, Augmented and Mixed Reality. Ed. by S. Lackey and R. Shumaker. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing, pp. 643-652, 2016.
- [Sau11] J. Sauro: A practical guide to the system usability scale: Background, benchmarks & best practices. Denver, CO: Measuring Usability LLC, 2011.
- [Sch12] T. Schack: Measuring mental representations. In: Measurement in sport and exercise psychology. Ed. by G. Tenenbaum, Eklund R. C., and Kamata A., pp. 203-214, 2012.
- [Sch07] T. Schack and M. Bar-Eli: Psychological factors in technical preparation. In: Psychology of sport training, pp. 62-103, 2007.
- [Sch06] T. Schack and F. Mechsner: Representation of motor skills in human long-term memory. In: Neuroscience letters 391.3, pp. 77-81, 2006.
- [Sch13] T. Schack and H. Ritter: Representation and learning in motor action—bridges between experimental research and cognitive robotics. In: New ideas in psychology 31.3, pp. 258-269, 2013.
- [Sch17a] M. Schröder and H. Ritter: Deep Learning for Action Recognition in Augmented Reality Assistance Systems. In: ACM SIGGRAPH 2017 Posters. Los Angeles, CA, USA, pp. 75:1-5:2, 2017.
- [Sch17b] M. Schröder and H. Ritter: Hand-Object Interaction Detection with Fully Convolutional Networks. In: The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops. Honolulu, HI, USA, pp. 18-25, 2017.
- [See16] C. Seegelke and T. Schack: Cognitive representation of human action: Theory, applications, and perspectives. In: Frontiers in public health 4, p. 24, 2016.
- [Shn16] B. Shneiderman and C. Plaisant: Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. 6th. Pearson, 2016.
- [Stö12] T. Stöckel, C. M. L. Hughes and T. Schack: Representation of grasp postures and anticipatory motor planning in children. In: Psychological Research 76.6, pp. 768-776, 2012.
- [Str18] B. Strengé and T. Schack: Agile Worth-Oriented Systems Engineering: A Methodology for Incorporating Ethical Aspects in Development Processes. In: Presented at the 9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2018), Orlando, Florida, USA, 2018.
- [Tul04] T. S. Tullis and J. N. Stetson: A comparison of questionnaires for assessing website usability. In: Proceedings of Usability Professional Association Conference. Minneapolis, Minnesota, 2004.
- [Vel14] M. C. C. Velten, B. Bläsinga, L. Portes, T. Hermann and T. Schack: Cognitive representation of auditory space in blind football experts. In: Psychology of Sport and Exercise 15.5, pp. 441-445, 2014.
- [Wei11] M. Weigelt, T. Ahlmeyer, H. Lex und T. Schack: The cognitive representation of a throwing technique in judo experts—Technological ways for individual skill diagnostics in high performance sports. In: Psychology of Sport and Exercise 12.3, pp. 231-235, 2011.
- [Wik18] Wikipedia contributors: Evaluation of binary classifiers – Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online; accessed 26-October-2018]. 2018. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Evaluation_of_binary_classifiers&oldid=865412405.

Biomechanical assessment of a backpack system

L. Winter¹, C. Linnenberg^{2,3} und R. Weidner^{2,3}

¹ Justus-Liebig-Universität Gießen
Leoni.winter@sport.uni-giessen.de

² Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Christine.Linnenberg@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de

³ Leopold-Franzens-University Innsbruck, Institute for Mechatronics, Chair for Production
Technology
Christine.Linnenberg@uibk.ac.at, Robert.Weidner@uibk.ac.at

Abstract

The effects of load carriage on the body have been studied in upright positions such as standing and walking, but its impact in non-neutral positions remains unclear. This study assesses the effects of load height and trunk angle in static neutral and non-neutral body positions using electromyographic and posturographic measures. Both load position and trunk angle significantly influenced muscle activity, particularly of the erector spinae and biceps femoris muscles, as well as mean sway velocity and sway area. Effects were most pronounced in non-neutral body positions. Adjustable load height is a viable strategy to reduce load-induced strain on the musculoskeletal system.

Kurzzusammenfassung

Biomechanische Untersuchung eines Rucksacksystems

Der Einfluss des Lastentragens auf den Körper wurde bislang hauptsächlich für aufrechte Körperhaltung untersucht. Unklar bleibt, wie sich das Lastentragen in nicht-neutralen Positionen auswirkt. In dieser Studie wurde der Einfluss von Lastenhöhe und Oberkörperposition in statischen, neutralen und nicht-neutralen Ausgangsstellungen mittels Elektromyographie und Posturographie untersucht. Sowohl Lastenposition als auch Oberkörperwinkel beeinflussen die Muskelaktivität, besonders die des M. Erector spinae und des M. Bizeps femoris, sowie die mittlere Schwankungsgeschwindigkeit und die Schwankungsfläche. Die Effekte waren in nicht-neutralen Positionen am stärksten. Eine anpassbare Lastenhöhe ist eine effektive Strategie, um die durch das Lastentragen vergrößerte muskuloskelettale Beanspruchung zu reduzieren.

Keywords

Load carriage, postural control, muscle activity, biomechanical analysis

1 Introduction

Backpack carriage is common in both recreational settings such as hiking and workplace settings, for example equipment carriage in the military context. Loading can add significant strain to the musculoskeletal system, which can put individuals at risk of developing musculoskeletal disorders [Fee98, Put97, Pun04]. Research has focused on assessing the

effects of backpack carriage in upright body positions such as walking and standing, but scientific evidence is limited for non-neutral body postures that are relevant in workplace settings, such as bent and twisted positions. Load position has been shown to significantly influence a load's effect on the body [Bob84, Coo87, How02, Li17, Nor97, Stu04]. In upright posture, the backpack centre of mass

(COM_{BP}) positioned around the mid back leads to lower energy expenditure [Sim11], reduced metabolic cost [Nor97, Stu04], lower perceived exertion [Stu04] and moment of inertia [Nor97], and reduced spinal compression [Cho11] compared to other backpack positions. Better activity-specific understanding of the effects of load carriage and load position can be used to develop informed strategies for advanced backpack feature design.

1.1 Muscle activity during load carriage

Studies have shown that compared to unloaded conditions, backpack carriage leads to significant changes in muscle activity in selected trunk and leg muscles in upright standing and walking [Dev07, Lin12, Sil13, Sim11]. Studies show increased muscle activity in the leg [Lin12, Sil13, Sim11] and abdominals [Dev07], and decreased activity of back muscles [Dev07] during load carriage. In addition to the effect of load magnitude on muscle activity, the impact of load positioning has been investigated. One study showed that a load of 15% body weight (BW) positioned at lumbar height led to increased rectus femoris muscle activity compared to a load at mid back height [How02] during walking. Another study showed a non-significant trend towards higher rectus abdominis muscle activity for the lumbar position of a 15% BW load, compared to a thoracic position, during standing and walking, but no difference in the leg muscles [Dev07]. Bobet and Norman [Bob84] found that a load positioned above shoulder height led to increased trapezius and erector spinae muscle activity, compared to a mid-back load position during walking.

To the author's knowledge, only one study has assessed the effects of load carriage in different non-neutral body positions. Southard and Mirka [Sou07] showed that sagittal trunk forward angle had a significant main effect on erector spinae and rectus abdominis muscle activity ($F=204.8$; $p<0.0001$ and $F=16.49$; $p<0.0001$, respectively).

1.2 Postural control during load carriage

Studies show that load bearing has negative effects on postural control [May09, Pal01, Str17]. Palumbo and colleagues [Pal01] found that load carriage led to decreased directional control in the sagittal plane and decreased voluntary movement velocity during target reaching in upright standing in 50 college students. May and colleagues [May09] found that load carriage led to significantly decreased balance scores in 20 air force cadets, suggesting decreased postural stability, while Strube and colleagues [Str17] found that external loads of 16 kg and 20.5 kg significantly increased mean sway velocity during quiet standing by 16% to 52% depending on stance and visual condition in 20 male adults.

Decreased postural control is known to increase the risk of falling and injury [Tou98]. However, it is unclear how the height of the COM_{BP} and the body position affect the centre of mass behaviour and hence, an individual's ability to balance.

1.3 Study objectives

Scientific literature suggests that backpack carriage impacts postural control and that COM_{BP} height additionally affects muscle activity during upright body postures, but it is unclear how it affects the musculoskeletal system in non-neutral body positions such as bending forward or twisting which occur frequently when lifting and picking up objects from the ground, as well as during other manual tasks such as shovelling. The present study will therefore explore the effects of a backpack system with adjustable centre of mass height on the musculoskeletal system and postural control. Based on suggestions from scientific literature, a backpack system functional prototype with adjustable COM height was developed. The study aims to assess the effects of carrying the new backpack prototype on muscle activity and postural control in non-neutral body postures.

2 Methods

A cross-sectional study was conducted using surface electromyography (EMG) and force

plate measures. Ten healthy volunteers (five females) consented to participate in the study.

2.1 The Backpack Functional Prototype

A study backpack (Figure 1) was constructed, which was equipped with a freely adjustable mass of 10.2 kg in order to modify the COM_{BP} height.

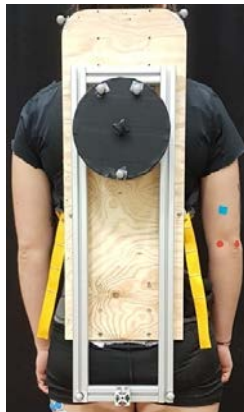


Figure 1: The study backpack

For each participant, three load positions were defined, in addition to the *normal* backpack height (Figure 2, line A). *Thoracic*, *lumbar* and *sacral* height were defined according to each participant's anatomy. *Thoracic* height (Figure 2, line B) was defined at the height of each participant's xiphoid process, *lumbar* height (Figure 2, line C) was defined at the highest point of the iliac crest and *sacral* height (Figure 2, line D) corresponded to trochanter major height.

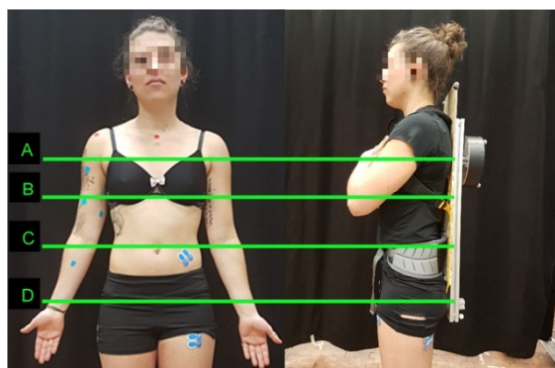


Figure 2: Backpack heights

At each backpack mass height, participants performed static forward leaning with four different trunk angles for 20 seconds each (Table

1). The forward lean angle was defined as the angle of the trunk to vertical (Figure 3). The order of backpack mass heights was randomized, as well as the order of tasks within each load height modification.



Figure 3: Trunk forward angle calculation

Table 1: Study conditions and tasks

Conditions	Tasks
<i>Normal</i> load height	Upright standing
<i>Thoracic</i> load height	Forward lean 30°
<i>Lumbar</i> load height	Forward lean 60°
<i>Sacral</i> load height	Forward lean 90°

2.2 Electromyography

For EMG measurements, wireless sensors (myon 320, myon AG, Switzerland, 1,000 Hz) and self-adhesive surface electrodes were used. EMG data was collected at 960 Hz. Electrodes were placed on standard locations [Kon11] on the muscle bellies of the upper trapezius muscle, the erector spinae muscle (ES), the obliquus externus abdominis muscle, the biceps femoris muscle (BF) and the rectus femoris muscle on each participant's respective dominant side. The participants' skin was prepared using standard procedures [Jöl17]. Surface electrodes were covered by custom made, 3D-printed covers to prevent interference of signals caused by pressure from the

backpack or backpack straps on the electrodes. Maximal voluntary contractions (MVC) were performed at the beginning of each measurement session.

2.3 Posturography

Posturographic data was obtained using one AMTI Optima force plate (AMTI OPT 464508, Advanced Mechanical Technology Inc., Massachusetts, USA, 1,000 Hz). Force plate data was collected at 960 Hz and the force plate was calibrated in between each condition.

2.4 Data analysis

Statistical analyses were performed using MATLAB R2017a (Mathworks Inc., Massachusetts, USA). Descriptive analysis was used to describe participants' physical characteristics and to calculate means and standard deviations of study parameters.

Mean amplitude was calculated from EMG data, which is expressed as percent of MVC. EMG data was smoothed by a 6 Hz, second order butterworth lowpass filter after removing the offset and rectification.

Two centre of pressure (COP) based measures were included in the analysis of postural control: mean sway velocity (MV) and the 95% confidence ellipse size (CE), which encloses approximately 95% of the data points of the total COP path [Pri96]. COP data was smoothed using a 5 Hz, second order butterworth lowpass filter. From smoothed trial EMG and COP data, a bootstrap resample was created by randomly resampling trial data with replacement 1000 times. Three-way analysis of variance (ANOVA) was used to examine the influence of the three factors COM_{BP} height, degree of trunk forward lean and body height on the independent variables muscle activity, mean sway velocity and size of the 95% confidence ellipse, as well as their interactions. Effect size eta squared (η^2) was calculated for parameters that significantly influenced dependent variables. The level of significance was set at a value of $p < 0.05$.

3 Results

All ten participants (five females) were recreational athletes, average age was 30.6 (± 5.9) years, average body height was 178 (± 10) cm and average body mass was 79.2 (± 14.9) kg. Body height had no significant influence on any of the study variables. Eta-squared values are only reported for those comparisons that reached statistical significance.

3.1 Electromyography

Activity of all muscles included in the study was significantly influenced by COM_{BP} height and trunk angle ($p < 0.05$). Changes in the ES and BF muscles were most considerable. Descriptive data for ES and BF muscles is summarized in Table 2. Mean ES activity at *normal* backpack height was 3.38 (± 0.02) percent MVC and BF activity was 5.03 (± 0.12) percent MVC.

For the ES muscle, there were significant main effects for COM_{BP} height ($F(3,36)=525.84$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.02$ and for trunk angle ($F(3,36)=25877.73$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.94$, and a significant interaction between the two ($F(9,81)=311.98$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.00$.

For the BF muscle, there were significant main effects for COM_{BP} height ($F(3,36)=3651.35$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.05$, and trunk angle ($F(3,36)=66166.53$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.92$, and a significant interaction between the two factors COM_{BP} height and trunk angle ($F(9,81)=626.85$; $p < 0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.01$.

Table 2: Descriptive data of muscle activity

	ES [%MVC] mean $\pm$ SD	BF [%MVC] mean $\pm$ SD
Normal		
0°	3.38 $\pm$ 0.02	5.03 $\pm$ 0.12
30°	13.48 $\pm$ 0.17	11.40 $\pm$ 0.17
60°	18.41 $\pm$ 0.27	15.24 $\pm$ 0.24
90°	19.40 $\pm$ 0.42	14.70 $\pm$ 0.31
Thoracic		
0°	3.35 $\pm$ 0.01	3.81 $\pm$ 0.02
30°	12.86 $\pm$ 0.11	10.68 $\pm$ 0.12
60°	17.36 $\pm$ 0.26	12.47 $\pm$ 0.10
90°	17.49 $\pm$ 0.27	13.65 $\pm$ 0.14
Lumbar		
0°	3.21 $\pm$ 0.01	3.51 $\pm$ 0.01
30°	14.36 $\pm$ 0.28	9.99 $\pm$ 0.08
60°	17.35 $\pm$ 0.20	10.69 $\pm$ 0.10
90°	15.26 $\pm$ 0.47	12.40 $\pm$ 0.11

Legend: ES = erector spinae; BF = biceps femoris; %MVC = percent of maximal voluntary contraction; SD = standard deviation

3.2 Posturography

Both MV and CE were significantly influenced by COM_{BP} height and trunk angle. Descriptive data for MV and CE is summarized in Table 3. MV is expressed as millimetres per second and CE as square millimetres. MV during upright standing at *normal* backpack height was 8.85 ($\pm$ 0.06) mm/sec, and CE was 235.99 ($\pm$ 3.78) mm².

For MV there was a significant main effect for COM_{BP} height ($F(3,36)=438.38$; $p=0.02$) with an effect size of $\eta^2=0.02$ and for trunk angle ($F(3,36)=1\,9384.29$; $p<0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.96$, and a significant interaction between the two main effects ($F(9,81)=133.62$; $p<0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.00$.

Similarly, for the CE there was a significant main effect for COM_{BP} height ($F(3,36)=218.77$; $p<0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.03$ and for trunk angle ($F(3,36)=6473.97$; $p<0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.89$, and a significant interaction between the two main effects

($F(9,81)=161.32$; $p<0.001$) with an effect size of $\eta^2=0.00$.

Table 3: Descriptive data for MV and CE

	MV [mm/sec] mean $\pm$ SD	CE [mm ²] mean $\pm$ SD
Normal		
0°	8.85 $\pm$ 0.06	235.00 $\pm$ 3.78
30°	11.79 $\pm$ 0.22	325.83 $\pm$ 5.59
60°	14.23 $\pm$ 0.13	387.48 $\pm$ 6.96
90°	20.35 $\pm$ 0.27	508.94 $\pm$ 10.13
Thoracic		
0°	8.55 $\pm$ 0.05	187.39 $\pm$ 3.10
30°	11.65 $\pm$ 0.06	323.03 $\pm$ 5.79
60°	14.02 $\pm$ 0.24	418.06 $\pm$ 15.14
90°	18.17 $\pm$ 0.28	524.59 $\pm$ 13.20
Lumbar		
0°	8.23 $\pm$ 0.07	193.90 $\pm$ 2.49
30°	9.87 $\pm$ 0.09	193.48 $\pm$ 5.67
60°	13.28 $\pm$ 0.19	290.99 $\pm$ 8.59
90°	18.71 $\pm$ 0.40	540.31 $\pm$ 26.43
Sacral		
0°	8.24 $\pm$ 0.08	183.07 $\pm$ 3.83
30°	11.21 $\pm$ 0.17	259.12 $\pm$ 5.36
60°	13.22 $\pm$ 0.18	337.54 $\pm$ 9.31
90°	16.95 $\pm$ 0.14	606.67 $\pm$ 25.77

Legend: MV = mean velocity; CE = size of the 95% confidence ellipse; SD = standard deviation

4 Discussion

The effects of different load heights and the degree of trunk forward lean on muscle activity and postural control during load carriage were studied. Results show that muscle activity and postural control are strongly influenced by trunk angle and, to a smaller degree, by load position. Changes in erector spinae and biceps femoris muscle activity, and in posturographic parameters, were most considerable.

4.1 Electromyography

This study examined the activity of five selected trunk and lower extremity muscles, including the upper trapezius, erector spinae, obliquus externus abdominis, biceps femoris and rectus femoris muscles. Overall it can be

noted that the erector spinae and biceps femoris muscles showed the largest differences in activity when comparing the different backpack load heights and trunk positions. For both muscles, a lower COM_{BP} is preferable (i.e., the muscle activity is lower) to a higher position in forward flexed positions. For both muscles, differences in muscle activity between load heights increase with the degree of trunk forward lean, which means that the farther the forward lean, the more benefit a lower load position has. This can be explained by the fact that higher load positions induce larger flexion moments about the axis of rotation such as the spinal joints and the hip joint, which are resisted by extensor muscles such as the erector spinae and rectus femoris, respectively.

Further, from the considerable difference in muscle activity in the different trunk positions it can be concluded that trunk forward lean is a major factor for muscle activity levels. These results are supported by the study conducted by Southard and Mirka [Sou07], who found that erector spinae muscle activity was significantly increased by trunk forward lean. Contrastingly, Gallagher [Gal97] found that erector spinae muscle activity decreased at a trunk forward angle of 67.5° compared to more upright positions (45° and 22.5°). However, Gallagher assessed muscle activity during static peak force back extension tests while in the present study, submaximal isometric contractions were performed. Gallagher showed reduced peak torques in 67.5° of flexion compared to the more upright positions. The reduced erector spinae muscle activity in the furthest forward flexed position may in fact be linked to altered muscle activation patterns in order to produce maximal extension force. The differences in results infer that muscle activity is task-specific, underlining the importance of considering the requirements of a particular workplace task.

It can be concluded that higher load positions and farther forward lean lead to increased stress on the assessed muscles, expressed by increased activity of the erector spinae and biceps femoris muscles. However, this study assessed muscle activity during short, static

tasks. Although activity of the upper trapezius, obliquus abdominis and rectus femoris muscles was comparably low, they may play a more significant role in task specific performances. Further studies are required to quantify the specific strain on the musculoskeletal system.

4.2 Posturography

Postural control and steadiness are commonly assessed using different COP measurements such as mean sway velocity and the size of the 95% confidence ellipse [Pri96]. Mean sway velocity has been shown to be the most informative, consistent and reliable COP measure [Bai12, Laf04, Mog11, Ray05, Raf11], and was linked to the regulatory activity associated with the level of stability of postural control [Bai12, Pri96]. From the size of the stabilogram, conclusions can be drawn regarding the effectiveness or stability achieved by the postural control system.

Postural control, expressed by MV and ES, is affected by both the load position and the trunk angle. From the results it can be concluded that forward bent positions are posturally more challenging than upright standing, such that the MV is higher and the SE is larger. In 30° and 60° forward flexed positions, *lumbar* and *sacral* load positions are preferable to *normal* and *thoracic* load heights, indicated by lower MV and smaller ES. At 90° trunk angle, lower load positions led to lower MV but to larger ES, suggesting a change of postural strategy in this position. The reverse effect of load position on MV and ES at this body position underlines the importance of implementing various measures of postural control, as they signify distinct aspect of balance.

MV decreased consistently with decreasing load position in all trunk positions. The largest decrease in MV from *normal* to *sacral* load height can be seen at 90° trunk angle, where MV decreased by 16.72% from 20.35 mm/sec at *normal* height to 16.95 mm/sec at *sacral* height. These results are in accordance with those by Strube and colleagues [Str17], who assessed the effect of external loads in mean sway velocity during quiet standing. They

found an increase of MV of 16% to 52%, depending on the assessed condition.

4.3 Load height

Previous studies have shown that optimal load position is a crucial factor to reduce musculoskeletal strain and to increase performance [Laf00, Lin12, Nor97, Rod17, Sin09, Son13, Stu04] in upright body positions. This study shows that performance (i.e., muscle activity and postural control) is influenced by load height during static tasks in non-neutral body positions. These findings suggest that an adjustable load height is an effective strategy to lessen the negative effects of load carriage. While carrying loads at mid-back height in upright stance is preferable to a lower load position [How02, Nor97, Stu94], a lower load position is preferable in forward bent positions. Therefore, individuals who are required to perform tasks in a forward bent position while carrying a backpack system can benefit from an adjustable load position. Occupations that commonly carry loads in non-neutral body postures include military personnel, firefighters and members of the Federal Agency for Technical Relief. Developing mechanisms to dynamically adjust load position may have further beneficial consequences, in addition to reducing the negative effects of load carriage in non-neutral body positions. An adjustable load position could be used as an assistive device that supports an individual in returning to

neutral from a forward bent position by acting as a counterweight to the trunk and upper extremities. Future studies should aim at assessing the effects of backpack systems that can dynamically adjust load height depending on body position, for example via passive suspension or an active sensor driven mechanism.

5 Conclusion

This study aimed to answer the questions whether the backpack centre or mass height and the degree of trunk forward lean have an influence 1) on the activity of selected trunk and lower extremity muscles, and 2) on static standing balance. The results show that both COM_{BP} and trunk angle have effects on muscle activity and postural control during quiet standing. The considerable influence of trunk angle show that effects of load carriage are task-dependent and underlines the importance of examining the effects of load carriage in workplace-specific tasks. Adjusting the load position is an effective strategy to decrease muscle activity and increase postural control during load carriage. This may be an effective strategy to reduce the strain on the musculoskeletal system that is induced by the load. Further, load adjustment could be used as a strategy to support the musculoskeletal system by counterbalancing body segments during static and dynamic tasks.

Literature

- [Bai12] S. Baig, R. M. Dansereau, A. D. C.Chan, A. Remaud and M. Bilodeau: Cluster Analysis of Center-of-Pressure Measures. In: Avestia Publishing International Journal of Electrical and Computer Systems Journal vol. 1, Nr. 1, 2012.
- [Bob84] J. Bobet and R. W. Norman: Effects of load placement on back muscle activity in load carriage. In: European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology vol. 53, Nr. 1, pp. 71-75, ISBN 0301-5548 (Print) 0301-5548 (Linking), 984.
- [Cho11] D. H. K. Chow, M. F. Li, A. Lai and M. H. Pope: Effect of load carriage on spinal compression. In: International Journal of Industrial Ergonomics vol. 41, Nr. 3, pp. 219-223, 2011.
- [Coo87] T. M. Cook and D. A. Neumann: The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscles during load carrying by men and women. In: Ergonomics vol. 30, Nr. 10, pp. 1413-1423, 1987.
- [Dev07] C. Devroey, I. Jonkers, A. de Becker, G. Lenaerts and A. Spaepen: Evaluation of

- the effect of backpack load and position during standing and walking using biomechanical, physiological and subjective measures. In: *Ergonomics* vol. 50, Nr. 5, pp. 728-742, ISBN 0014-0139, 2007.
- [Fee98] A. Feeney, F. North, J. Head, R. Canner and M. Marmot: Socioeconomic and sex differentials in reason for sickness absence from the Whitehall II study. In: *Occupational and Environmental Medicine* vol. 55, pp. 91-98, 1998.
- [Gal97] S. Gallagher: Trunk Extension Strength and Muscle Activity in Standing and Kneeling Postures. In: *Spine* vol. 22, Nr. 16, pp. 1864-1872, 1997.
- [How02] J. J. Howells: Effects of load placement on select trunk, shoulder and leg muscle activity using two backpack designs. Logan, Utah, Utah State University, Thesis, 2002
- [Jöl17] T. Jöllenbeck: EMG Richtlinien. In: 30. EMG-Kolloquium der dvs-Sektionen Biomechanik und Sportmotorik. Halle, 2017
- [Kon11] P. Konrad: *Emg-Fibel*, p. 58, 2011.
- [Laf00] M. Lafiandra, J. P. Obusek, K. G. Holt, R. Wagenaar: The Effect of Load Carriage on Trunk Coordination during Treadmill Walking at Increasing Walking Speed, 2000
- [Laf04] D. Lafond, H. Corriveau, R. Hébert and F. Prince: Intrasection Reliability of Center of Pressure Measures of Postural Steadiness in Healthy Elderly People. In: *Arch Phys Med Rehabil* vol. 85, 2004.
- [Li17] S. S. W. Li and D. H. K. Chow.: Effects of backpack load on critical changes of trunk muscle activation and lumbar spine loading during walking. In: *Ergonomics* vol. 0139, Taylor & Francis, Nr. December, pp. 1-13, 2017.
- [Lin12] T. Lindner, C. Schulze, S. Woitge, S. Finze, W. Mittelmeier and R. Bader: The Effect of the Weight of Equipment on Muscle Activity of the Lower Extremity in Soldiers. In: *The Scientific World Journal* vol. 2012, pp. 1-8, 2012.
- [May09] B. May, P. D. Tomporowski and M. Ferrara: Effects of backpack load on balance and decisional processes. In: *Military Medicine* vol. 174, Nr. 12, pp. 1308-1312, ISBN 0026-4075, 2009.
- [Mog11] M. Moghadam, H. Ashayeri, M. Salavati, J. Sarafzadeh, K. D. Taghipaar, A. Saeedi and R. Salehi: Reliability of center of pressure measures of postural stability in healthy older adults: Effects of postural task difficulty and cognitive load. In: *Gait and Posture* vol. 33, Elsevier B.V., Nr. 4, pp. 651-655, ISBN 0966-6362, 2011.
- [Nor97] K. Norton, L. Hasselquist, J. M. Schiffmann, J. P. Obusek, M. Lafiandra, L. Piscitelle and C. Bense: Understanding the Relationship of Mass Properties to the Metabolic Cost of Load Carriage: Moment of Inertia, 1997
- [Pal01] N. Palumbo, B. George, A. Johnson and D. Cade: The effects of backpack load carrying on dynamic balance as measured by limits of stability. In: *Work* vol. 16, Nr. 2, pp. 123-129, ISBN 1875-9270 (Electronic)r1051-9815 (Linking), 2001.
- [Pri96] T. E. Prieto, J. B. Myklebust, R. G. Hoffmann, E. G. Lovett and B. M. Myklebust: Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. In: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* vol. 43, Nr. 9, pp. 956-966, ISBN 0018-9294 (Print)r0018-9294 (Linking), 1996.
- [Pun04] L. Punnett, D. H. Wegman: Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. In: *Journal of Electromyography and Kinesiology* vol. 14, Nr. 1, pp. 13-23, ISBN 1050-6411, 2004.
- [Put97] V. Putz-Anderson, B. P. Bernard and S. E. Burt: Musculoskeletal disorders and workplace factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related

- Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 1997.
- [Raf11] S. Rafal, M. Janusz, O. Wieslaw, S. Robert: Test-Retest Reliability of Measurements of the Center of Pressure Displacement in Quiet Standing and During Maximal Voluntary Body Leaning Among Healthy Elderly Men. In: *Journal of Human Kinetics* vol. 28, Nr. 28, pp. 15-23, 2011.
- [Ray05] J. A. Raymakers, J. A. Samson and H. J. Verhaar: The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). In: *Gait and Posture* vol. 21, pp. 48-58, 2005.
- [Rod17] A. E. Rodríguez-Soto, D. B. Berry, L. Palombo, E. Valaik, K. R. Kelly and S.R. Ward: Effect of Load Magnitude and Distribution on Lumbar Spine Posture in Active-duty Marines. In: *Spine* vol. 42, Nr. 5, pp. 345-351, ISBN 0000000000, 2017.
- [Sil13] A. Silder, S. L. Delp and T. Besier: Men and women adopt similar walking mechanics and muscle activation patterns during load carriage. In: *Journal of Biomechanics* vol. 46, Elsevier, Nr. 14, pp. 2522–2528, ISBN 0021-9290, 2013.
- [Sim11] K. M. Simpson, B. J. Munro and J. R. Steele: Backpack load affects lower limb muscle activity patterns of female hikers during prolonged load carriage. In: *Journal of Electromyography and Kinesiology* vol. 21, Nr. 5, pp. 782-788, ISBN 1050-6411, 2011.
- [Sin09] T. Singh and M. Koh: Effects of backpack load position on spatiotemporal parameters and trunk forward lean. In: *Gait and Posture* vol. 29, Nr. 1, pp. 49-53, ISBN 0966-6362, 2009.
- [Son13] H. Son: The effect of backpack load on muscle activities of the trunk and lower extremities and plantar foot pressure in flatfoot. In: *Journal of physical therapy science* vol. 25, Nr. 11, pp. 1383-6, 2013.
- [Sou07] S. Southard and G. A. Mirka: An evaluation of backpack harness systems in non-neutral torso postures. In: *Applied Ergonomics* vol. 38, Nr. 5, pp. 541-547, ISBN 0003-6870, 2007.
- [Str17] E. M. Strube, A. Sumner, R. Kollock, K. E. Games, M. A. Lackamp, M. Mizutani and J. M. Sefton: The Effect of Military Load Carriage on Postural Sway, Forward Trunk Lean, and Pelvic Girdle Motion. In: *International Journal of Exercise Science* vol. 10, Nr. 1, pp. 25-36, 2017.
- [Stu04] K. J. Stuempfle, D. G. Drury and A. L. Wilson: Effect of load position on physiological and perceptual responses during load carriage with an internal frame backpack. In: *Ergonomics* vol. 47, Nr. 7, pp. 784-789, ISBN 0014-0139, 2004.
- [Tou98] H. M. Toussaint, Y. M. Michies, M. M. Faber, D. A. C. M. Mommissaris and J. H. van Dieen: Scaling anticipatory postural adjustments dependent on confidence of load estimation in a bi-manual whole-body lifting task. In: *Experimental Brain Research* vol. 120, Nr. 1, pp. 85.-94, ISBN 0014-4819 (Print)n0014-4819 (Linking), 1998.

Arbeitsunterstützende Exoskelette: Anforderung und Umsetzung in den Pionierphasen

J. Kupfernagel, I. Boblan und A. Haibel

Beuth Hochschule für Technik Berlin,
Robotik und Bionik, physikalische Technik und Medizinphysik,
jku@mms.tu-berlin.de, ivo.boblan@beuth-hochschule.de,
astrid.haibel@beuth-hochschule.de

Industriepartner

Firma Carl Stahl Süd GmbH
Bernhard.Schreilechner@carlstahl.com

Kurzzusammenfassung

Mobile Unterstützungssysteme direkt am Menschen sind in der heutigen Zeit ein hoch brisantes Thema. Besonders Produktivitätsausfälle durch die Diagnosegruppe Muskel-Skelett-Erkrankungen weckt das Interesse an Lösungen zur Entlastung gewerblicher Arbeiter. Doch was leisten Pionierentwicklungen wirklich? Worin liegt der Nutzen eines Exoskeletts und wie können bisherige Lösungsansätze verbessert werden? Von der filmgeprägten Erwartung mit ernüchternder Wirklichkeit über realistische Ideen, bis hin zu zukunftsorientierten Visionen, dient dieser Beitrag zu dem Thema „Exoskelett“ als Diskussionsanstoß und ist gleichzeitig eine Einladung zu offenen Streitgesprächen.

Abstract

Supporting exoskeletons at work

Mobile support systems directly on humans are currently a highly explosive topic. In particular, loss of productivity by the Diagnostic Group Musculoskeletal Disorders increase interest in solutions to relieve industrial workers. But what do pioneering developments really do? What is the benefit of an exoskeleton and how can previous solutions be improved? Disillusionment, realistic ideas and future-oriented visions are debated. This contribution to the topic "Exoskeleton" should provide a basis for new discussion.

Keywords

Exoskelette, Bionik, Evolution, Biomechanik, Arthropoden

1 Einleitung

In der Tierwelt bildet ein Exoskelett die äußere Stützstruktur des Organismus und beschützt vor äußeren Einflüssen, ebenso wie vor Fressfeinden und Klimawechseln. Dieses Außenskelett ist in seiner Position am Lebewesen und in seiner Aufgabe klar festgelegt. Anders hingegen scheint es bei technischen Exoskeletten für den Menschen zu sein. In Science-Fiction Visionen geht der Mensch eine ganz neue Art der Symbiose zwischen lebenden Organismus und Technik ein. Das

künstliche Exoskelett könnte in der Gegenwart solch eine Verbindung sein - es gibt dem Menschen für einen Aufgabenbereich zusätzliche Eigenschaften und erweitert den persönlichen Handlungsspielraum. Dieser Gedanke scheint grundsätzlich richtig, nur ist das Thema der technischen Exoskelette in bestehenden Ausführungen stark umstritten.

1.1 Menschliche Belastungsgrenzen

Der Mensch verfügt über ein Endoskelett, dass die Stützfunktion von innen heraus verrichtet und somit eine höhere Bewegungsfreiheit ermöglicht. Diese Bewegungsfreiheit hat jedoch ihren Preis, denn ohne aktive Muskelkontraktion würde der Mensch unter seinem Eigengewicht kollabieren [Gor88].

Das Endoskelett entstand zunächst im Wasser bei Fischen. Die ersten primitiven Fische entwickelten sich vor knapp 530 mio. Jahren [Pax99], darunter zählt auch der Ur-Fisch, ein Knorpelfisch, dessen Entwicklung sich auf 420 mio. Jahre zurückdatieren lässt. Im Vergleich dazu, gibt es den modernen Menschen laut neuesten Aufzeichnungen erst seit knapp 300.000 Jahren [Hub17]. Das ist ein Wimpernschlag in der Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde. Das frühmenschliche Skelett erfährt in seiner Entwicklung, mit dem Schlüsselereignis des aufrechten Gangs vor ca. 3,6 mio. Jahre [Rai10], erst noch die neuen Belastungszustände und befindet sich noch immer am Anfang seiner evolutionären Geschichte. Der aufrechte Gang „[...] verlangt eine grundsätzliche Rekonstruktion unserer Anatomie [Gou97]“. Diese Rekonstruktion steht in der Entwicklungsphase, doch der Mensch zeigt sich ungeduldig und gibt seinem Körper kaum Gelegenheit einzig die Muskel-Skelett-Belastungen durch den zweibeinigen Gang zu erleben. Das Endoskelett wird rücksichtslos mit weiteren Aufgaben über schwere Lastenhandhabungen strapaziert und erreicht schnell seine Belastungsgrenzen. Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden Werktätige schonungslos, körperlich anstrengende Arbeitsbelastungen ausgesetzt. Frühverrentungen waren nicht selten und die Lebenserwartungen entsprechend herabgesetzt. Folgeerscheinungen werden heute nicht mehr ignoriert und ein neues Bewusstsein zum Schutz des Arbeitnehmers entsteht.

1.2 Technische Exoskelette

Der Mensch betrachtet als „Tier“ ist körperlich nicht sonderlich effizient oder leistungsfähig. Um sich zusätzlicher Stärke zu verleihen, bedient sich der Mensch an Werkzeugen

und anderen Hilfsmitteln, darin liegt seine Begabung. Außerdem ist er in der Lage seine körperlichen Schwächen zu erkennen und auszugleichen. Hieraus könnte die Idee des artifiziellen Exoskeletts entstanden sein. Doch wie definiert sich hier der Begriff „technisches Exoskelett“? Ist ein Exoskelett bereits die Schwimmflosse an den Füßen, die Orthese an dem Arm oder der Bogen in den Händen? „Obgleich sich in der Literatur keine einheitliche Definition findet, besteht Einigkeit darin, dass es sich bei Exoskeletten um körpergetragene mechanische Strukturen handelt [Hen18].“ Davon ausgehend, dass ein Exoskelett ein mobiles Werkzeug als Erweiterung des menschlichen Körpers in Form von Produkten darstellt, ist die Erfindung nicht neu. Deshalb ist es angebracht, den Begriff Exoskelett, als äußere Unterstützungsstrukturen am Menschen mit assistierender Wirkung im Arbeitsalltag oder in der Rehabilitation zu identifizieren. Unterdessen steht eine „Produktnorm für Exoskelette im Industriebereich [Dgu18b]“ noch aus. Diskutiert wird die Einordnung von Exoskeletten in „persönliche Schutzausrüstung (PSA), [...] medizinische Hilfsmittel zu therapeutischen Zwecken [Hen18]“ und der Zuordnung als technisches Hilfsmittel (Maschinenrichtlinie). [Dgu18b].“ Hingewiesen wird hier auf die Einsatzzwecke und „der daraus resultierenden Zuordnung [...] [um] detaillierte sicherheitstechnische Anforderungen für Exoskelette festzulegen [Dgu18b].“

Die Entwicklungsgeschichte der Assistenzskelette reicht weiter zurück als der Beginn der Entwicklung von Exoskeletten mit Schwerpunkt im Bereich der medizinischen Rehabilitation und des Militärs. Bereits der russische Kaiser beauftragte 1889 Nicholas Yagn mit der Entwicklung einer Laufmaschine für erleichterndes Wandern [Yag89]. Und das universal Genie Leonardo da Vinci hat um 1487 ein Schwingenflugzeug mit Handantrieb für den Menschen entworfen [Gib78].

In der heutigen Zeit geben künstliche Exoskelette dem Träger für einen Aufgabenbereich

weitere Optionen in seinem Handlungsspielraum oder verlorene Fähigkeiten, wie das Laufen, zurück. In den letzten Jahren nimmt das Interesse an der Entwicklung von Exoskeletten für die Anwendung im betrieblichen Umfeld immer mehr zu. Das wesentliche Ziel des Einsatzes von Exoskeletten im beruflichen Kontext ist dabei, körperliche Belastungen an den Belastungsgrenzen zu reduzieren, um Beanspruchungsreaktionen und Beschwerden bei den Beschäftigten zu verringern oder sogar zu verhindern und damit sekundär auch die Produktivität zu steigern.

1.3 Aktive und passive Unterstützung

Arbeitsunterstützende Exoskelette lassen sich allgemein in zwei Gruppen unterteilen, die der passiven und der aktiven Aktuatoren. Unterschieden werden diese Systeme anhand ihrer Antriebe. Passive Systeme bedienen sich federwirkender Lösungen, wie pneumatische Luftdruckfedern, und Seitzugsystemen, während aktive über Motoren eine Unterstützungsleistung liefern. Beide Varianten haben im Einsatz sowohl Vor- als auch Nachteile. Bisher werden Lastenhandhabungen in z-Achse und Zwangshaltungen wie Überkopfarbeiten, Lastentransporte beim Gehen und anhaltende Sitz-Hock-Positionen unterstützt. „Passive Systeme sind aktiven Systemen hinsichtlich des Produktreifegrads weit voraus [Hen18].“ Dies liegt wohl an der Komplexität aktiver Systeme und der ergonomischen Ausführung, die besonders im Bereich der Körperanbindungen und der Lastenumverteilung entwicklungsbedarf zeigen.

1.4 Nutzen und Anwendung

Sind Exoskelett überhaupt sinnvoll? „Ja“, meinen die Befürworter, denn in vielen Branchen kann der Menschen noch nicht durch vollautomatisierte Roboter ersetzt werden, diese Entwicklungen stehen in ferner Zukunft und entsprechen nicht dem Stand der Technik. In dieser Übergangszeit - die noch viele Jahrzehnte andauern kann - müssen Lösungsprinzipien gefunden werden, die den Arbeiter entlasten. Insbesondere bei statischen Arbeiten,

wie Hal-te- und Haltungsarbeiten sind mit isometrischer Muskelaktivität verbunden [Sch17]. Hierbei spielt die Muskeldurchblutung bei länger anhaltender Muskelkontraktion eine entscheidende Rolle, denn mit steigender Kontraktionszeit nach Arbeitsbeginn findet keine Durchblutungsänderung statt. Bei dem Einnehmen von anhaltenden Dauerkörperhaltungen kommt es nach einer bestimmten Zeit zu Ermüdungserscheinungen oder Leistungsabbruch. Die Durchblutung der Muskeln ist durch ausbleibende Wechselkontraktion ungenügend, es kommt zu einer Unterversorgung von Sauerstoff, welcher zur Energiegewinnung benötigt wird. Neben statischen Arbeiten, zeigen Hebearbeiten eine beträchtliche Belastung im Lendenwirbelbereich, welche durch Körperhaltung und daraus resultierenden Hebelarm entstehen [Dgu11].

Wirken unterstützende Exoskelette wirklich präventiv? Diese Frage stellt sich auch das IFA (Institut für Arbeitsschutz) und untersucht derzeit die „Kraftunterstützung und die ergonomischen Eigenschaften von Exoskeletten [Dgu17]“. Laut Aussage aus dem Forschungsinstitut der IFA sind „Publikationen [...] noch in der Vorbereitung“ und dessen Erscheinung wäre im Jahr 2019 vorzusehen. Bis dahin können Erfahrungen und Berichte aus den Ergebnissen von Feldstudien, wie die durch Audi beschriebenes „weitestgehend positives Bild des Exoskeletts bezüglich wahrgenommener Beanspruchungsreduktion im unteren Rücken [Hen18]“ zu Rate gezogen werden. Viele dieser Studien deuten darauf hin, dass unterstützende Exoskelette eine Belastungsreduktion in der zu entlastenden Körperregion erreichen können [Loo16]. Zum Beispiel wurde beobachtet, dass „bei der Aufgabe des statischen Haltens [...], die Verwendung des Exoskeletts zu einer Verlängerung der Ausdauerzeit von durchschnittlich 3,2 auf 9,7 Minuten führte [Bos16].“ Die Antwort nach dem medizinisch therapeutischen Zweck einer Entlastung des Muskel-Skelett-Systems beleibt weiterhin offen. „Dabei werden Belastungen aufgrund des Eigengewichts von Exoskeletten genannt sowie eine mögliche

Schwächung der Muskulatur, die aufgrund der Exoskelettunterstützung auf Dauer zu wenig gefordert werden könnte [Hen18].“

Was ist für den Anwender wichtiger: Komfort oder Leistung? Grundsätzlich kann diese Frage aus dem Feedback von Feldstudien mit einer 50:50 Antwort gegeben werden, denn Leistung und Komfort stehen im engen Zusammenhang. Neben der unterstützenden Leistung werden Exoskelette „vor allem im Bereich der Körperkontaktstellen an Schultern, Brust und Oberschenkeln in Form von Schwitzen, Reibung und Druckempfinden sowie durch das Eigengewicht des Systems [Hen18]“ als unvorteilhaft empfunden. Dies „scheint insbesondere[s] bei längerer (bis zu ganzschichtiger) Tragedauer schwerer zu wiegen. Überdies zeugen die Ergebnisse von einer Lastumverteilung, insbesondere in Brust, Oberschenkel und Knie, weswegen von dauerhafter Nutzung abzuraten ist, um möglichen negativen Langzeitfolgen entgegenzuwirken [hen18]“. Aufgrund bestehender Mängel ist die Wertschätzung dieser Unterstützungssysteme bei Arbeitsmedizinern und Anwendungsbetrieben noch sehr gering – „zurecht“, meinen die Kritiker, denn bisher konnten bestehende Entwicklungen aus dem Bereich der Exoskelette nicht ausreichend überzeugen. Woran liegt das?

Was können Wissenschaftler und Entwickler solcher Systeme in der zweiten Generation besser machen? Die DGUV verweist auf „eine frühzeitige Kooperation mit den Experten und Expertinnen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) [...] [zur Unterstützung] bei der Entwicklung von Produkten, die die Anforderungen an Sicherheit und Gesundheit erfüllen [Dgu17]“. Dies bestätigt auch die Feldstudie von Audi und fordert einen „partizipativen Prozess“, der eine gleichberechtigte Einbeziehung von „Ergonomen, Betriebsmediziner, Arbeitssicherheit, Arbeitnehmervertretung [...] und vor allem die betroffenen Mitarbeiter frühzeitig in die Pilotierung und den Rollout [Hen18]“ dar-

stellt. Außerdem könnten „weiterführende arbeitsphysiologische Untersuchungen [...] helfen, den ergonomischen Benefit objektiv anhand arbeitsphysiologischer Parameter zu validieren. Darüber hinaus wäre es notwendig, auch die Lastumverteilung zu untersuchen, um Verbesserungspotenzial aufzuzeigen und die Nutzerakzeptanz zu erhöhen [Hen18].“

1.5 Diskussionen rund um die Umsetzung

Derzeit werden Exoskelette für den wirtschaftlichen Einsatz als wenig geeignet eingeschätzt. Im Wesentlichen erfolgt diese Wertung aufgrund der geringen Benutzerfreundlichkeit, ergonomischen Fehlanpassung und Fehlbelastung, Bewegungseinschränkung und wegen der unnachgiebigen, mechanischen Krafteinwirkung auf den menschlichen Körper. Besonders zwischen der Schnittstelle Mensch-Maschine-System entstehen schnell Bezugsprobleme, die häufig in den ersten Pionierphasen auftreten und streng bemängelt werden. Der Informations- und Meinungsaustausch aus der Mailing-Liste ArbMedNet (Arbeitsmediziner) vom Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Uni-Klinik München ergab zum Beispiel, dass bisherige Exoskelett-Entwicklungen und deren Wirkungsgrad als irreführend empfunden werden. Es werden maßgebliche Fakten auf den Herstellerseiten verschwiegen, wie z. B. dass ein zusätzliches Gewicht des Gerätes die Sprung- und Kniegelenke beanspruche, dass nur eine Umverteilung der Last stattfinde und eine wirkliche Entlastung gar nicht existiere. Die erste Euphorie wird schnell gebremst und entwickelt sich zunehmend auf die Frage hin: Ob nicht ferngesteuerte Komplett-Roboter Lastenhandhabungen besser übernehmen könnten, als dem Menschen Roboterbauteile überzustülpen. Diese Frage wurde im genannten Forum beantwortet: „Arbeit 4.0 wird diese Probleme in vielen Bereichen nicht lösen, denn die Belastungen werden in vielen Bereichen ähnlich bleiben: Wer will in Zukunft schon vom Roboter gepflegt werden statt von Menschen?“ Neben der Frage nach der realistischen Unterstützung bei Fachärzten, steht

die Frage nach potenziellen Gefährdungssituationen, wie etwa dem Brandfall und plötzlich auftretenden Unfallsituationen, im Vordergrund der Untersuchungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Bei der Benutzung von Exoskelette dürfen die Unfallfolgen nicht höher sein, als ohne Exoskelett. Außerdem ist noch ungeklärt, welche Auswirkungen der Einsatz von Exoskeletten auf den menschlichen Körper wirklich haben. Deshalb werden „[...] Prototypen in Produktions- und Logistikbereichen [...] von verschiedenen Unternehmen bereits untersucht [Dgu18a]“. Der bei Audi durchgeführten „vierwöchigen Feldstudie beteiligten sich 30 Probanden an acht verschiedenen Arbeitsplätzen [...] mit dem Laevo-Exoskelett [...] zur Entlastung im Bereich des unteren Rückens [Hen18].“

1.6 Anforderungen der DGUV [Dgu18a]

- Nutzung darf keine zusätzlichen Belastungen oder Fehlbedienungen verursachen
- Gefordert wird eine Ergonomisch und benutzerfreundliche Gestaltung, sowie angenehm tragbares Produkt
- Individuell auf die Körperproportionen der tragenden Personen einstellbar
- Geringes Eigengewicht und geringer Aufwand beim An- und Ablegen
- Einsatz im Freien müssen Exoskelette wetter- und umgebungstauglich sein (störungs-freies Arbeiten)

2 Lösungen aus der Natur

Bisherige Exoskelett-Entwicklungen erproben bereits ihre Eignung auf dem Markt, doch die Annahme dieser Systeme bleibt weiterhin zurückhaltend, aber interessiert. Die Schnittstelle Mensch und Maschine scheint nicht weitreichend ausgeführt und der Wirkungsgrad der Unterstützung streckenweise ernüchternd. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass Exoskelette „ergonomisch gestaltet [sind] und nicht zusätzlich ungünstige Belastungen oder gar Fehlbedienungen zur Folge [haben] oder möglicherweise zu Unfällen [führen] [Dgu17].“ Bestehende Konzepte

scheinen zu weit technisch und zu wenig biologisch ambitioniert, „da der Fokus stark auf der mechanischen Wirksamkeit der Systeme liegt [Hen18]“. Biologische Gelenke neben rotierenden Servomotoren gleichzusetzen, kommt den natürlichen Bewegungen und Krafteinflüssen des menschlichen Körpers nur im Entwurfsgedanken nah. Besonders in den Schwungphasen natürlicher Gehbewegungen verhindern aktiv Exoskelette einfache Energienutzungsprinzipien. Aus biomechanischer Sicht ist zu befürchten, dass die eingeschränkten Bewegungen aus der Technik das biologische System langfristig schädigen könnten [Hen18].

Ein neuer Ansatz ist deshalb, auf dem Weg der Exoskelett Entwicklung, Lösungen in der Natur zu finden und zu nutzen, d.h. die Suche nach einem biologischen Außenskelett, dass die Kraft über seine kinematischen Prinzipien, Verbindungen und intelligenten Mechanismen ableitet.

2.1 Biologische Skelette

Wo befinden sich natürliche Exoskelette? Es sind bisher vier Gruppen der Skelettstrukturen bekannt, die sich in Zytoskelett, Hydroskelett, Exoskelett und Endoskelett unterteilen. Gliederfüßer (Arthropoda) z.B. Insekten, Kiefernklauenträger und Krebstiere nutzen die Vorteile des Exoskelettes seit mehr als 400 Mio. Jahren. Manche dieser Arthropoden gelten somit als ausoptimiert und werden ihr Grundprinzip nicht mehr ändern. In der evolutionären Entwicklung haben sich besonders Exo- und Endoskelette darauf spezialisiert Krafteinwirkungen, wie Biegen, axiale Kompression und Zug, auf unterschiedliche Weise aushalten zu können. Untersuchungen zur Formoptimierung beider Systeme [Tay12] haben ergeben, dass lange Knochen von Wirbeltieren weit davon entfernt sind, optimal zu sein. Es wird angenommen, dass bei einem erhöhten Radius-Dicke-Verhältnis Knochen etwa doppelt so stark sein oder alternativ bei gleicher Stärke wesentlich leichter sein könnten. Sie würden somit weniger Energie für ihre Morphogenese und Regeneration benöti-

gen und zur Fortbewegung verbrauchen. Dabei handelt es sich um ein scheinbar suboptimale Struktur in der Natur. Eine Veränderung der Knochen würde jedoch auch eine Wandlung der Form von Gelenken und Muskeln nach sich ziehen, sodass dieser Schritt zu viel Aufwand bedeutet. Es könnte laut Taylor [Tay12] daher spekuliert werden, dass Endoskelette, aufgrund ihrer weniger effizienten Knochenstruktur, ein limitiertes Auslaufmodell in der Evolution darstellen. - Realität oder Irrtum?

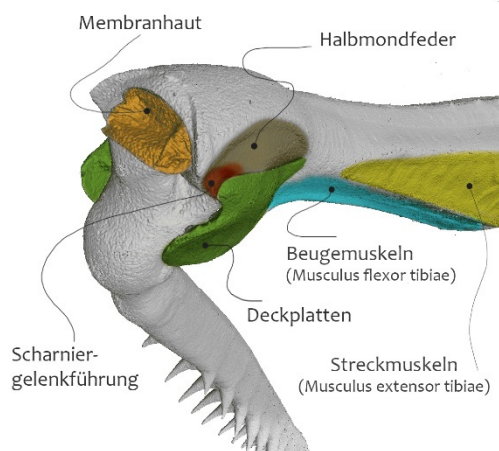


Abbildung 1: 3-D-Darstellung aus der Computer-Tomografie eines Heuschreckengelenks mit anatomischen Segmenten

2.2 Bionik

Dabei nutzt die Wissenschaft der Bionik in dem SKO-Verfahren (Soft Kill Option) das Prinzip der Knochenstruktur bereits als ideales Leichtbaukonstrukt. Ein weiteres Vorbild im Leichtbaukonstrukt mit Energiespeichersystemen könnte daher das Exoskelett von Insekten sein. Das laufende Forschungsprojekt zur Entwicklung eines bionisch inspirierten Exoskeletts, an der Technischen Universität Berlin und der Beuth Hochschule für Technik Berlin, beschäftigt sich mit der Konzeption und Umsetzung von robotischen Systemen, basierend auf biologischen Mechanismen, die den Menschen bei komplexen, belastenden oder häufig wiederkehrenden Tätigkeiten unterstützen. Im Fokus steht die Untersuchung von biologischen Spannmekanismen und de-

ren Übertragung in die Technik. Stellvertretend soll hier die Heuschreckensprungmechanik untersucht und technisch umgesetzt werden. „Sie gehört zu den biologischen Mechaniken, die hochkomplex sind und sich dabei deutlich vom aktuellen Stand der Technik abheben. [Rai18].“ Dieser Sprungmechanismus soll in seiner technischen Umsetzung und in seinem Wirkungsgrad herunterskaliert werden, so dass der Katapultmechanismus gedämpft wird und in einen Hebebühneneffekt übergeht.

Abb. 2 3-D-Darstellung aus der Computer-Tomografie eines Heuschreckengelenks mit anatomischen Segmenten

Gelingt es nun, dass bei der Evolution der Heuschrecke ausoptimierte Prinzip des Katapultstartes zu entschlüsseln, in die Technik zu übertragen und über die Zeit zu verwischen bzw. zu strecken, hätte man ein nachgiebiges und energiearmes Antriebssystem für exoskelettale Unterstützungssysteme für den Menschen. Nach heutigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass durch die Speicherung in potentielle Energie der Verformung mit hohem Wirkungsgrad derartige Systeme eine weichere und schonendere Krafteinwirkung auf den menschlichen Körper erlauben. Damit einhergehend wäre eine ergonomischere Anpassung, bessere Bewegungsfreiheit und höhere Benutzerfreundlichkeit als herkömmliche Systeme zu erwarten.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen – aber was wollen die Menschen eigentlich? Der Mensch möchte den Anzug aus der Action- und Science-Fiction Comicverfilmung Iron Man haben, so lautet die allgemeine Antwort auf die Frage im ArbMedNet Forum. Er möchte fliegen - das am besten in Schallgeschwindigkeit und bis zum Mond – und er möchte das stärkste Wesen auf der Erde sein. Es geht um das Gefühl von grenzenloser Freiheit und zugleich um erhabene Macht - doch bleiben wir auf dem Boden der Tatsachen.

Wie zu Beginn, steht auch jetzt die Frage nach dem Nutzen von Exoskeletten. Wahrscheinlich sollte nicht das Produkt, sondern die Aufgabe, in diesem Fall der manuelle Transport durch den Menschen, im Vordergrund stehen. Produkte sind austauschbar. Vorrauschauend wird eine Innovation im Bereich der arbeitsunterstützenden Exoskelette erst dann erreicht, wenn das Prinzip und die Wechselwirkung des menschlichen Muskel- und Knöchensystems sowie Bewegungsmuster in den Arbeitsvorgängen ausreichend verstanden und beachtet werden. Vermutlich gilt auch hier das bekannte Sprichwort aus dem Gedicht von C. M. Wieland „minder ist oft mehr [Wie74]“, denn komplexe Anbindungen an den Körper erhöhen den Aufwand beim An- und Ablegen von Unterstützungssystemen und erhöhen das Verletzungsrisiko. Darauf basieren sollte die Suche nach neuen Lösungsansätzen, die den natürlichen Lokomotionen des Menschen entsprechen und somit zu un-

gezwungen, weichen Bewegung führen werden, in jeder Hinsicht Unterstützung finden. Außerdem wäre eine Studie über die Hemmschwellen von technischen Geräten direkt am Körper und deren Akzeptanz wünschenswert. Diese Ergebnisse könnten in den Designprozess einfließen und zu einem höheren Annahmeeffekt führen.

Doch in welchem Zusammenhang sich diese Anforderungen mit dem Heuschreckensprung verwirklichen lassen, beinhaltet eine der folgenden Forschungsfragen: Lassen sich Gemeinsamkeiten in dem Bauplan zwischen biologischem Endo- und Exoskelett finden? Können, die Form und der daraus resultierende Kraftkraftverlauf beider Skelettarten, Hinweise auf konstruktive Lösungen geben? Ist es vorstellbar eine biologisch inspirierte Lösung des Sprunggelenks der Heuschrecke an dem Menschen sinnvoll zu adaptieren und wie sieht solch ein Lösungsprinzip aus?

Literatur

- [Bos16] T. Bosch, J. van Eck, K. Knitel, M. de Looze: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Appl Ergon* 2016; 54, S. 212-217, 2016.
- [Dgu11] Dguv: Rückengerechtes Arbeiten in Pflege und Betreuung. Aspekte des Hebens und Tragens (Theorie). Online unter: http://www.ruecken2011.gesundheits-dienstportal.de/daten/01-gru/heben_tragen.pdf, 2011.
- [Dgu17] DGUV Pressemitteilung: Exoskelette in der Arbeitswelt. Gesetzliche Unfallversicherung zu Chancen und Risiken. Online unter: www.dguv.de/de/medien-center/pm/pressearchiv/2017/quartal_2/details_2_144775.jsp.
- [Dgu18a] DGUV Forum: Exoskelette am Arbeitsplatz und in der Reha. Ausgabe 1 · 2, Haus-eigene Druckerei, S. 8-11, 2018.
- [Dgu18b] DGUV Fachbereichs-Information: Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. FBHL 006, Fachbereich Handel und Logistik der DGUV, Ausgabe 02/2018.
- [Gib78] C. Gibbs-Smith und G. Rees: Die Erfindungen von Leonardo da Vinci. Belser Verlag Stuttgart, Zürich, S. 12-13. ISBN 3-7630-1680-5, 1978.
- [Gor88] J. E. Gordon: The Science of Structures and Materials. The Scientific American Library, A Division of HPHLP, New York, 1988.
- [Gou97] S. J. Gould: zitiert in Bachelorarbeit von Manfred Leitner (2010): Kopf-Herz-Hand. Gehirngerechtes Werken - technisch: Unterricht am Beispiel Elektrotechnik in der Sekundarstufe 1. S. 16. Diplomica Verlag GmbH Hamburg, 2013.
- [Hen18] R. Hensel, M. Keil, B. Mücke und S. Weiler: Chancen und Risiken für den Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. Erkenntnisse aus einer Feldstudie mit einem Exoskelett zur Rückenunterstützung. Publiziert in ASU Ausgabe 10/2018, S. 654, 2018.

- [Hub17] J.-J. Hublin, A. Ben-Ncer, S.E. Bailey, S.E. Freidline, S. Neubauer, M. M. Skinner, I. Bergmann, A. Le Cabec, S. Benazzi, K. Harvati, und P. Gunz: New fossils from Jebel Irhoud (Morocco) and the Pan-African origin of Homo sapiens. In: Nature, 546, S. 289-292, 2017.
- [Kup18] J. Kupfernagel, M. Rötting, T. Van de Kamp, S. Engelhardt, I. Boblan und A. Hailbel (eigene Publikation zur Veröffentlichung angenommen beim Research Day Beuth): Sprungmechanik von Heuschrecken. Berlin, 2018.
- [Loo16] M. P. de Looze, T. Bosch, F. Krause, K. S. Stadler und L. W. O'Sullivan: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics, 59, S. 671-681, 2016.
- [Pax99] J. R. Paxton und W. N. Eschmeyer: Enzyklopädie der Fische. Augsburg, 1999.
- [Rai10] D. A. Raichlen, A. D. Gordon, W. E. H. Harcourt-Smith und R. Haas Jr: Laetoli Footprints Preserve Earliest Direct Evidence of Human-Like Bipedal Biomechanics. In: Journal plos one, 2010.
- [Sch17] R. F. Schmidt, F. Lang und M. Heckmann: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. Sonderausgabe der 31. Auflage, Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017.
- [Tay12] D. Taylor und J.-H. Dirks: Shape optimization in exoskeletons and endoskeletons: a biomechanics analysis. In: Journal of the royal society interface. Published 12 September 2012.DOI: 10.1098/rsif.2012.0567, 2012.
- [Wie74] C. Martin Wieland: Neujahrswunsch. In: Der Teutsche Merkur vom Jahr 1774. Fünfter Band. Hoffmanns Verlag, S. 1 bis 6, hier S. 4, Weimar 1774.
- [Yag89] N. Yagn: Patent US 420179 A vom 28 Jan 1889.

Entlastungsmöglichkeiten beim Tragen impermeabler ABC-Schutzausrüstung

K. Hagner¹, C. Linnenberg², A. Werner³, R. Tandon⁴ und A. Overkamp⁵

¹ Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz
karolahagner@bundeswehr.org

² Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik; Universität Innsbruck, Institut für Mechatronik,
Professur für Fertigungstechnik
christine.linnenberg@hsu.hh.de und christine.linnenberg@uibk.ac.at

³ Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Flugphysiologische Diagnostik und
Forschung
andreas4werner@bundeswehr.org

⁴ Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe,
ramantandon@bundeswehr.org

⁵ Fa. ContiTech Elastomerbeschichtungen GmbH
andre.overkamp@ec.contitech.de

Kurzzusammenfassung

In speziellen Bedrohungssituationen muss der Mensch vor Kampf- und Gefahrstoffen geschützt werden. Den höchstmöglichen Schutz hierfür bieten impermeable gasdichte Schutzbekleidungen kombiniert mit einer außenluftunabhängigen Atemluftversorgung. Das Tragen einer derartigen Schutzausrüstung stellt eine erhebliche physiologische Belastung für den Menschen dar. Am WIS wird gemeinsam mit verschiedenen Forschungspartnern an der Verbesserung der Schutzwirkung und der Einsatzmöglichkeiten der Schutzausrüstung gearbeitet. Dazu gehören Lösungsansätze zur objektiven Bewertung des physiologischen Zustandes und zu Entlastungsmöglichkeiten zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit des Menschen. Im Artikel wird der aktuelle Forschungsstand dieser Lösungsansätze dargestellt. Die besondere Herausforderung ist die Berücksichtigung der Kontaminationsgefahr durch die Kampf- und Gefahrstoffe.

Abstract

Relief solutions while wearing impermeable NBC protective equipment

Specific dangerous situations require personal protection against warfare agents and hazardous substances. The highest level of protection therefor is an impermeable gas-tight protective suit combined with a self-contained breathing apparatus which also means a severe physiological strain for the user. WIS works with different research partners on the improvement of the protection and applications of the protective equipment. This includes the objective evaluation of the physiological state and relief options to maintain the performance of the user. The article informs on the current state of the research works. The special challenge is the consideration of the risk of contamination from the warfare agents and hazardous substances.

Keywords

Schutzbekleidung, ABC-Schutz, Telemonitoring, Smart Textiles, Exoskelett

1 Einleitung

Wenn es nicht zu vermeiden ist, dass der Mensch sich in eine Gefahrensituation begeben muss, in der seine Gesundheit oder sein Leben durch die dort vorhandenen Substanzen gefährdet sind, ist die Verwendung einer gasdichten, impermeablen Schutzbekleidung in Kombination mit einer Atemschutzausrüstung erforderlich.

Bei Einsätzen der Bundeswehr mit einer Gefährdung durch radiologische und nukleare (= atomar), biologische und/oder chemische (CBRN- bzw. ABC-) Substanzen tragen die Soldaten zum Schutz vor den Gefahrstoffen einsatz- und situationsbedingt unterschiedliche Schutzbekleidungssysteme. Ein Schutzbekleidungssystem umfasst dabei den Schutzanzug, die Schutzhandschuhe und -stiefel sowie eine der Situation angepasste Atemschutzausrüstung.

Den höchsten Schutz bieten impermeable, gasdichte Schutzbekleidungen, die beispielsweise bei Dekontaminationsarbeiten oder beim Umgang mit Gefahrstoffen in großen Mengen/Konzentrationen von speziell ausgebildetem Personal getragen werden. Abbildung 1 zeigt den Schutzanzug der Bundeswehr für diesen Anwendungsfall.



Abbildung 1: Impermeable Schutzbekleidung der Bundeswehr

Die hohe Schutzwirkung dieser Schutzbekleidungen basiert auf der Barrierewirkung der verwendeten Materialien, die Gefahrstoffe in den unterschiedlichen Aggregatzuständen von der Person fernhalten, wenn für den Einsatz erforderlich auch in Kombination mit einer außenluftunabhängigen Atemluftversorgung. Um autarkes Arbeiten zu ermöglichen, wird

bei dieser höchsten Schutzstufe die in Druckflaschen abgefüllte Atemluft auf dem Rücken getragen.

Das Verwenden einer derartigen Schutzausrüstung belastet den Nutzer in mehrfacher Hinsicht. So bedeutet allein das Verwenden der vollständigen Atemschutzausrüstung je nach Ausführung ein Zusatzgewicht von 12 kg und mehr. Die impermeable Schutzbekleidung selbst hat ein nicht zu vernachlässigendes Eigengewicht, dazu kommt, dass die Schutzanzüge aufgrund der verwendeten Materialien eine gewisse Steifigkeit haben und damit einen Widerstand darstellen, der bei Bewegungen überwunden werden muss („Walkarbeit“). Die beim Tragen dieser Schutzbekleidung durchzuführenden Arbeitsprozesse sind körperlich anstrengend, dieses gilt insbesondere, wenn die Arbeiten in warmen/heißen Umgebungen durchgeführt werden müssen. Die Schutzmaterialien bilden zudem nicht nur eine Barriere für Gefahrstoffe, sondern auch für den Wärme- und Feuchtigkeitsaustausch des menschlichen Körpers mit der Umgebung, so dass vom Körper produzierter Schweiß und Wärme nicht abgegeben werden können. Abhängig von den Umgebungsbedingungen und der Arbeitsbelastung kann daher bereits nach kurzer Einsatzdauer die Gefahr einer gesundheitsgefährdenden Überhitzung bestehen. Um dies auszuschließen, gilt aus arbeitsmedizinischen Gründen eine Tragezeitbegrenzung für isolierende Schutzanzüge, diese beträgt 30 Minuten für geübtes Personal [DGU07], auch für die unterschiedlichen Atemschutzausrüstungen gelten Tragezeitbegrenzungen [DGU11]. Fakt ist, dass warme/heiße Umgebungen die in den Referenzen genannten möglichen Tragezeiten verkürzen können. Dem entgegen steht für die Bundeswehr die operationelle Notwendigkeit unter bestimmten Bedrohungslagen impermeable Schutzbekleidung möglichst lange tragen zu wollen bzw. zu müssen. Verlängerte Tragezeiten können nur durch signifikante physiologische Entlastungen der Nutzer erreicht werden, Hitzeerkrankungen müssen dabei vermieden werden. Bisher betrachtete Möglichkeiten für Nutze-

rentlastungen beinhalten technische Ergänzungen wie den Bewegungsradius einschränkende, stationäre Belüftungsoptionen, Kühlwesten, Ventilationsgeräte für den Anzug, Atemschutzgebläse zur Überwindung des Filterwiderstandes und Maßnahmen zur Verringerung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Schutzanzug. Unabhängig von den Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit belasten die meisten dieser aufgeführten Ergänzungen den Nutzer der Schutzbekleidung wiederum mit zusätzlichem Gewicht. Aufgrund der komplexen Anforderungen der Einsatzszenarien an den Nutzer bei zum Beispiel den erforderlichen Detektionsmaßnahmen, der Probenahme und/oder der Dekontamination der CBRN-Gefahrstoffen ist es derzeit noch nicht möglich, diese von autonom arbeitenden, vollautomatisierten Systemen ausführen zu lassen. Es werden daher verschiedene Möglichkeiten untersucht, die zur Verlängerung des autarken Arbeitens in isolierender Schutzbekleidung beitragen können.

2 Lösungsansätze

Die Anforderungen an impermeable ABC-Schutzbekleidungen sind oft widersprüchlich:

- Gewünscht wird ein möglichst hoher Schutz vor vielen Gefahren, alles soll aber möglichst leicht und flexibel sein.
- Die Person soll in der Schutzbekleidung möglichst lange ohne gesundheitliche Gefährdung arbeiten können, Tragebegrenzungen müssen eingehalten werden.
- Die Person soll durch die Schutzbekleidung möglichst wenig belastet werden und ihren Einsatz ohne Einschränkungen erfüllen können.

Um diese Anforderungen technisch zu lösen, wurde ein neuartiges Schutzkonzept entwickelt, das aus drei wesentlichen Komponenten besteht:

1. Flexibilisierung der Schutzbekleidung und des Atemschutzes
2. Objektive Bewertung des physiologischen Zustands für eine Individualisierung der Tragezeiten
3. Untersuchungen von Entlastungsmöglichkeiten

Die drei Komponenten werden derzeit noch weitestgehend einzeln betrachtet. Mit einer in diesem Jahr begonnenen Studie, die an der Helmut-Schmidt-Universität (HSU) im Auftrag des Wehrwissenschaftlichen Instituts für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) durchgeführt wird, erfolgt die Untersuchung der Zusammenführbarkeit zweier wichtiger Anteile, nämlich eines neuartigen Schutzanzugs, der die Grundlage für einen erweiterten und flexibleren Schutz bietet in Kombination mit einem (Teil-) Exoskelett.

Die einzelnen Lösungsansätze werden im Folgenden erläutert.

2.1 Flexibilisierung der Schutzbekleidung und des Atemschutzes

Der erste Schritt zum Erreichen des angestrebten Ziels war die Erweiterung der Verwendungsmöglichkeiten der gasdichten, impermeablen Schutzbekleidung zum einen durch ein breitbandig schützendes, aber leichteres Schutzmaterial und ein verändertes Anzugdesign sowie durch die Integration eines Hybridatemschutzsystems [Con18].

Bei den derzeit zum Beispiel bei Feuerwehren und auch in der Bundeswehr verwendeten gasdichten Chemikalienschutzanzügen wird die außenluftunabhängige Atemschutzausrüstung häufig im Schutzanzug getragen, die Schutzanzüge selbst sind oft sehr voluminös. Gängige Atemschutzausrüstungen bestehen aus einer Atemschutzmaske kombiniert mit einem Atemluftvorrat in einer Druckflasche. Hier begrenzt die Menge der mitgeführten Luft die Einsatzzeit. Ein grober Richtwert für eine mögliche Einsatzzeit liegt bei ungefähr 30 Minuten. Die Einsatzzeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von der Größe und Art der Druckflasche und dem Atemluftverbrauch der Nutzer.

Hybridatemschutzsysteme bieten hier mehr Flexibilität in der Verwendung, denn sie erlauben das Umschalten zwischen unterschiedlichen Atemschutzmodi im Einsatz vom Nutzer selbst. Dies ist möglich, weil an der Atemschutzmaske gleichzeitig zum Beispiel ein Atemschutzgebläse (mit Atemschutzfiltern)

und eine Atemluftflasche angeschlossen werden können. Auf diese Weise kann ein Filteratemschutz verwendet werden, solange dieser einen ausreichenden Schutz gewährt. Es muss erst auf die außenluftunabhängige Atemluftversorgung umgeschaltet werden, wenn ein Bereich erreicht wird, in dem Filteratemschutz nicht ausreichend ist. So wird der Atemluftvorrat der Flasche nur dort verbraucht, wo er tatsächlich erforderlich ist. Nach dem Verlassen des Gefahrenbereichs und während der Dekontaminationsphase kann wieder auf den Filteratemschutz umgeschaltet werden.

Zur Integration und zum Ermöglichen der modularen und kontaminationsfreien Verwendbarkeit des Hybridatemschutzes wurde ein neues Schutzanzugkonzept entwickelt. Durch einen modularen Anzugsaufbau kann der Schutzanzug wie der Hybridatemschutz an die tatsächlich notwendigen Einsatzerfordernisse angepasst werden. So ist der Schutzanzug auch ohne den in Abbildung 2 gezeigten Rucksack verwendbar, wenn die Schutzmaske statt mit dem im Rucksack befindlichen Atemschutzgebläse und/oder der Atemluftflasche nur mit einem direkt an der Atemschutzmaske angeschlossenen Atemschutzfilter genutzt wird. Soll nur ein Atemschutzgebläse verwendet werden, kann dieses in einem kleineren (als in Abbildung 2 gezeigten) Rucksack kontaminationsgeschützt untergebracht werden. Bei der Verwendung des kompletten Hybridatemschutzsystems werden Atemluftflasche und Atemschutzgebläse wie in Abbildung 2 gezeigt kontaminationsgeschützt im Rucksack untergebracht. Durch ein Schnellkopplungssystem zwischen Schutzanzug und Rucksack ist es grundsätzlich möglich, diesen samt Atemschutzausstattung während des Einsatzes auszutauschen [Con18].

Bei den textiltechnologischen und den Schutzeigenschaften des wiederverwendbaren Anzugmaterials wurden deutliche Verbesserungen im Vergleich zum Referenzmaterial bei einer gleichzeitigen Gewichtsreduktion erzielt. Über einen Zeitraum von drei Jahren entstand als Resultat einer Vielzahl von Detailuntersuchungen ein neuer Materialaufbau basierend auf einem hochfesten Trägergewebe, auf

das beidseitig verschiedene Beschichtungen aufgebracht werden. Das Schutzmaterial ist mechanisch sehr robust und bietet einen breitbandigen Schutz gegenüber vielen Kampf- und Gefahrstoffen.



Abbildung 2: Hybridschutzanzug (Prototyp)

2.2 Objektive Bewertung des physiologischen Zustands für eine Individualisierung der Tragezeiten

Die Notwendigkeit einer Tragezeitbegrenzung trifft gemäß [DGU07] auch für den Hybrid-schutzanzug weiterhin zu.

Zum Erreichen von Tragezeitverlängerung wurden Möglichkeiten zur Integration von Körperkühlverfahren in impermeable Schutz-bekleidungen in der Vergangenheit am WIS betrachtet und werden derzeit am Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr erforscht. Sie werden im Folgenden zunächst ausgeklammert, sind aber bei der Realisierung eines Gesamtschutzkonzeptes einzubeziehen.

Unabhängig von der Gestaltung des Gesamtschutzkonzeptes ist eine objektive Bewertung des physiologischen Zustands der Person beim Tragen der Schutzbekleidung derzeit nicht möglich. Technische Möglichkeiten zum Erfassen von Vitalparametern am Körper existieren jedoch und entwickeln sich derzeit rasant, so dass eine Erfassung von Werten, auf deren Grundlage ein physiologischer Zustand bewertet werden kann, möglich ist. Die Auswertung der individuellen physiologischen Daten bildet einen weiteren wesentlichen Bestandteil des Gesamtschutzkonzeptes und

stellt einen wichtigen Beitrag zum Arbeitsschutz dar.

Als wichtigste Anforderungen an die physiologische Messtechnik wurden ein nichtinvasives Verfahren sowie eine offene Hard- und Software zur Anpassung der Monitoringtechnik an den Verwendungszweck identifiziert. Diese Grundanforderungen wurden im Rahmen einer vom WIS beauftragten Bundeswehr internen Studie ermittelt, ebenfalls dort erfolgte die Festlegung, dass für die Bewertung des physiologischen Zustandes die zuverlässige Erfassung der Körperkerntemperatur eine der wesentlichen Anforderungen ist. Diese Anforderungen erfüllt das HealthLab als Bestandteil des mobPhysioLab[®], da bei diesem die Sensoren nach Bedarf ergänzt oder entfernt werden können und auch die Software weiterentwickelt werden kann. Bei der flugphysiologischen Diagnostik und Forschung liegen bereits ausführliche Erfahrungen mit dem mobPhysioLab[®] vor. Die Messung der Körperkerntemperatur erfolgt mit dem sogenannten Doppelsensor [Gun09, Dre17, Wer12], der direkt am Kopf befestigt oder in ein Helmsystem eingearbeitet wird, im Falle der ABC-Schutzausrüstung bietet sich eine Integration in die Bebanderung der Schutzmaske an.

Bei den durchgeführten Untersuchungen mit dem mobPhysioLab wurden neben der Erfassung der Körperkerntemperatur mit dem Doppelsensor auch Hauttemperaturen und –feuchtigkeiten (Mikroklima), die Herz- und Atemfrequenz sowie die Schrittzahl ermittelt. Während bei den ersten Versuchen die ermittelten Daten per Bluetooth[®] und damit über eine nur sehr geringe Entfernung versendet werden konnten, erfolgte bei den weiteren Versuchen die Datenübertragung per Funk übertragen, wodurch sich wesentlich höhere Reichweiten erzielen ließen (aktuell bis zu 5 km Reichweite).

Bei den ersten Untersuchungen mit dem mobPhysioLab[®] in Kombination mit ABC-Schutzbekleidung wurden die verschiedenen Sensoren an die physiologisch relevanten Körperstellen geklebt, sofern sie sich nicht durch Gurte oder ähnliches fixieren ließen. Diese

Vorgehensweise ist jedoch für einen späteren, regulären Gebrauch unter anderem aus Gründen der Nutzerakzeptanz und des erforderlichen Zeitbedarfs ungeeignet. Daher begannen zur Vereinfachung des Gebrauchs der Monitoringtechnik Untersuchungen des Wehrwissenschaftlichen Instituts für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) zu den Integrationsmöglichkeiten des mobPhysioLab[®] in eine intelligente Unterbekleidung (Smart Textile) (siehe Abbildung 3). Schon die erste Ausführung, bei der nur zwei Sensortypen integriert waren, ermöglichte es, auf das Kleben der Sensoren zu verzichten, da alle bislang nichtintegrierten Sensoren an dem Smart Textile befestigt werden konnten. Zu den textil integrierten Sensoren zählten die Temperatursensoren an den Handgelenken und den Unterschenkeln. Zur Integration wurden die vorhandenen Kabel durch leitfähige textile Bänder ersetzt und auf das flexible Textil aufkaschiert. Die Sensoren selbst wurden ebenso in das Textil eingebettet und durch eine semipermeable Membran versiegelt. Die Strom- und Datenleitung zwischen Oberteil und Unterteil des intelligenten Textils erfolgte mittels leitfähiger Bänder und die elektronische Verbindung durch gewöhnliche Druckknöpfe. Der entsprechend feste Sitz der Sensoren wird durch Daumenschlaufen bzw. Fußschlaufen gewährleistet, wobei eine zusätzliche Fixierung der Sensoren mittels einer Bebanderung bewirkt wurde, die auf dem Klett-Flausch-Prinzip beruht. Das Textil besitzt offenere Mesh-Strukturen für einen optimierten Luftaustausch in den Bereichen, in denen keine Stabilität gefordert ist und flexible, geschlossene Anteile, wo eine entsprechende Stabilität für z.B. Leiterbänder gefordert ist. Am WIWeB erfolgen derzeit weitere Arbeiten zum Erreichen eines höheren Integrationsgrades.

Die wesentlichen Grundlagen für die weiteren Erprobungen sind zunächst der Vergleich und die Validierung der Messwerte des geklebten und integrierten Verfahrens, die Waschbarkeit und Haltbarkeit der intelligenten Unterbekleidung sowie die Entwicklung eines physiologischen Auswertalgorithmus, der es erlaubt,

dass eine Gruppe in Schutzbekleidung arbeitenden Personen von einer vom Einsatzort entfernten, in einem sicheren Bereich befindlichen Person gemonitort wird. Das Ziel ist es, einen medizinischen Laien nach Einweisung zu befähigen, die aus den gemessenen Werten aufbereiteten Daten zu interpretieren (Scoring) und im Kontext des Auftrages für den Einsatzleiter nutzbar zu machen, um Entscheidungen treffen zu können.

Die Datenauswertung soll über einen noch zu entwickelnden Algorithmus erfolgen, in den auch reale meteorologische Daten einbezogen werden müssen. Die Datenauswertung ist ein sehr komplexer Themenbereich, für den neben individuellen medizinisch validen Interpretationen auch datenschutzrechtliche Fragestellungen zu beachten sind.

Die Zielvorstellung ist, eine einfach zu verwendende intelligente Unterwäsche mit der impermeablen Schutzbekleidung zu kombinieren und über die ermittelten Daten eine Aussage zum physiologischen Zustand der Person in der Schutzbekleidung zu bekommen, um so die Tragezeiten in Abhängigkeit der tagesaktuellen Leistungsfähigkeit anzupassen.



Abbildung 3: Erster Prototyp eines Smart

Textiles mit einer partiellen Sensorenintegration

2.3 Untersuchungen von Entlastungsmöglichkeiten

Auch wenn das bis hier erläuterte Gesamtkonzept mit allen Komponenten im Gewicht vergleichbar mit der Atemschutzausstattung herkömmlichen Chemikalienschutanzügen ist, wirkt sich das Zusatzgewicht für die Arbeit im Hybridatemschutzanzug negativ aus. Aus diesem Grunde wurden Entlastungsmöglichkeiten durch (Teil-) Exoskelette beim Tragen impermeabler Schutzausrüstung untersucht.



Abbildung 4: Ermittlung von Bewegungscharakteristika beim Bergen von Altlasten (Bild: HSU)

Kernziel des Vorhabens war die Analyse der Ausgangssituation sowie die Ableitung von Unterstützungsmöglichkeiten zur physischen Unterstützung in zwei ausgewählten Kontexten: Arbeitsplätze „Dekontaminationseinrichtung“ und „Umgang mit unbekannten Gefahrstoffen“.

Zunächst erfolgten hierfür Arbeitsplatzanalysen, um Kerntätigkeiten und die am stärksten belasteten Tätigkeiten der beiden Arbeitsplätze zu identifizieren. Fotos, Filmaufnahmen und Interviews dienten der Ermittlung von Einsatzdauer, maximalen Bewegungsumfängen der Arbeitspositionen, verwendeter

Schutzausrüstung, der zu handhabenden Lasten sowie der subjektiven Beanspruchung. Abbildung 4 zeigt als ein Beispiel die Bergung von Altlasten mit den ermittelten Winkelgrößen.

Die darauffolgende Laborstudie untersuchte im Studiendesign mit Messwiederholung und einer dreifachgestuften Variation des Faktors Zusatzequipments („Basis“ – ohne Gewicht, „Rucksack“ – mit Atemluftflaschen (14,1 kg), „Zodiac und Rucksack“ – impermeabler Schutzanzug und Atemluftflaschen) die folgenden Teilaufgaben:

- Ruhemessung
- Hacken mit Spaten
- Schaufeln
- Bergen einer Granate
- Heben einer Tonne (30 kg)
- Laufen (200 m bei 2,5 km/h)
- Posturographie im aufrechten Stand

Die Aufgaben wurden von 6 Personen ($32,5 \pm 5$ Jahre) durchgeführt. Während aller Teilaufgaben und Messwiederholungen wurde die Herzfrequenz mittels Zephyr-Brustgurt (Zephyr Technology Corporation, NZL, 60 Hz) ermittelt. Elektromyographische Aktivitätsmessungen (Myon 320, Myon AG, CHE, 960 Hz) wurden von M. trapezius descendens, M. deltoideus, M. biceps brachii, den Unterarmflexoren, M. obliquus externus, M. erector spinae pars lumbalis, M. biceps femoris sowie von M. rectus femoris nach den SENIAM Richtlinien [Fre00, Kas98] erhoben und anhand von zuvor erhobenen MVC-Werten referenziert. Die Kinematik aller Bewegungen (ausgenommen der Ruhe- und Posturographiemessungen) wurde mittels Xsens MTw Awinda (Xsens technologies B.V., NLD, 60Hz) aufgezeichnet. Die Posturographie zum Vergleich der Körperschwerpunktschwankung wurde mittels AMTI-Opt (464508, AMTI, USA, 960 Hz) durchgeführt.

Aufgrund der geringen Stichprobengröße erfolgte die Statistik deskriptiv und umfasste die Gruppenmittel $\pm$ Standardabweichungen als Verlaufswerte bzw. Punktwerte.

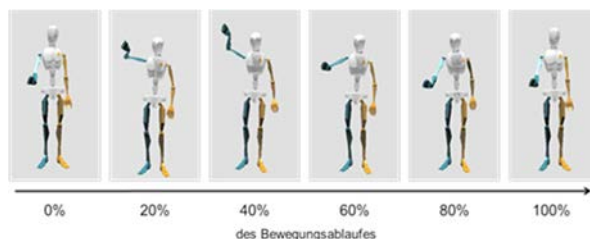


Abbildung 5: Untersucher Bewegungsablauf bei der Teilaufgabe „Hacken“ (Bild: HSU)

Allgemein bildet sich eine erhöhte Herzfrequenz sowie ein verstärkter absoluter Bewegungsumfang des Körperschwerpunktes in den belasteten Bedingungen ab. Am stärksten und am häufigsten werden der untere Rücken, der Schulter-Nacken-Komplex sowie die Greifmuskulatur beansprucht. Die Ergebnisse der Studie weisen jedoch vor allem stark aufgabenspezifische Veränderungen zwischen den Versuchsbedingungen auf. So zeigen sich beispielsweise während der Aufgabenstellung „Hacken“ (siehe Abbildung 5) bei stark erhöhter Muskelaktivität von Rücken ($\Delta = 115$ % des MVC) und Schultermuskulatur ($\Delta = 66$ % des MVC) verminderte Bewegungsumfänge der Schulter ($\Delta = 31^\circ$) im Vergleich zwischen der Basisbedingung und den Bedingungen mit Zusatzgewicht.

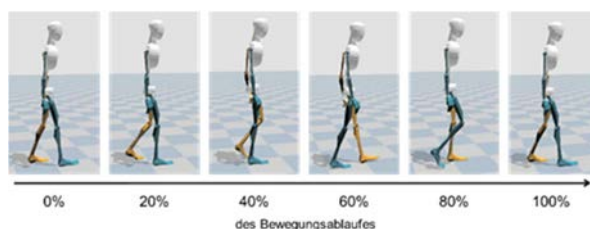


Abbildung 6: Untersucher Bewegungsablauf der Teilaufgabe "Laufen"

In der Teilaufgabe „Laufen“ (vgl. Abbildung 6) hingegen wirkt sich das zusätzliche Rucksackgewicht vor allem in einer gesteigerten Oberkörperflexion ($\Delta = 11,8^\circ$ in der Rucksackbedingung, $\Delta = 12,5^\circ$ in der Zodiac und Rucksack-Bedingung) und der Aktivitätserhöhung der Nackenmuskulatur ($\Delta = 144$ % des MVC) aus.

Aus den Studienergebnissen lässt sich vor allem ableiten, dass die Unterstützungsbedarfe stark von den jeweiligen Aufgabenstellungen

abhängen und die Veränderungen detailliert und solitär betrachtet werden müssen. Unterstützungsmöglichkeiten müssen entsprechend unterschiedliche Körperregionen in aufgabenspezifischen Unterstützungsformaten adressieren. Die gesamte Wirkkette darf jedoch bei der regionalen Unterstützung nicht außer Acht gelassen werden.

Aufbauend auf den spezifischen Ergebnissen der Feld- und Laborstudie wurden Lösungsansätze zur Belastungsreduktion entwickelt, welche sowohl exoskelettale Systeme, externe Hilfsmittel zur Unterstützung am Arbeitsplatz, ergonomische Optimierung von Hilfsmitteln und arbeitsorganisatorische Lösungen einschlossen. Die Bewertungen der verschiedenen Lösungsansätze zur Belastungsreduktion durch Expertenratings zeigte neben der Schwerpunktoptimierung des Rucksackes, Verringerungen von Steifigkeiten von Rucksack und Schutzanzug, Leichtbauweise des Rucksackes sowie den arbeitsorganisatorischen Lösungsansätzen insgesamt eine gute Bewertung von Exoskelettsystemen zur Unterstützung der beiden Tätigkeitsbereiche, woraufhin morphologische Konzepte für Exoskelette zur kontextabhängigen Unterstützung

entwickelt und Anforderungsprofile an die jeweiligen Exoskelettlösungen formuliert wurden.

Festzuhalten ist jedoch auch, dass sich keine Universallösung für die sehr unterschiedlichen Arbeitsplätze entwickeln lässt und diese aufgrund der unterschiedlichen Belastungsprofile nicht ratsam wäre.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das WIS hat basierend auf den Ergebnissen einer in 2017 von der HSU durchgeführten Machbarkeitsstudie zur Verwendbarkeit von (Teil-) Exoskeletten im CBRN-Bereich eine Folgestudie wiederum mit der HSU initiiert, bei der bis Ende 2021 ein in einem ABC-Schutz-Szenario verwendbarer Technologiedemonstrator vorgestellt werden soll. Die zusätzliche Herausforderung ist die Integration des (Teil-) Exoskelettes in die ABC-Schutzbekleidung, deren Funktionalität nicht beeinträchtigt werden darf, da nur bei einem kontaminationsfreien Gebrauch die Wiederverwendbarkeit des (Teil-) Exoskelettes möglich ist.

Literatur

- [Con18] ContiTech Elastomerbeschichtungen GmbH: Schutzanzugsanordnung, Schutzanzugseinheit Und Atemschutzseinheit. A. Overkamp, J. Löschner, K. Hagner, F. Hesse, S. Hemmer, H. Bräuer, 01.03.2018, Patentschrift WO002018036679A1.
- [DGU07] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, DGUV-Regel „Benutzung von Schutzkleidung“, DGUV-R 112-189, Oktober 1995, aktualisierte Fassung Oktober 2007, S. 47, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-189.pdf> (gelesen am 22.06.2018).
- [DGU11] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, DGUV-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“, DGUV Regel 112-190, Dezember 2011, S. 38, S. 147ff, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-190.pdf> (gelesen am 22.06.2018).
- [Dre17] U. Drescher, J. Koschate, U. Hoffmann, S. Schneider und A. Werner: Effect of acute ambient temperature exposures on cardio-pulmonary and respiratory kinetics. International Journal of Hyperthermia. Int J Hyperthermia., Aug 2, S. 1-13, 2017.
- [Fre00] B. Freriks: European recommendations for Surface Electromyography results of the SENIAM Project. Roessingh Research and Development, Enschede, 2000.
- [Gun09] H. C. Gunga, A. Werner, A. Stahn, A. Steinach, T. Schlabs, E. Koralewski, D. Kunz, D. L. Belavý, D. Felsenberg, F. Sattler und J. Koch: The Double Sensor - A non-invasive device to continuously monitor core temperature in humans on earth and in space. Journal of Respiratory Physiology and Neurobiology; 169 Suppl. 1: S. 63-8, 2009.

- [Kas98] G. Kasman: Clinical applications in surface electromyography: chronic musculoskeletal pain. Gaithersburg Md.: Aspen, 1998.
- [Wer12] A. Werner, H. C. Gunga: Monitoring of Body Core Temperature in Humans. In: Stress challenges and immunity in Space from Mechanisms to Monitoring and Preventive Strategies. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012.

Magic Triangle – Human, Exoskeleton, and Collaborative Robot Scenario

R. A. Goehlich¹, M. H. Rutsch² und I. Krohne³

¹ Airbus, Manufacturing Engineering
Robert.Goehlich@airbus.com

² Airbus, Airbus Medical
Moritz-Henning.Rutsch@airbus.com

³ Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Ingo.Krohne@airbus.com

Abstract

The incidence of musculoskeletal disorders in workplaces with difficult ergonomic conditions is increasing. Today, there is a growing market for technical support systems that avoid repetitive strain on the musculoskeletal system. We have been observing two (parallel) lines of development: on the one hand, the development of exoskeletons supporting shop floor operators and, on the other hand, the development of collaborative robots for the creation of hybrid teams. The focus of our research is the combined application of exoskeletons AND collaborative robots for shop floor operators in the aerospace industry. Our approach is to analyze various scenarios to understand which tasks should preferably be executed either with a collaborative robot, with an exoskeleton, or by a human without assistance from any support systems such as an exoskeleton or robot. In order to pursue this idea of modular and selective support system solutions, tool availability has to be ensured without increasing the required infrastructure. In a first step, we have developed a prototype of a tool adapter that enables the application of a tool either by connection to a robot, an exoskeleton, or the tool being held by the operator, and allows very fast coupling and decoupling within seconds. This concept will enable the realization of the proposed simultaneous use of exoskeletons and robots.

Kurzzusammenfassung

Magisches Dreieck: Mensch, Exoskelett und kollaborierende Roboter-Szenario

Muskel-Skeletterkrankungen an Arbeitsplätzen mit schwierigen ergonomischen Bedingungen nehmen zu. Aktuell entwickelt sich der Markt für Körperassistenzsysteme, die monotone Belastungen für das Muskel-Skelettsystem reduzieren, weiter. Wir nehmen zwei Richtungen in der Entwicklung wahr: Mitarbeiter werden bei ihrer Tätigkeit durch Körperassistenzsysteme ODER kollaborierende Roboter unterstützt. Bei unserer Untersuchung konzentrieren wir uns auf die kombinierte Unterstützungsstrategie. Unsere Vorgehensweise ist es verschiedene Szenarien zu analysieren, um für die jeweiligen Teiltätigkeiten die passendste Unterstützung, entweder mit einem Exoskelett, einem Roboter oder ohne, anzubieten. Grundlage dieser Strategie stellt ein neu entwickelter Universaladapter mit einer Schnellkupplung dar, der ein Halten des Werkzeuges durch Roboter, Exoskelett oder den Menschen ermöglicht.

Keywords

Collaborative robot, exoskeleton, aerospace industry, human, wearable support systems

1 Introduction

Motivation.

Musculoskeletal disorders have been understood to occur in connection with work for hundreds of years. Today, there is a growing fear in Europe and elsewhere about the impact of work-related musculoskeletal disorders on employee well-being and health. Musculoskeletal disorders are considered to be a major cause of sickness absence. Although many explanations have been discussed in the past few decades regarding underlying mechanisms for the development of nonspecific musculoskeletal symptoms, definitive knowledge is still incomplete [Slu01].

Problem.

In today's production environment, the operator typically can decide to use either (1) an exoskeleton, (2) a cobot, or (3) no support for a specific work package (i.e., a set of tasks) to be carried out on a shop floor. The disadvantage is that usually this decision must be made before the tasks are executed, and once option 1, 2, or 3 has been selected, the operator will have to stick to his or her choice without having the chance to switch to a different option easily while executing the tasks.

Research Question.

This leads us to our research question (RQ): "How should a system be designed and processed to enable soft switching between the use of an exoskeleton, cobot, or no support during operation?"

Content.

The next section provides a brief review of literature regarding human, exoskeleton, and cobot scenarios. Section 3 describes our method including a visualization, measurement, and approach to verify this scenario. Following a results and discussion section, we will conclude our paper with recommendations.

2 Literature Review

Human.

Ergonomic conditions involving repetitive strain can cause musculoskeletal disorders. One well-known potential explanation at the muscular level is the Cinderella hypothesis, according to which the lack of recovery from repeated recruitment of the same motor neuron units causes complaints and fatigue when the same forces and movements are activated in a repetitive manner according to the criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders [Slu01].

Insights regarding general body postures are provided by a study conducted by Fritzsche assessing the postures of employees working in a vehicle assembly shop. The Rapid Upper Limb Assessment (RULA) risk score calculates the severity of a given posture with regard to work-related musculoskeletal disorders. Following the detection of risk factors, the ergonomic workplace conditions were improved. As a result of this study, the "risk score" has decreased, causing productivity to increase by 3.6%. In the future, investigating psycho-social factors and heart rate variability might become relevant to understanding this mechanism [Fri14].

Exoskeleton.

Typically, exoskeletons are stand-alone systems. Their advantage is that they can be operational in a minute and are very reliable and robust. However, the disadvantage of this characteristic is that an exoskeleton allows only few interactions with the environment. A selection of various exoskeleton types shows that typical exoskeletons are also limited to supporting only some areas of the body (e.g., foot, leg, pelvis, main body, arm, hand) and rarely cover the entire body [Goe16].

Collaborative Robot.

In principle, classical automation approaches and their application in confined spaces mean safe robotic operations based on physical separation or close coexistence. Generally, different standards and regulations such as ISO

15066 [ISO16] must be considered when implementing human-robot interaction.

Collaborative robotics, in the proper sense of the term, means real human-machine interaction. In the context of this work, the application of cobots is aimed at improving the ergonomic conditions. This could mean that robotic manipulation with its strength takes over the main loads while the human cooperator is in a guiding role [Mör12], or even that the human and the machine handle the same part simultaneously or share the same tool. Obviously, the close interaction of humans and robots involves safety hazards that must be identified [Vas13].

3 Method

As mentioned above, the general idea is to introduce types of support systems like exoskeletons and cobots enabling easy and highly flexible adaptation to different working conditions or personal preferences. This requires a human-machine interaction as well as a human-exoskeleton connection and even an exoskeleton-machine interface.

In addition to the technical interface definition, it is important in this scenario to define standardized indicators in order to select the right or even best human-exoskeleton-cobot combination focusing on ergonomic and process-related optimization. Any down selection and analysis must be supported by adequate measurements and validation methods, which are today especially concerning the benefits of exoskeletons at the beginning.

3.1 Scenario: Human, Exoskeleton, Cobots

Usually, support systems are considered independently from automation solutions. This is often due to the fact that the design of end effectors and tools is different depending on whether they are used by robots or humans. Moreover, as mentioned above, specific safety measures have to be taken into account for human-robot interaction. Nevertheless, the associated benefits regarding ergonomics and production are considered to be significant. Hence, a scenario for human-exoskeleton-machine interaction is created.

Figure 1 shows a concept where a tool that was used by a cobot is handed over to a human wearing an exoskeleton [Goe17]. The tool is connected directly to the exoskeleton without the intermediate stages that would be required in case of not using the tool adapter (such as grasping the tool, disassembling it from the robot end effector, carrying the (heavy) load, and connecting the tool to the exoskeleton).

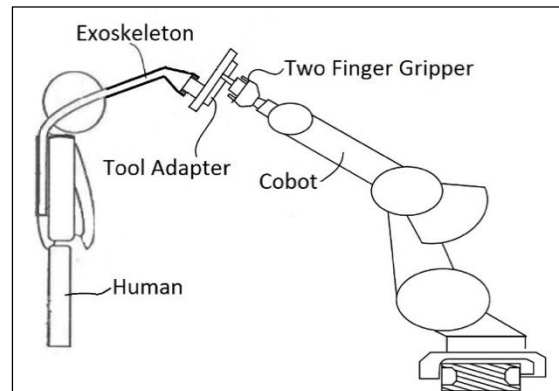


Figure 1: Soft switching of a tool between cobot and exoskeleton

3.2 Measurement: CUELA

The posture analysis is performed using the CUELA system (Computer-unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) [computer-assisted recording and long-term analysis of musculoskeletal loads] established at the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (Institut für Arbeitsschutz (IFA); Sankt Augustin, Germany). The system is composed of different sensors (accelerometers and gyroscopes for the head, arms, legs, back; potentiometers for back torsion). At the beginning of the data capturing session, all body angles are adjusted to an upright standing posture. As a result of this processing, movement artifacts are low [Eil09, Eil00]. The CUELA system allows to measure body postures continuously including kinematic data of the trunk and the lower and upper limbs. The general purpose of the CUELA measurement technique is to document the motion range and movement intensity during the performance of daily work tasks.

3.3 Approach: Standardize

One way of achieving an objective and valid workspace assessment is to apply the Key Indicator Method as described for example in [Klu17]. For example, such indicators typically include [Bun12]:

- Body posture,
- Hand/arm posture,
- Loads and frequencies,
- Working conditions,
- Work organization, and
- Head tilt inspection.

Having this methodology in mind, it is obvious that a system for classification and validation is necessary for human-exoskeleton-cobot interaction as well as for linking the technology selection to an ergonomic assessment. Nevertheless, this task is not an easy one especially with the aim of tool interchangeability. Therefore, a method of classification within the magic triangle has been drafted to support task allocation.

Figure 2 illustrates the magic triangle with a process brick that can be easily allocated to one of the “executors” and switched over to a different one while in process.

To verify our approach, we suggest the following arrangement of samples: the first group includes operators who do not use any support systems (human); in the second group, we observe operators with body assistance systems (exoskeleton); and the third group focuses on cobots (collaborative robots).

In addition to purely ergonomic key indicators, the magic triangle investigation required the definition of process-related and technical classification indicators, considering typical strengths and weaknesses for each group. For example, these include the agility but also the load handling limitations of humans, the required fast set-up time, and potential comfort issues of exoskeletons as well as the load capabilities and lack of accuracy of cobots.

Depending on a given task, different combinations of capabilities are required. Thus, based on the magic triangle approach, the best combination of the human-exoskeleton-cobots can be selected.

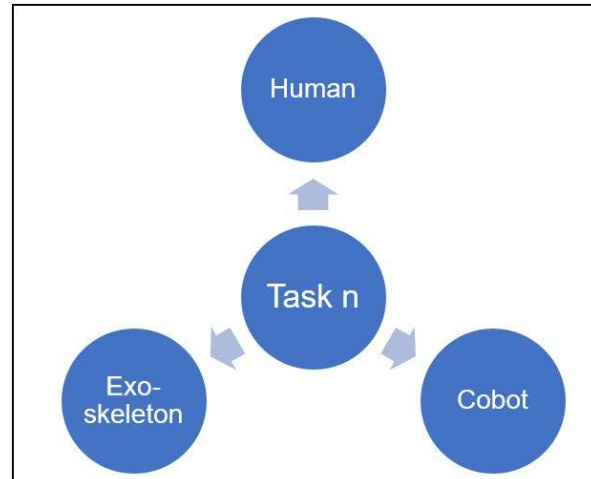


Figure 2: Magic triangle

4 Results

We conducted various trial tests for typical aircraft production tasks at laboratory level and organized our lessons learned concerning human, exoskeleton, and cobots in Table 1. In summary, we observed that:

- the operator without any support system is superior for a wide range of specific tasks,
- the exoskeleton support allows operators to perform tasks involving heavy loads (in a way that is less harmful to their health), but also affects the user's comfort and freedom of movement, and
- the cobot support is primarily suitable for performing repetitive tasks.

In particular, as shown in Table 2, we observed that the magic triangle approach is more suitable for some process bricks than for others.

Table 1: Classification of major lessons learned from using the magic triangle approach

Task performed by	Impact	Probability	Rank (I*P)
Human (no support)			= 5
+ Quick tool grasping	***	**	+6
+ Agile movements	*	*	+1
+ Short instruction	*	*	+1
+ No maintenance	*	**	+2
- Heavy loads	**	*	-2
- Risk of failures for repetitive tasks	***	*	-3
Exoskeleton			= 1
+ Flexible to adapt to various geometries	**	*	+2
+ Fast set-up	**	**	+4
- Repetitive tasks are mitigated but not eliminated	*	*	-1
- Less comfort (weight, inflexible, skin transpiration)	**	**	-4
Cobot			= 1
+ Simple connection with tool	***	*	+3
- Heavier weight of end effector	*	*	-1
- TCP less accurate	*	*	-1

Note: The assumed task is to install a component, e.g., a raceway or bracket by means of a screw driver. The values are estimates based on observations.

Table 2: Classification of suitability of the magic triangle to selected tasks

Tasks	H	E	C
Transportation of a component	-	-	+
Holding of a component	-	+	+
Transportation of a tool	-	+	+
Holding of a tool	-	+	+
Use of the tool	+	+	-
Quality check	+	-	+

Note: H = human (without support); E = exoskeleton; C = cobot

5 Discussion Overview.

Proposing new processes and novel tool-related designs triggers fruitful discussions among researchers, managers, and operators. Our discussion for this study focuses on a process comparison, the limitations we identified in our approach, and possible scenarios for verification.

Process Comparison.

Figure 3 shows a contrasting juxtaposition of the state-of-the-art process versus our magic triangle approach.

The state-of-the-art process is to cluster tasks (e.g., tasks 1 and 2) and assign an executor (e.g., an exoskeleton supports a human); any system change (e.g., a cobot supports a human for task 3) requires costly changeover time (marked with an arrow), leading to inflexibility.

In contrast, the magic triangle process reduces or eliminates these changeover times and allows agile reactions (e.g., task 1 is executed by a human alone, task 2 is executed with the support of an exoskeleton, while task 3 is executed with the support of a cobot).

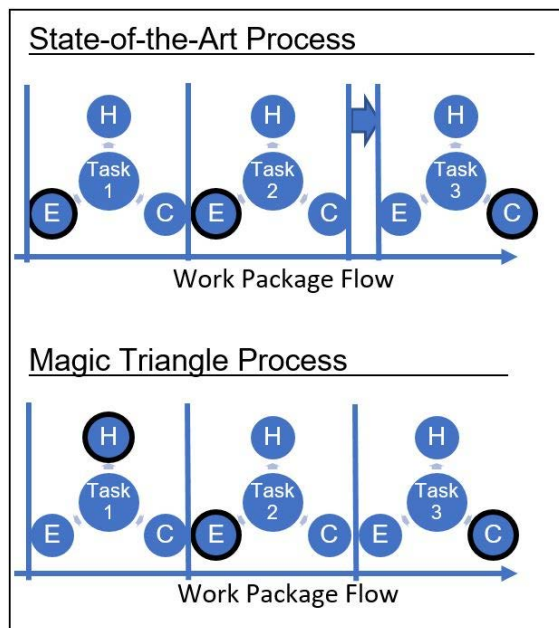


Figure 3: State-of-the-art versus magic triangle process

Note: H = human (without support); E = exoskeleton; C = cobot

Limitations.

We see major limitations in measuring the effectiveness of our magic triangle strategy with regard to ergonomic improvements (i.e., healthier working conditions), cost reductions (i.e., less changeover time of cobots), and agility of production (i.e., increased modularity, flexibility of cobots and exoskeleton use). This is due to the bias caused by:

- **Perception of operators varies** from “robot is a helpful assistance” to “robot is competing with my skills”, which results in different motivation levels and work results,
- **Scenarios vary** because some tasks are repeatable while other tasks change continuously, and
- **Individual preferences vary** in terms of how specific tasks are to be executed, as operators have developed different skills and levels of craftsmanship.

Possible Scenarios.

A selection of possible scenarios and our assumptions are describing the application of the magic triangle process. A deeper analysis will require to implement the described standardization and classification rules in this study.

The following scenarios will give an insight if the magic triangle approach is leading into the right direction.

Scenario A. The production of cable loops is performed in pre-assembly shop floors. Cables are bundled with cable ties. The employees are working on desks, temporary they can use a chair. We assume that the CUELA measurement might show ergonomic conditions, which are convenient. The workers have to grasp the cable tie quickly in order to manufacture the cable loop.

This state-of-the-art process could be improved by applying the magic triangle. For example, by partly switching on a cobot the number of failures for repetitive tasks can be decreased. Moreover by having a good cobot adjusting it is possible to increase the productivity rate.

Scenario B. Painting of the underside of a fuselage comprise that the employees have to work with their hands across the head for hours by handling the spray gun. We assume that the CUELA measurement might show an increase of the ergonomic strain in these workplaces.

The magic triangle approach could show that the golden way is the use of an exoskeleton, which decreases the strain for the shoulder. But there are some work place areas, where employees have less space. Therefore, a soft switching to a “no support” process has to be considered.

Scenario C. Rivet tools are used to connect different parts of the fuselage. These tools are heavy with a typical weight between 5 to 7 kg. We assume that the CUELA measurement might summarize that workers who have to perform work packages with those tools have a high strain for their body.

Cobots cannot being applied in every section of the fuselage, e.g., the tail top, due to their limited reach. A magic triangle process analysis could propose a soft switching from the cobot support to the “no support” and/or to the “exoskeleton” support process.

6 Conclusion

The implementation of a simultaneous combination of exoskeletons, robots, and humans without support systems allows job rotation not only between employees but also by the same person using different support systems depending on individual habits. According to the Cinderella hypothesis, we expect a lower strain on the motor neuron units, reducing fa-

tigue and health problems. Moreover, according to Fritzsche, improved ergonomic working conditions can increase productivity.

7 Acknowledgements

Ongoing joint research of the authors between universities and aircraft production has its origin in various projects involving different departments. Sole responsibility for the content of the paper lies with the authors.

References

- [Bun12] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Key indicator method for assessing physical workload during manual handling operations (Worksheet incl. detailed instructions), 2012. Retrieved from https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physische-Belastung/Leitmerkmalmethode/pdf/KIM-manual-handling.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [Ell00] R. Ellegast and J. Kupfer: Portable posture and motion measuring system for use in ergonomic field analysis. Ergonomic software tools in product and workplace design. Stuttgart: K. Landau, 2000.
- [Ell09] R. Ellegast, I. Hermanns and C. Schiefer: Workload assessment in field using the ambulatory CUELA system. Digital human modelling. Germany, Berlin: V. G. Duffy, 2009.
- [Fri14] L. Fritzsche, J. Wegge, M. Schmauder, Ma. Kliegel and K.-H. Schmidt: Good ergonomics and team diversity reduce absenteeism and errors in car manufacturing. In: Ergonomics, Vol. 57(2), pp. 148-161, 2014.
- [Goe16] R. A. Goehlich, I. Krohne, R. Weidner, C. Gimenez, S. Mehler and R. Isenberg: Exoskeleton portfolio matrix: Organizing demands, needs and solutions from an industrial perspective. In: Proceedings of Zweite Transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, pp. 147-156, 2016.
- [Goe17] R. A. Goehlich, T. Kuhrt and I. Krohne: CoExoBot – Tool connector for exoskeleton and collaborative robot. Hamburg, Germany: Airbus, 2017.
- [ISO16] ISO/TS. Robots and robotic devices – Collaborative robots: ISO 15066:2016. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2016.
- [Klu17] A. Klusmann, F. Liebers, F. Brandstädt, M. Schust, P. Serafin, A. Schäfer, H. Gebhardt, B. Hartmann and U. Steinberg: Validation of newly developed and redesigned key indicator methods for assessment of different working conditions with physical workloads based on mixed-methods design: a study protocol. In: BMJ Open 2017;7:e015412, Projektnummer: F, 2333, pp. 1-13, <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015412>, 2017.
- [Mör12] A. Mörtl, M. Lawitzky, A. Kucukyilmaz, M. Sezgin, C. Basdogan and S. Hirche: The role of roles: Physical cooperation between humans and robots. In: The International Journal of Robotics Research (IJRR) 31.13, pp. 1656-1674, 2012.
- [Slu01] J. Sluiter, K. Rest and M. Frings-Dresen: Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. In: Scand J Work Environ Health, Vol. 27, pp. 1-102, 2001.
- [Vas13] M. Vasic and A. Billard: Safety issues in human-robot interactions. In: IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 197-204, 2013.

Verbrauchssteuerung in intelligenten Privathaushalten – wird der Bewohner entmündigt?

J. Haase

Universität Lübeck, Institut für Technische Informatik
haase@iti.uni-luebeck.de

Kurzzusammenfassung

Im letzten Jahrzehnt hat die rasante Entwicklung im Bereich der Intelligenten Gebäude zum Entstehen verschiedener Applikationen zur Überwachung und Steuerung des hausinternen Energieverbrauchs geführt. Die neuen Ansätze stellen den Bewohner vor neue Herausforderungen und verlangen von ihm, der Technik, die ihm die Verwaltung und Steuerung aus der Hand nimmt, noch mehr als bisher zu vertrauen, was sowohl die Funktionalität als auch den Datenschutz angeht.

In diesem Paper wird ein Überblick über verschiedene Ansätze und Technologien zur Ermittlung und Optimierung des Energieverbrauchs in Privathaushalten vorgestellt sowie deren Auswirkungen auf die Einflussmöglichkeiten und die Angreifbarkeit des Bewohners eines Privathaushalts beleuchtet.

Abstract

Automatic energy control in smart homes – is the user being incapacitated?

In the last decade the fast development in the area of smart buildings brought us many applications for the monitoring and control of the energy consumption in private homes. For the inhabitant, the building automation gets even more complex due to the new approaches, and this demands more trust in the functionality as well as privacy concerns.

This paper gives an overview on different approaches and the effects on the influence and the vulnerability of the inhabitant.

Keywords

Gebäudeautomatisierung, Energieeinsparung, Sicherheit

1 Einleitung

Intelligente Gebäude sind heute ein wichtiger Teil des Smart Grids. Sie steuern automatisch den Verbrauch der Geräte, können den Verbrauch einzelner Geräte zu Zeiten hoher Last auf früher oder später verschieben und helfen daher, den gesamten Energieverbrauch zu drosseln und damit die Energiekosten zu senken [Lhz16]. Immer mehr Eigenheimbesitzer nutzen diese Möglichkeit, die Energieersparnis, die Sicherheit und vor allem den Komfort zu steigern. Dazu gibt es inzwischen normierte intelligente Hardware, die als das Resultat jahrelanger Entwicklungen und Erfahrungen seitens der Industrie auch vom Laien installiert werden kann [Bmb14].

Diese intelligenten Geräte können ihre Umgebung beobachten und überwachen und auf vorgegebene Situationen oder Ereignisse reagieren. Ausgehend von einer großen Zahl einzeln agierenden Geräte ist der nächste Schritt offensichtlich, diese auch miteinander kommunizieren zu lassen. Dadurch ist es ihnen möglich, detektierte Daten auszutauschen und somit ihre Wahrnehmung der Umgebung zu verbessern oder um Teile, die sie selbst nicht wahrnehmen können, zu verbessern. Die Kommunikation erfolgt kabelgebunden oder auf Funk-Basis. Vor allem für die letztere Gruppe wird viel geforscht, beispielsweise neue Kommunikationsprotokolle für kürzere, aber immer noch eindeutige und sichere,

Nachrichten und damit einen geringeren Energieverbrauch [Han16]. Außerdem werden Sicherheitsaspekte betrachtet, um nicht-autorisierten Zugriff zu verhindern [Hoy16].

Ein weiterer Schritt war, die Automation der Geräte auf den Benutzer bzw. Bewohner auszuweiten und seine Gewohnheiten und Vorlieben zu lernen. Darunter können beispielsweise gewünschte Zeiten für Heizung oder Kühlung oder auch die morgendliche automatische Steuerung der Kaffeemaschine fallen. Dies führt zum „Micro Grid“ im Gebäude, analog zum „Smart Grid“ in der Stadt, bei dem außerdem noch vor Ort erzeugte Energie mit eingerechnet wird. Kleine Windräder oder Solaranlagen auf dem Dach werden so in die Gebäude-weite Energiebilanz mit eingerechnet. Intelligente Sensoren werden somit ein integraler Teil der Gebäudeautomatisierung und können dazu beitragen, bisher nicht mögliche oder nicht kostengünstige Vorgänge zu steuern. Nicht erwünschte Charakteristika der Sensoren wie Werteverstärkungen (input offset), Nichtlinearität, Alterung, Temperatureffekte oder gegenseitige Störungen können mittels Korrekturverfahren durch den Prozessor ausgeglichen werden [Ims17]. Da diese Operationen nun in Software auf einem Prozessor und nicht mehr in Hardware laufen, wird die Kalibration von Sensoren einfacher. Abgesehen von einer initialen Konfiguration können Sensoren schon beim Hersteller kalibriert werden [Khm17].

Es stellt sich allerdings die Frage, wie viel dem Benutzer oder Bewohner abgenommen werden kann, ohne dass dieser den Entscheidungen oder Vermutungen der Steuereinheit ausgeliefert ist [Rud17]. Selbst Fachleuten dürfte es schwerfallen, die (teilweise von den Herstellerfirmen nicht offengelegten) Steueralgorithmen nachzuvollziehen. Viele Benutzer sind als Laien dazu erst recht nicht in der Lage und werden im Normalfall von der Technik vorgegebene Steuerungen – meist klaglos – akzeptieren, selbst falls diese durch Fehleinschätzungen oder Programmfehler vielleicht gar nicht ihrem eigenen Wunsch entsprechen. Ohne Einblick in diese Algorithmen weiß der

Benutzer aber nicht, was er da eigentlich zugestimmt hat. Dies ist noch eklatanter, wenn die Algorithmen das Verhalten des Benutzers erlernen, dabei aber Fehler machen, oder nach einer Lernphase weitere Adaptionen (z.B. durch sich ändernde Vorlieben des Benutzers) ablehnen und die bisher gelernten Lösungen immer wieder vorgeben [Ek15].

2 Techniken

Die Beobachtung und Kontrolle des Energieverbrauchs ist einer der wichtigsten Punkte in Smart Buildings geworden. In diesem Abschnitt wird ein Überblick über aktuelle Forschung im Bereich des Intrusive Load Monitoring (ILM) und Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) gegeben. ILM basiert auf im Gebäude oder an Geräten verteilten Sensoren zur Verbrauchsmessung, wohingegen NILM an einem einzelnen Punkt, dem Smart Meter, misst und aus dem Gesamtverbrauch auf den Verbrauch der einzelnen Geräte rückschließt. In den folgenden Abschnitten werden die Funktionsprinzipien mögliche Einsatzgebiete von ILM dargestellt und mit NILM verglichen. Ein weiterer Fokus liegt auf dem Einsatz von Maschinen-Lernalgorithmen [Agi12, Rgh14, Wby15, Ggj12].

2.1 ILM

Der Begriff „Intrusive Load Monitoring“ (ILM) bezeichnet den Fall, dass an jedem Gerät ein Sensor angebracht ist. Durch die hohe Anzahl an Sensoren wird die Komplexität des resultierenden Sensornetzes deutlich erhöht, ebenso die Kosten und die Ansprüche an die Wartbarkeit. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt von der Qualität der Sensoren ab [Wsd13, Hmd11, Akm17].

ILM ist in drei Bereiche untergliedert:

- ein übergreifender Sensor, an den mehrere Verbraucher angeschlossen sind;
- das „Smart Plug“ System, bei dem am Stecker in der Steckdose der Verbrauch aller über ihn angeschlossenen Geräte gemessen wird
- Smarte Geräte, die interne Messungen vornehmen und kommunizieren können

In [Akm17] werden verschiedene Sensorsysteme vorgestellt, u.a. Smart Plugs, Strom-Spannungs-Messgeräte und TED pro. Zusätzlich werden die Kommunikationsmethoden in ILM-Systemen verglichen und diskutiert. Abb. 1 zeigt das grundlegende Konzept von ILM, wobei jeder angeschlossene Verbraucher mit jeweils einem dafür vorgesehenen Sensor (Smart Plug) überwacht wird.

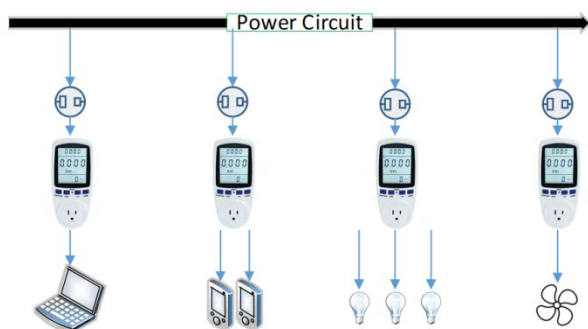


Abbildung 1: Bei ILM Systemen existiert für jeden Verbraucher ein eigener Sensor (hier per Smart Plug)

Häufig sind Smart Plugs die primären Sensoren für die Messung des Energieverbrauchs von Geräten im ILM System. Die meisten dieser Sensoren haben eine Anzeige, die den aktuellen Verbrauch anzeigt, und manche können die gemessenen Werte in einem lokalen Speicher ablegen oder per Funkschnittstelle in eine zentrale Datenbank eintragen. Die funkbasierte Kommunikation basiert heute zumeist auf WLAN, ZigBee und anderen Protokollen.

2.2 NILM

Im Gegensatz zu ILM wird beim “Non-Intrusive Load Monitoring” (NILM) nicht bei jedem einzelnen Gerät der Verbrauch gemessen, sondern der Gesamtverbrauch aller Geräte untersucht und auf die einzelnen Verbraucher aufgeteilt. Dazu werden verschiedene Verbrauchssignaturen und typische Muster gesucht, um daraus auf den verursachenden Verbraucher zu schließen [Akm17, Ylf16]. In Abb. 2 wird ein NILM System gezeigt, das mittels eines einzigen Messgeräts Daten über den gesamten Stromkreis sammelt.

Die Tatsache, dass nicht für jeden einzelnen Verbraucher ein Verbrauchssensor benötigt

wird, macht diesen Ansatz merklich günstiger in der Anschaffung.

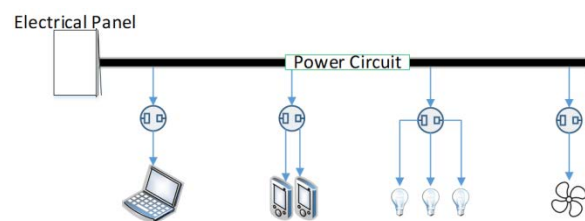


Abbildung 2: Bei NILM Systemen wird der Verbrauch zentral gemessen

NILM verwendet nur einen Satz von Sensoren am „Eingang“, d.h. dort, wo die Schnittstelle zum Energieversorger ist. Zusätzlich werden Algorithmen zur Erkennung von Energieverbrauchsmustern angewendet. Diese Algorithmen sind sehr gut in Privathaushalten einsetzbar [Mc17]. Des Weiteren verwenden NILM Ansätze nur einen Stromwandler um den gesamten Stromfluss in den Haushalt zu überwachen und erhalten daher Informationen über alle großen Energieverbraucher. Alle Ansätze, die in den letzten Jahren vorgeschlagen wurden, basieren auf der Tatsache, dass der Energieverbrauch einzelner Verbraucher direkt von der Aktivität ist, die der Verbraucher gerade durchführt [Mc17].

Um nun die einzelnen Verbraucher identifizieren zu können, kommen Maschinen-Lernalgorithmen ins Spiel. Diese verfolgen die Verbrauchswerte und lernen und kategorisieren die jeweiligen Verbrauchssignaturen. Abb. 3 zeigt das typische NILM Framework mit Maschinen-Lernalgorithmen [Bur15]. Daten werden vom Sensor gesammelt und über die Funkverbindung an einen Server übertragen. Dort erfolgt die Extraktion der Merkmale (feature extraction) und die ermittelten Merkmale werden dann gelernt.

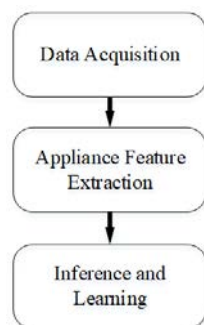


Abbildung 3: NILM Framework mit Maschinen-Lernalgorithmen

3 Auswirkungen

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Techniken ermöglichen die Erstellung von Profilen des Energieverbrauchs im Haushalt. Das kann lokal oder auch von außen durch den Energieversorger erfolgen.

Für den Bewohner bedeutet das, dass sein Profil zur Steuerung seiner Geräte genutzt werden kann. So ist es möglich, an Winterabenden ein paar Minuten vor der typischen Ankunftszeit zu Hause die Heizung hochzuregeln, so dass die Wohnung im richtigen Moment geheizt, über den restlichen Tag aber unnötiges Heizen vermieden wird.

Der Bewohner könnte diese Steuerprogramme selbst erstellen, aber das überfordert die meisten Menschen, so dass es meist als sehr hilfreich empfunden wird, wenn „die Maschine“ derartige Steuerungen selbsttätig und im Sinne des Bewohners durchführt und somit vollautomatisch seinen Komfort erhöht. Selbst interaktive Steuergeräte wie Anzeigen mit Touchscreen oder Apps für das Smartphone werden erfahrungsgemäß nur wenige Tage lang verwendet; danach erlahmt das Interesse an den Steuermöglichkeiten und die Automatik soll übernehmen.

3.1 Datenschutzfragen

Sowohl für ILM als auch für NILM Systeme ist der Datenschutz heute ein wichtiges Thema [Lda11], vor allem für private Haushalte. Die gesammelten Informationen enthalten auch schützenswerte Daten wie den typischen Tagesablauf der Bewohner, den Lebensstandard, Abwesenheitszeiten wie Urlaubsreisen, etc. In

den falschen Händen könnten diese Informationen zur Bedrohung werden. So könnten Einbrecher die Abwesenheit des Bewohners ermitteln, und das sogar, ohne vor Ort zu sein. Aus diesem Grunde werden Verbrauchsdaten besonders geschützt.

Gewisse Funktionalitäten wie Fernsteuerungen per App oder Verbrauchsanalysen durch den Energieversorger sind nicht ohne die Verbreitung eines Teils dieser oder daraus abgeleiteter Daten möglich. Hier spielen auch Maschinen-Lernalgorithmen eine Rolle. So kann beispielsweise die Selbst-organisierende Karte (self-organizing map, SOM) als selbstständige Lernmethode verwendet werden, um den Gesamtverbrauch eines Stadtteils zu schätzen, ohne dabei die Verbrauchswerte der einzelnen Haushalte oder gar Geräte zu kennen [Omhl5].

3.2 Cloudlösungen

Einige Energieversorger bieten an, alle gemessenen Daten auf dem Firmenserver „in der Cloud“ abzulegen. Der Vorteil für den Kunden liegt darin, dass er von jedem beliebigen Endgerät aus auf die Daten zugreifen kann, und das sogar, wenn er nicht zu Hause ist. Für den Energieversorger sind die Daten noch wertvoller: Er erhält so Einblick in den exakten Verbrauch und den Tagesablauf des Kunden. Liegen ihm viele derartige Profile vor, so kann er daraus sehr gut für die Zukunft abschätzen, zu welchen Tageszeiten wie viel Strom benötigt werden wird und entsprechend Strom ins Netz einspeisen. Kurzfristig fehlender Strom kann auf dem internationalen Strommarkt eingekauft werden, aber das ist für den Energieversorger teuer und wird daher gerne vermieden.

Um auf die Daten des Kunden derartig zugreifen zu dürfen, lässt sich der Energieversorger i.A. bei der ersten Einrichtung des Dienstes die Erlaubnis erteilen, ggf. im Kleingedruckten der Lizenzbeschreibung der App.

Natürlich ist es möglich, aus den auf dem Server des Energieversorgers liegenden Verbrauchsdaten des Kunden auf dessen aktuelle Aktivitäten zu schließen. So kann leicht ermit-

telt werden, ob er gerade zu Hause oder im Urlaub ist. Auch ist der Tagesablauf, also beispielsweise die typische Zeit des Aufstehens, Verlassens der Wohnung, Heimkommens, Dauer des abendlichen Fernsehkonsums, Ausschlafzeiten am Wochenende, etc. abgelesen werden. Da diese Daten sehr sensibel sind und missbraucht werden könnten, ist der Kunde darauf angewiesen, dass der Energieversorger die gespeicherten Daten sicher verwahrt und vor fremdem Zugriff schützt. Dabei hat der Kunde aber keine Einsicht in die Mechanismen und muss einfach Vertrauen aufbringen.

3.3 Steuerung durch den Energieversorger

Wie in Abschnitt 3.2 geschildert kann der Energieversorger auf die gesammelten Verbrauchsdaten zugreifen. Noch eine weitere Option ist denkbar und wird auch von Energieversorgern getestet: Der Zugriff von außen zur Steuerung der Verbraucher.

Das Konzept besteht darin, dass es zwar schon hilfreich ist, durch den ermittelten Tagesablauf der Kunden gute Abschätzungen für den Energieverbrauch zu erhalten, aber noch besser wäre es, wenn beim Kunden die Geräte an- und ausgeschaltet werden könnten, wenn gerade zu viel oder zu wenig Strom im Netz ist, der Ausgleich also teuer wäre. Das ist bei manchen Geräteklassen einfach möglich: Kühlschränke können ein Signal erhalten, schon früher als lokal gesteuert einen Kühlzyklus zu starten. Dadurch wird der Kühlschrank etwas früher Energie verbrauchen, aber zum (vorausgerechneten) Zeitpunkt, an dem besonders viele Verbraucher Strom benötigen, ist dieser Kühlschrank schon hinreichend kalt und muss sein Aggregat nicht anschalten. Waschmaschinen können in einen Wartemodus gesetzt werden, d.h. die Wäsche und das Waschmittel werden eingelegt. Die Waschmaschine wartet dann auf ein Signal, wann sie den Waschvorgang beginnen soll. Für Kunden, die z.B. in der Nacht waschen, ist es unerheblich, ob die

Wäsche noch am Abend oder erst nach Mitternacht gewaschen wird, solange sie morgens fertig ist. Der Energieversorger kann daher die Steuerung übernehmen und ggf. sogar den Waschvorgang unterbrechen (z.B. vor dem Schleudern eine Extrapause von ein paar Minuten einlegen), falls der aktuelle Strompreis hoch ist [Th12].

3.4 Fazit

Der Kunde gibt offenbar in einigen Punkten die Kontrolle über den Stromverbrauch in seinem Haushalt ab. Die Frage ist, ob dies schon eine Entmündigung ist. Formal ist eine Entmündigung der (gerichtlich bestimmte) Entzug der Kontrolle. Etwas abgeschwächt könnte man sagen, dass ihm die Mitsprache verwehrt wird. Das ist hier sicher nicht der Fall, da sowohl das lokale Steuersystem als auch der Energieversorger nur anstelle und zu meist im Sinne des Kunden agieren. Er könnte aber jederzeit eingreifen und übernehmen.

Trotzdem muss der Kunde sich im Klaren darüber sein, dass durch die Überwachung seines Energieverbrauchs ein Profil über ihn und sein typisches Verhalten erstellt wird, das eingesetzt werden kann, um seinen Komfort zu steigern oder auch anderen Parteien finanzielle Gewinne bringen kann. Da die Daten oftmals nicht bei ihm lagern (Cloud-Lösung) ist die Gefahr des Zugriffs durch Fremde gegeben.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wird ein Überblick über typische Technologien gegeben, die in intelligenten Haushalten den Energieverbrauch messen und daraus Benutzerprofile erstellen können. Diese Benutzerprofile sind einsetzbar, um dem Benutzer die Steuerung der Geräte abzunehmen, bestehen andererseits aber auch aus sensiblen Daten und bergen daher die Gefahr des Missbrauchs.

Literatur

- [Agi12] Z. Ahmed, A. Gluhak, M. A. Imran and S. Rajasegarar: Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey. *Sensors*, vol.12, no.12, pp. 16838-16866, 2012.

- [Akm17] I. Abubakar, A. S. Khalid, W. M. Mustafa, H. Shareef and M. Mustapha: Application of load monitoring in appliance's energy Management A-review,. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.67, pp 235-245, 2017.
- [Bmb14] A.H. Buckman, M. Mayfield and S. B. M. Beck: What is a Smart Building?. In: Smart and Sustainable Built Environment, vol. 3, no. 2, pp. 92-109, 2014.
- [Bur15] D. Burbano: Intrusive and Non-Intrusive Load Monitoring (A Survey) Inference and Learning Approach. In: Latin American journal of computing-lajc, vol. 2, no. 1, available: <https://lajc.epn.edu.ec/index.php/LAJC/article/view/65/45>, 2015.
- [Ek15] T. Eichstädt-Engelen and K. Kreuzer: Steuerung und Automatisierung. In: Innoq, Online, <https://www.innoq.com/de/articles/2015/12/smarthome-serie-teil5/>, 2015.
- [Ggj12] U. Greveler, P. Glösekötterz, B. Justusy and D. Loehr: Multimedia content identification through smart meter power usage profiles. In: Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE), Athens, pp 1-8, 2012.
- [Haa17] J. Haase, F. AlJuheshi, H. Nishi, J. Ploennigs, K. F. Tsang, N. Aljuhaishi und M. Alahmad: Analysis of batteries in the built environment - an overview on types and applications. In: IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing, , pp. 8113-8118, 2017.
- [Han16] J. Haase, M. Alahmad, H. Nishi, J. Ploennigs and K. F. Tsang: The IOT mediated built environment: A brief survey. In: IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics, pp. 1065-1068, 2016.
- [Hmd11] J. Haase, J. M. Molina and D. Dietrich: Power-Aware System Design of Wireless Sensor Networks: Power Estimation and Power Profiling Strategies. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 601-613, 2011.
- [Hoy16] M. B. Hoy: Smart Buildings: An Introduction to the Library of the Future. In: Journal of Medical Reference Services Quarterly, vol 35, no.3, pp. 326-331, 2016.
- [Ims17] T. Islam, S. C. Mukhopadhyay and N. K. Suryadevara: Smart Sensors and Internet of Things: A Postgraduate Paper. In: IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 3, pp. 577-584, 2017.
- [Khm17] B. Klauer, J. Haase, D. Meyer and M. Eckert: Wireless sensor/actuator device configuration by NFC with secure key exchange. In: IEEE AFRICON, Cape Town, pp. 473-478, 2017.
- [Lda11] S. McLaughlin, P. McDaniel and W. Aiello: Protecting consumer privacy from electric load monitoring. In: Proceedings of the 18th ACM conference on Computer and communications security - CCS '11, pp. 87-98, 2011.
- [Lhz16] Y. Liu, S. Hu and A. Y. Zomaya: The Hierarchical Smart Home Cyberattack Detection Considering Power Overloading and Frequency Disturbance. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 5, pp. 1973-1983, 2016.
- [Mc17] S. Mostafavi and R. W. Cox: An unsupervised approach in learning load patterns for non-intrusive load monitoring. In: IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), Calabria, pp. 631-636, 2017.
- [Omh15] K. Okada, K. Matsui, J. Haase and H. Nishi: Privacy-preserving Data Collection for Demand Response using Self-organizing Map. In: IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 978-1-4799-6648-6/15, pp. 652-657, 2015.
- [Rgh14] A. Ridi, C. Gisler and J. Hennebert: A Survey on Intrusive Load Monitoring for Appliance Recognition. In: 22nd International Conference on Pattern Recognition, Stockholm, pp. 3702-3707, 2014.

- [Rm13] M. Rathmair and J. Haase: Load Identification and Management Framework for Private Households. In: Proceedings of 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Vienna, AT, 2013.
- [Rud17] S. Rudolf: Akzeptanz und Kontrollverlust in Smart Home Umgebungen. Masterarbeit, HAW Hamburg, Online: <http://edoc.sub.uni-hamburg.de/haw/volltexte/2017/3711/>, 2017.
- [Th12] S. Tomic and J. Haase: Green Home – a concept and a study of grid responsiveness, Proceedings of Forum for Specification & Design Languages (FDL 2012), Vienna, AT, 2012.
- [Wby15] B. Wild, K. S. Barsim and B. Yang: A new unsupervised event detector for non-intrusive load monitoring. In: IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Orlando, FL, pp. 73-77, 2015.
- [Wsd13] Y. F. Wong, Y. Ahmet Şekercioğlu, T. Drummond and V. S. Wong: Recent approaches to non-intrusive load monitoring techniques in residential settings. In: IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), Singapore, pp. 73-79, 2013.
- [Ylf16] L. Yu, H. Li, X. Feng and J. Duan: Nonintrusive appliance load monitoring for smart homes: recent advances and future issues. In: IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 19, no. 3, pp. 56-62, June 2016.

Leitfaden für die Gestaltung von Unterstützungssystemen am Beispiel des Rückens

Ansatz, Beispiele und Vorgehensweise

J. Klabunde¹ und R. Weidner^{1,2}

¹ Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Jonas.Klabunde@hsu-hh.de, Robert.Weidner@hsu-hh.de

² Leopold-Franzens-Universität-Innsbruck, Professur für Fertigungstechnik,
Institut für Mechatronik
Robert.Weidner@uibk.ac.at

Kurzzusammenfassung

Einen Ansatz für die Unterstützung manueller Arbeitstätigkeiten stellen exoskelettale Systeme dar. Diese können je nach Gestalt und dem vorgesehenen Anwendungsbereich unterschiedliche Körperregionen unterstützen. Dieser Beitrag adressiert Ansätze für die Gestaltung von Rückenunterstützungssystemen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Anwendungs- und Belastungsszenarien. Dazu werden zunächst die Eigenschaften und Besonderheiten der Wirbelsäule beleuchtet und die daraus folgende Herausforderung bei der Auslegung von Unterstützungssystemen herausgestellt. Anschließend erfolgt die Klassifizierung unterschiedlicher Einsatzszenarien – in Industrie, Handwerk und Pflegebereich – entsprechend der vorherrschenden Lasten und Bewegungsarten. Entsprechend dieser Klassifizierung erfolgt die Ableitung von Handlungsempfehlungen, für die Gestaltung eines kontext-angepassten Unterstützungssystems.

Abstract

Mechanisms for the design of back support systems

One approach to supporting manual activities are exoskeletons. Depending on their shape and intended use, they can support different parts of the body. This paper addresses approaches for the design of back support systems depending on different application and load cases. First of all, the characteristics and peculiarities of the spine are examined and the resulting challenge in the design of support systems is emphasized. Subsequently, different application scenarios – In industry, craft and care sector - according to the prevailing loads and movement types are classified. According to this classification, the derivation of recommendations, for the design of a context adapted support systems.

Keywords

back support system, wearable robot, exoskeleton, human-machine-interaction, load handling

1 Einleitung

Aufgrund der gestiegenen Anforderungen in der Arbeitswelt, sowohl im Pflegesektor (Umlagerung von Patienten, Unterstützung beim Ankleiden, Hilfe bei der Körperpflege), als auch in der Industrie (höhere Stückzahlen, Arbeiten in Fertigungsstraßen mit sich wiederholenden, getakteten Aufgaben und komplexere

Produktionsstrategien, prozessbedingter Zwangshaltungen) leiden immer mehr Menschen unter muskuloskelettalen Erkrankungen. Häufig betreffen diese den Rücken [Kni15] auf Grund akuter Überbelastung oder falscher Körperhaltung [Arb07]. Weitere grundsätzliche Herausforderungen, resultieren

aus dem demografischen Wandel und der steigenden Lebensarbeitszeit. Einen Ansatz zur Entlastung der Mitarbeiter/innen stellen Exoskelette dar. Diese sind stetig zum einen auf die auszuführenden Aufgaben und Belastungsprofile hin anzupassen, z.B. Montagearbeiten in vorgebeugter Lage, oder die Warenkommissionierung, sowie zum anderen entsprechend der physiologischen Voraussetzungen des Menschen auszuliegen. Die hohe Flexibilität des Rückens nimmt eine besondere Stellung ein, da diese zur Ausführung natürlicher Bewegungen notwendig ist.

Dieser Beitrag stellt aufbauend auf grundlegenden Überlegungen einen Ansatz für einen Leitfaden zur Gestaltung von Rückenunterstützungssystemen vor. Zunächst werden Ansätze zur Rückenunterstützung verfügbarer Unterstützungssysteme analysiert. Hierbei soll grundlegend zwischen einer Unterstützung des muskulären und des muskuloskelettalen Bereichs unterschieden werden. Anschließend werden die auftretenden Belastungen in ausgewählten Szenarien der Industrie- und Pflege-sektoren klassifiziert. Darauf aufbauend folgt die Ableitung von Ansätzen für den Einsatz der unterschiedlichen Unterstützungsmöglichkeiten im Anwendungskontext. Diese Ansätze stellen eine Handlungsempfehlung für den Aufbau und die Gestaltung exoskelettaler System für die Unterstützung des Rückens dar.

2 Herausforderungen bei der Rückenunterstützung

Der menschliche Rücken erfüllt eine Vielzahl von Anforderungen. Zum einen dient er als zentrales Körperteil, um alle Extremitäten zu verbinden und auf die oberen Extremitäten, wie Arme und Kopf, auftretende Kräfte über die unteren Extremitäten – die Beine – in den Boden abzuleiten. Dazu muss die Wirbelsäule hohen Belastungen widerstehen und möglichst steif sein, aber auch dämpfende Eigenschaften vorweisen, um Lastspitzen aufnehmen zu können. Gleichzeitig ist es notwendig, dass eine hohe Flexibilität für die Ausführung verschiedenster Bewegungen, wie die Extension und

Rotation vorliegt. Dazu zählen neben einfachen Tätigkeiten, wie dem Sitzen, Gehen und Laufen auch komplexere Aufgaben, wie das Beugen und Drehen des Oberkörpers. Möglich ist diese Kombination aus verschiedenen Bewegungen nur durch den besonderen Aufbau der Wirbelsäule. Diese besteht aus 24 freien Wirbelkörpern, die über die Wirbelgelenke, die Zwischenwirbelscheiben (Discus intervertebralis), dem Bandapparat und den umgebenden Muskelsträngen verbunden sind und somit über eine Vielzahl an Freiheitsgraden verfügen [Sch07]. Darüber hinaus stellt die relative Längenänderung der Rückenaußenseite bei der Flexion, gegenüber dem aufrechten Stand die Auslegung von Unterstützungssystemen vor große Herausforderungen. Entsprechende, exemplarische Randbedingungen gilt es bei der Auslegung aufzugreifen und in der Funktionalität entsprechender Systeme zu implementieren.

2.1 Rückenlänge, Gelenkkette, Bewegungsfreiheit

Die Längenänderung des Rückens während der Flexion ist eine der vielen Besonderheiten und Herausforderungen, die der menschliche Rücken [Sch07] an die Systementwicklung stellt. Der Grund für die Längenänderung des Rückens begründet sich dadurch, dass die Drehpunkte benachbarter Wirbel, die sogenannten Momentanpole, zwischen dem Dornfortsatz und der Zwischenwirbelscheibe auf Höhe letzterer und somit innerhalb der Körpers liegen [Wot13, Riz77]. Diese Längung kann, wie in Abbildung 1 bis zu 13 cm betragen [Sch07]. An mögliche Unterstützungssysteme richtet sich somit die Herausforderung, bei gleichzeitiger Aufbringung der notwendigen Unterstützungsleistung über mögliche Schnittstellenpositionen, diese Längenänderung frei zu ermöglichen. Durch die Aneinanderreihung der 24 Wirbelkörper und entsprechenden Zwischenwirbelscheiben, ergibt sich eine komplexe kinematische Gelenkkette. Die Flexibilität und gleichzeitig hohe Steifigkeit dieser Gelenkkette beruht auf der hohen Anzahl an Verbindungen der einzelnen Wirbel durch Zwischenwirbelbänder und den an der

Wirbelsäule verlaufenden Muskelsträngen. Erreicht wird dieses durch die Ansteuerung beinahe jedes Freiheitsgrades in dieser Verkettung durch Muskel-Bänder-Kombinationen [Sch07].

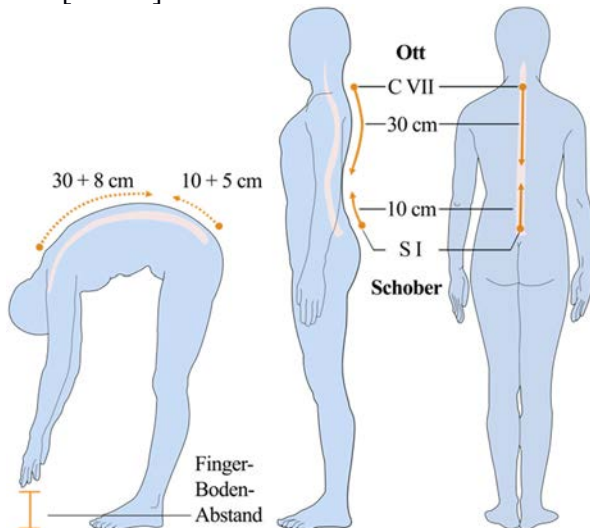


Abbildung 1: Messung der Ventralflexion von Brust- und Lendenwirbelsäule (vgl. [Sch07])

Die Unterstützung dieser Gelenkkette weißt eine hohe Komplexität auf, da eine Unterstützung aller einzelnen Freiheitsgrade auf Grund der Anzahl, Vielfältigkeit, geringen Platzverhältnisse (Höhe und Größe der Wirbelkörper) und der bereits beschriebenen Rückenlängenänderung nicht möglich ist. Vielmehr ist es erforderlich eine der Wirbelsäule äquivalente Struktur zu schaffen (z.B. [Mey16]), deren äußere Randbedingungen die Längenänderung, Flexibilität und Flexion nahezu deckungsgleich wiedergeben können.

2.2 Auftretende Kräfte und Lasten

Nach [Win09] und [Dri69] liegen ca. 68 % der Körpermasse ab der Hüfte aufwärts, mit einer Schwerpunktlage von ca. 60% der Oberkörperlänge über der Hüfte. Durch diese Massenverteilung und den sich daraus ergebenden Hebelarm, entsteht bereits bei geringer Oberkörpervorlage ein sehr hohes Drehmoment in der Hüfte. Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit des Schwerpunktabstandes x_1 vom Drehpunkt der Hüfte in Abhängigkeit des Flexionswinkels φ zur Vertikalen und den sich daraus ergebenden sinusförmigen Momentenverlauf,

bei einem gleichzeitig hohen Flexionsbereich, bis zu 100° zwischen Oberkörper und den unteren Extremitäten [Sch07].

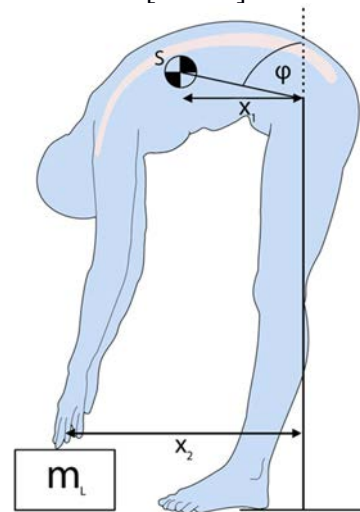


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Schwerpunktlage S in Abhängigkeit vom Flexionswinkel

Hinzu kommt bei der Handhabung von Lasten, hier als Masse m_L mit Abstand x_2 zur Hüfte, noch ein zusätzliches Drehmoment, dass im Hüftgelenk aufgebracht werden muss. Dieses Moment ist abhängig von der zu handhabenden Masse, der Höhe von und der Höhe auf die das Objekt bewegt werden soll und den physiologischen Voraussetzungen des Menschen. Die auftretende Belastung beschränkt sich jedoch nicht ausschließlich auf ein Lastmoment und entsprechendes Gegenmoment an der Hüfte, sondern beinhaltet zusätzlich die lastinduzierte Flexion des Rückens ähnlich einem Biegebalken. Die dadurch auftretende Belastung in der Wirbelsäulenmuskulatur ist ebenfalls ein zu adressierender Punkt in der Unterstützungsstrategie.

3 Analyse verfügbarer Systemansätze

Zurzeit ist eine Vielzahl verschiedener Systeme für die technische Unterstützung des Menschen in Beruf und Alltag auf dem Markt verfügbar, sowie in der Erprobung und Entwicklung [Bio18, Lae16, Cor18, Ott18]. Grundsätzlich haben Exoskelette verschiedene Zielsetzung und unterstützen unterschiedliche Körperregionen. Eine grundlegende Einteilung für Unterstützungssysteme

erfolgt nach [Kar18] in Systeme, die Bewegungen ermöglichen, befähigen, erleichtern, stabilisieren oder auch hinzufügen, sowie deren Unterscheidung nach adressiertem Körperbereich. Weiterhin lassen sich die Systeme entsprechend der zeitlich-räumlichen Beziehung, der Form der Kopplung und der Kontrolleinheit klassifizieren (vgl. [Kar15]). Dazu zählen Systeme, die nur bestimmte Tätigkeiten und somit Körperregionen unterstützen, z.B. [sui18], und Systeme, die den gesamten Körper unterstützen sollen (z.B. [Cyb18]). Letztere werden in diesem Beitrag nicht weiter berücksichtigt, da einerseits eine Nutzung in einer hohen Bandbreite an Anwendungsfällen durch die auftragende Kinematik und das hohe Gewicht nicht möglich ist. Da nur ein geringer Anteil der unterstützten Bewegungen bei spezifischen Aufgaben genutzt wird, rechtfertigt dies nicht die höheren Kosten. Somit ist es deutlich wirtschaftlicher gegenüber einem komplexen und ganzheitlichen Systemansatz, ein auf den konkreten Anwendungskontext angepasstes System zu verwenden.

Voreinteilung von Systemansätzen

Die berücksichtigten Systemansätze lassen sich Grundlegend in zwei Kategorien aufteilen: passive Systeme, die ohne separate Energieversorgung für die Unterstützungsleistung auskommen, z.B. [sui18], und aktive Systeme, deren Unterstützungsleistung aus einer integrierten Energiequelle bezogen wird, z.B. [Bio18]. Eine Unterkategorie der passiven Systeme sind Systeme, die für die Aufbringung der Unterstützungsleistung keine Energieversorgung benötigen, aber für die Aktivierung in bestimmten Anwendungsszenarien eine aktive Steuerung für die Systemanpassung verwenden (vgl. [Lam18]).

Strukturelle Einteilung

Als weitere Unterteilungsmöglichkeiten bietet sich die in Abbildung 3 dargestellte Einteilung in vier Quadranten an. Die vertikale Achse berücksichtigt hierbei die vorliegende Struktur des Systems. Diese kann weich, bestehend aus elastischen Materialien, Geweben und Gurten, z.B. textilbasierte Exoskelette, [Cor18, Har18,

Xil17], sein, oder aus harten Strukturelementen bestehen, z.B. Starrkörperexoskelette, [Pan16, Bio18, Cyb18, Mar18]. Entscheidend ist hier die adressierte Körperregion, die erwarteten Lasten und der notwendige Unterstützungsgrad, die mögliche Bewegungseinschränkung und vertretbare Störkontur, die den Einsatz der unterschiedlichen Strukturelemente stark beeinflusst. Der Einsatzbereich textilbasierter Exoskelette beschränkt sich häufig auf die Gravitationskompensation der eigenen Körpermasse und Entlastung der Muskeln, weniger auf die Aufnahme zusätzliche Lasten und deren Handhabung [Cor18]. Starrkörperexoskelette sind hier deutlich vielseitiger aufgestellt, zusätzliche Lasten aufzunehmen und diese um die zu entlastenden Gelenke in deutlich stabilere Körperregionen wie beispielsweise die unteren Extremitäten umzuleiten [Ott18].

Systematischer Gesamtaufbau

Als weiteres Einteilungskriterium, horizontale Achse in Abbildung 3, ist die Unterscheidung des Gesamtaufbaus in eine dem menschlichen Körper ähnlichen, biomechanisch äquivalenten Struktur oder einer Endeffektorstruktur zu treffen. Erstere sind Systeme, die nah am Körper verlaufen und dem menschlichen Skelett nachempfunden sind [Inn18, Ott18, Lae16, sui18], letztere sind Systeme, die beispielsweise über einen dritten Arm verfügen [Rob18, Sys18, Str18, Mar18, Rex18].

Textilbasierte Systeme bieten den großen Vorteil eines geringen Gewichtes durch die leichten Materialien und ebenfalls eine geringe Größe und somit kaum vorhandener Störkonturen. Grund hierfür ist der körpernahe Sitz der Strukturelemente, der es ermöglicht die Systeme auch unter Kleidung [Cor18] zu tragen. Besonders bei Arbeiten in schwer zugänglichen Bereichen ist dieser Vorteil von großem Nutzen. Etwas komplexer hingegen ist die Implementierung eines solchen Systems. Da die weichen Materialien lediglich Zugkräfte übertragen können, ist nahezu ausschließlich eine Verwendung entlang der zu entlastenden Muskelstränge möglich. Eine Entlastung der Gelenke, in diesem Kontext der

Wirbelsäule und Zwischenwirbelscheiben, ist nicht möglich, denn die körpereigene Skelettstruktur dient dem Unterstützungssystem als funktionell tragender Bestandteil. Diese besondere Eigenschaft der weichen Unterstützungssysteme beschränkt deren Einsatzbereiche somit primär auf die muskuläre Entlastung gegen die auftretenden Lasten, hervorgerufen von der eigenen Körpermasse und nicht durch die Handhabung von zusätzlichen Lasten.

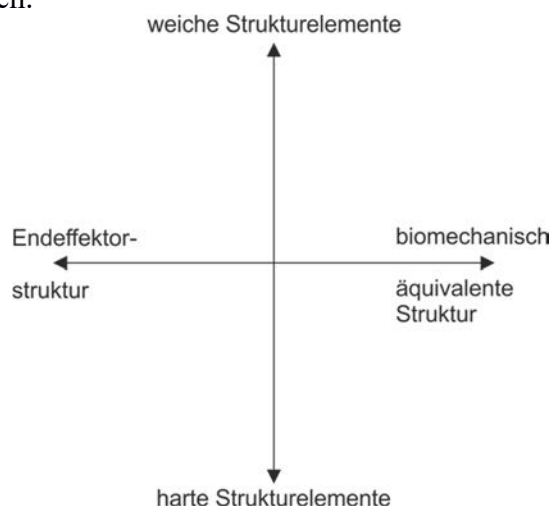


Abbildung 3: Einteilungsschema für technische Unterstützungssysteme

Die in Abschnitt 2 herausgestellten Besonderheiten des menschlichen Rückens stehen in enger Wechselwirkung mit den Herausforderungen und der Konzeptionierung von unterstützenden Systemen. Im Einsatzbereich der weichen Exoskelette ist die hohe Anzahl an Freiheitsgraden der Wirbelsäule eines der Kernprobleme. Das Überspannen des Rückens entlang der Wirbelsäule zur Extension des Rückens führt zu einer Entlastung der Rückenstrecker, impliziert aber eine deutlich höhere Last in den Muskelsträngen entlang der Wirbelsäule, um deren Stabilität zu gewährleisten und ein Ausknicken zu verhindern [Mey16]. Die Extension der Hüfte mit einem weichen System ist ebenfalls nur durch das Überspannen der Muskelgruppen im unteren Rücken zu den unteren Extremitäten möglich. Dadurch erfolgt jedoch keine Entlastung des Lendenwirbelsäulenbereichs und den nach [Kni15] auftretenden Erkrankungen wird nicht vorgebeugt.

Im Gegensatz zu textilbasierten Systemen, bieten Starrkörperexoskelette den grundsätzlichen Vorteil, dass die verwendeten Strukturelemente neben Zugbelastungen auch Druck-, Biege- und Torsionsbelastungen aufnehmen können. Ein derartiges System trägt sich dadurch selbst und belastet nicht zusätzlich die Skelettstruktur des Menschen. In Folge dessen kann neben einer muskulären Entlastung ebenfalls eine Entlastung der Gelenke und in diesem Anwendungsfall der Zwischenwirbelscheiben erfolgen. Durch die steife und tragfähigere Struktur ist ein aktives System deutlich leichter zu implementieren, da die Aktoren an fest definierten Gelenken vorgesehen werden können. Daraus resultieren höhere Unterstützungsleistungen und ein zusätzliches Handhabungsgewicht, wie in Abschnitt 4 beschrieben. Der Trade-off hingegen führt zu einem erhöhten Systemgewicht und ein stärker aufbauenden System, dass die Anwendung in räumlich begrenzten Bereichen einschränkt. Zusätzlich ist es hier von besonderer Wichtigkeit, dass die im System vorhandenen Gelenkpositionen mit denen des menschlichen Körpers deckungsgleich sind, um Störbelastungen in den Gelenken zu vermeiden. Im Anwendungskontext der Rückenunterstützung ist bei der Gelenkposition auf eine freie Beweglichkeit der Hüfte, sowie den in Abschnitt 2.1 erwähnten Bewegungsfreiheiten der Wirbelsäule zu achten. Viele der bereits in der Industrie vorgestellten oder sich in der Entwicklung befindenden Systeme, wie bspw. [Lae16], erzeugen zwischen einem Anbindungspunkt am Oberkörper und einem weiteren an den unteren Extremitäten ein Drehmoment und somit eine Extension des Oberkörpers. Diesem Systemkonzept mangelt es, eine belastungsinduzierte Krümmung des Rückens auszugleichen und somit eine inhomogene Belastung der Zwischenwirbelscheibe zu verringern.

4 Klassifizierung von Anwendungs- und Belastungsszenarien

Neben der Klassifizierung von Unterstützungssystemen in einem Periodensystem und deren Unterstützungsbereichen am menschlichen Körper (vgl. [Kar18]), lassen

sich ebenfalls die berücksichtigten Anwendungsfelder klassifizieren. Wie einleitend beschrieben, verteilt sich der Bedarf an technischen Unterstützungssystemen auf einen weiten Anwendungsbereich. Dazu zählen unter anderem der industrielle Sektor, wie beispielsweise Montage, Warenkommissionierung und Instandhaltungsarbeiten, sowie der Pflegesektor, mit der Betreuung von Patienten, deren Umlagerung und Unterstützung im Alltag. Die hohe Bandbreite an Anwendungsfeldern führt zu einer großen Vielfalt an unterschiedlichen Anwendungsszenarien, in denen eine Unterstützung des Rückens muskuloskelettalen Erkrankungen vorbeugen kann. Da diese Variationsbreite in der Anwendung auch zu einer Vielzahl an möglichen Systemansätzen führt, ist es zunächst sinnvoll diese Anwendungs- und auch Belastungsszenarien zu kategorisieren, um die Auswahl eines adäquaten Ansatzes für ein Kontext angepasstes System zu vereinfachen. Die Klassifizierung erfolgt hierbei anwendungsneutral nach der zu handhabenden Last und der Bewegungsart.

Klassifizierung nach Lasthandhabung

Bezogen auf die Lasthandhabung kann eine Unterscheidung zwischen Tätigkeiten mit Last und ohne Last getroffen werden. Tätigkeiten mit Last sind beispielsweise Montageprozesse in der Industrie, wo neben Bauteilen auch Handwerkzeuge mit einem erhöhten Gewicht gehandhabt werden. Von Anwendungsfällen ohne Last kann gesprochen werden, wenn Komponenten oder Werkzeuge mit geringem Gewicht – die keinen signifikanten Unterschied gegenüber der vorliegenden Belastung darstellen – gehandhabt werden oder lediglich Wartungsarbeiten, Inspektionen oder im Pflegebereich betreuende Tätigkeiten durchgeführt werden. Diese lassen sich entsprechend Abbildung 4 auf der horizontalen Achse einordnen.

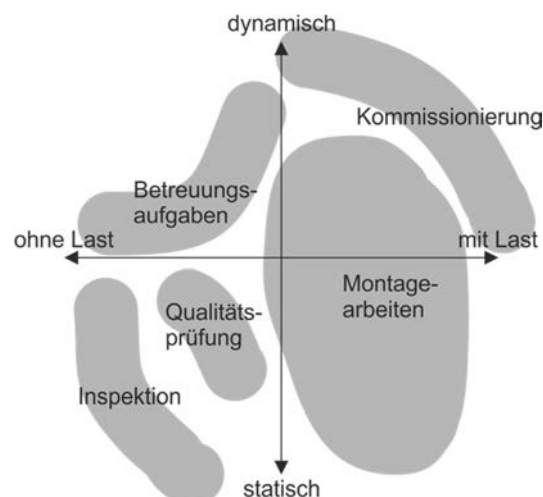


Abbildung 4: Vier-Quadranten-Schema zur Anwendungs- und Belastungsklassifizierung, mit beispielhaften Szenarien

Klassifizierung nach Bewegungsart

Die zweite Achse, die das in Abbildung 4 dargestellte Vier-Quadranten-Schema aufspannt, teilt die Bewegungsarten ein. Die Einordnung möglicher Tätigkeiten erfolgt zwischen statischen und dynamischen Bewegungen. Statische Anwendungen klassifizieren sich durch einen geringen Bewegungsumfang oder nur sehr langsame Bewegungen, bei denen beispielsweise eine vorgebeugte Haltung eingenommen und diese für eine gewisse Zeit beibehalten wird. Typische Tätigkeiten sind Montageaufgaben in der Automobilbranche aber auch Interaktionen zwischen Pflegepersonal und betreuter Person. Eine Einordnung in Richtung der dynamischen Anwendungen erfolgt beispielsweise bei Kommissionieraufgaben, in denen mit hoher Wiederholrate im Wechsel eine aufrecht stehende und eine vorgebeugte Haltung eingenommen werden muss. Dies erfolgt häufig in Kombination mit einer aufgenommenen Last, die platziert wird. Die in der Industrie und im Pflegebereich auftretenden Anwendungs- und Belastungsszenarien lassen sich in die vier Quadranten, des in Abbildung 4 gezeigten Vier-Quadranten-Schemas, einordnen und ermöglichen es so, eine vereinfachte Darstellung der Belastungen, reduziert auf zwei elementare Kriterien, zu realisieren. Dazu zählen die beispielhaft dargestellten Bereiche für mögliche Anwen-

dungen. So erstrecken sich Kommissionieraufgaben im dynamischen Bereich über einen weiten Lastbereich, wobei hohe Lasten gegenüber niedrigen Lasten mit geringerer Frequenz kommissioniert werden, da sich diese weniger dynamisch handhaben lassen. Inspektionsaufgaben, die haptische Fähigkeiten fordern, ordnen sich im dritten Quadranten ein, da kein zusätzliches Werkzeug benötigt wird. Auf Basis dieser Einteilung ist es möglich einen kontextangepassten und belastungsorientierten Ansatz für die Erstellung eines Unterstützungssystems auszuwählen.

5 Ansatz für einen Gestaltungsleitfaden

Abbildung 5 zeigt im Rahmen eines Ansatzes für einen Gestaltungsleitfaden die zu beachtenden Einflussfaktoren bei der Auslegung eines Unterstützungssystems. Diese lassen sich in verschiedene Einflussbereiche clustern. Als Hauptadressat des Systems besteht zwischen diesem und dem Menschen eine hohe Wechselwirkung. Dessen Vorgaben – physiologische Voraussetzungen, anthropometrischen Daten, Bewegungsmuster und weitere – sind von inhärenter Wichtigkeit, um beispielsweise die richtigen Gelenkpositionen, notwendige Unterstützungsleistung und Flexibilitätensicherzustellen. Zusätzlich spielt das Arbeitsumfeld eine ausschlaggebende Rolle. Entsprechend der Arbeitsraumgestaltung, klimatischen Bedingungen (bspw. Temperatur und Luftfeuchtigkeit und damit verbundene Transpiration) aber auch sozialen Faktoren und äußeren Einflussfaktoren ist die Struktur des Unterstützungssystems anzupassen. Entsprechend der vorliegenden Tätigkeit, nach Abbildung 4, ergibt sich die notwendige Struktur (starr oder textilbasiert), die verwendete Aktuatorik (aktiv oder passiv) aber auch die Sensorik und Energieversorgung. Diese Faktoren stehen in enger Kopplung mit dem Belastungsszenario und hängen von der Lastvarianz, Bewegungsvarianz aber auch direkt von der durch die Tätigkeit belasteten Körperregion ab. Das Anwendungsszenario mit der Zeitdauer, Tätigkeitsdichte und dem Lastprofil beeinflusst ebenfalls signifikant die technologischen Faktoren.

Unter Berücksichtigung der in Abbildung 5 dargestellten Einflussfaktoren, bietet Abbildung 6 einen Ansatz für einen Leitfaden zur Gestaltung eines Unterstützungssystems. Ausgehend von der Aktivität erfolgt die Aufnahme des Bewegungsmusters, sowie des Belastungsprofils. Die Berücksichtigung der physiologischen Voraussetzungen des Menschen haben auch hier einen hohen Einfluss. Die aus den Labor- und Feldtests erlangten Parameter fließen in die möglichen Unterstützungsansätze (große Box) ein. Unter Berücksichtigung der grundlegend vorhanden Technologien und bspw. Umfeldfaktoren (vgl. Abbildung 5) lassen sich die idealen Kraftpfade so wie die dafür in Frage kommenden Prinzipien und Mechanismen zu einem Unterstützungskonzept entwickeln.

Durch nachfolgende Schritte, wie weiteren Feldtests erfolgt die Überführung des konzeptionierten Funktionsmusters in einen Prototyp des potentiellen Unterstützungssystems.

Die Analyse bisher auf dem Markt oder zurzeit in der Entwicklung befindlicher Systeme zeigt eine starke Tendenz zu globalen Systemansätzen, die in ihrem Wirkansatz die Wirbelsäule als eine zusammenhängende Struktur berücksichtigen, gegenüber lokalen Systemansätzen, die auf die spezifischen Gelenke und Freiheitsgrade eingehen. Eine Unterstützung einzelner Wirbelkörper, bzw. Freiheitsgrade wie in [Mey16], ist durch die hohe Anzahl an Gelenken und somit Aktoren, und räumliche Limitationen nur schwer umsetzbar. Alternativ bietet es sich an, entweder textilbasiert die Hauptmuskelgruppen zu unterstützen oder durch ein Starrkörpersystem die auftretenden

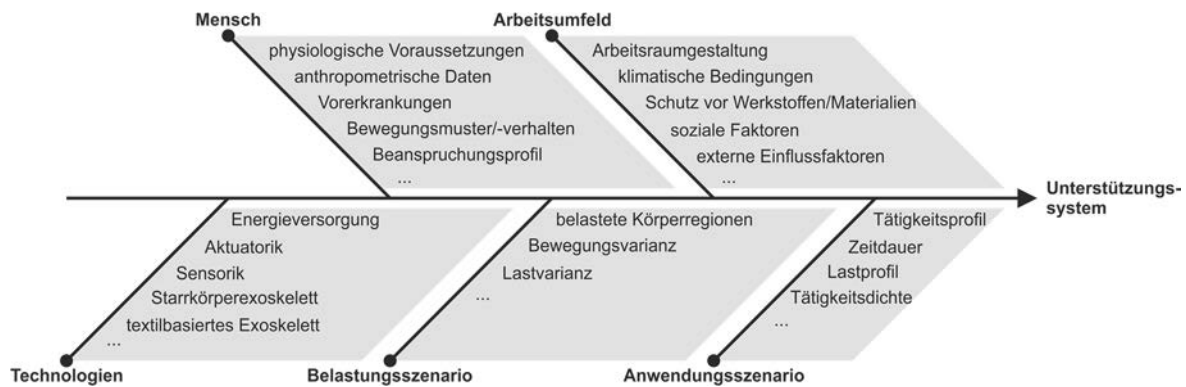


Abbildung 5: Einflussfaktoren auf die Gestaltung eines Unterstützungssystems

Lasten bereits vor der Wirbelsäule aufzunehmen und deutlich darunter in den Körper, bzw. die unteren Extremitäten einzuleiten. Da bei der Rückenunterstützung bereits durch die Körpermasse hohe Lasten auftreten (vgl. Abschnitt 2.2), müssen für den Einsatz eines

textilbasierten Systems bereits Gewebe eingesetzt werden, die eine hohe Festigkeit aufweisen. Die hohe Festigkeit führt allerdings durch die progressive Kennlinie zu einer geringen Flexibilität und somit einem geringfügigen Arbeitsbereich in dem sich die Unterstützungsleistung aufbaut. Dies resultiert in einer festen Unterstützungsposition, die sich höchstens manuell durch ein Verkürzen der Textilelemente verändern lässt. Ein weiterer Grund für diese Einschränkung ist die in Abschnitt 3 beschriebene Funktionsweise und die ausschließliche muskuläre Entlastung. Da die meisten textilbasierten Systeme eine geringe Flexibilität in den anwendungsbezogenen Parametern, wie beispielsweise Unterstützungsleistung und Bewegungsbereiche, aufweisen, eignen sich diese primär für statische Anwendungen ohne zusätzliche Lasten, also den dritten Quadranten in Abbildung 4.

Werden dynamische Anwendungen oder solche mit (variierendem) Handhabungsgewicht adressiert, ist der Einsatz von aktiven Starrkörpersystemen vorzuziehen. Diese decken alle vier Quadranten in Abbildung 4 durch die hohe Flexibilität in der Unterstützungsleistung und die gleichzeitige muskuloskelettale Entlastung ab. An unterschiedliche Handhabungsgewichte lässt sich durch die aktive Steuerung und Aktuierung anwendungsbezogen die Unterstützungsleistung anpassen. Weiterhin erfolgt keine Einschränkung des Bewegungsfreiraumes, da die genutzten Antriebe über einen weiten Bereich die benötigte Leistung aufbringen können.

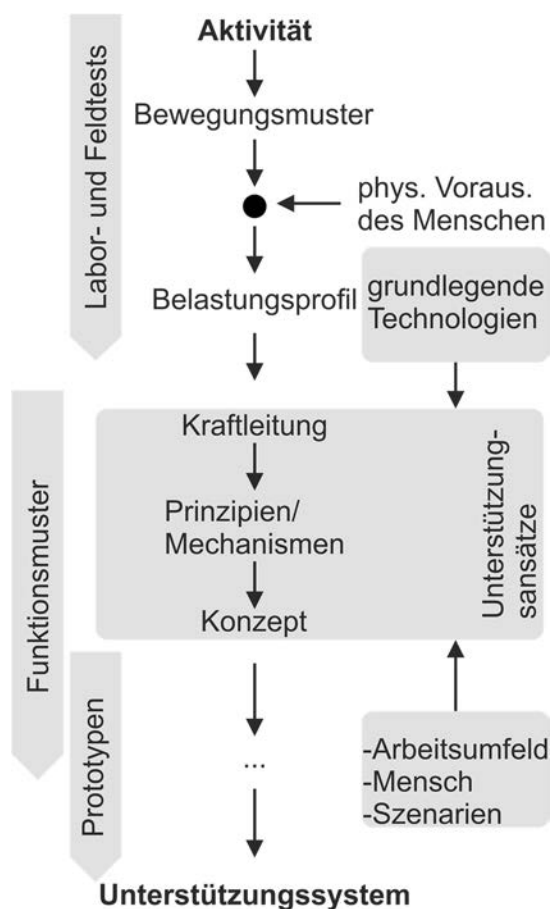


Abbildung 6: Ansatz eines Leitfadens für die Gestaltung eines Unterstützungssystems

Der erste Quadrant aus Abbildung 3 ordnet sich somit dem dritten Quadranten aus Abbildung 4 zu, während sich der dritte und vierte Quadrant aus Abbildung 3 allen Quadranten in Abbildung 4 zuordnen lässt. Eine Abdeckung des zweiten Quadranten in Abbildung 3 ist im Bereich der Rückenunterstützung nicht gegeben. Hier fällt die Einteilung auf die Unterstützung der Extremitäten in weiteren Anwendungsfeldern zurück.

6 Gestaltungsbeispiele

Die in Abbildung 5 dargestellten Einflussfaktoren sollen nachfolgend für die Implementierung eines Rückenunterstützungssystems beispielhaft beleuchtet werden.

Wichtigster Bereich ist hierbei der Mensch, bzw. der Anwender. Hier gilt es, die anthropometrischen Parameter zu berücksichtigen. Dazu zählen die Rückenlänge und -längenänderung (vgl. Abschnitt 2.1) aber auch die Flexibilität im Bereich der Flexion und Rotation. Diese können durch Vorerkrankungen eingeschränkt sein, die eine gesonderte Unterstützung oder zusätzliche Unterstützungsleistung benötigen. Am Beispiel des Hebens von Gegenständen, sind verschiedene Bewegungsmuster möglich (vgl. [Fro97]), deren Ausführung je nach Nutzer möglichst uneingeschränkt durchführbar sein sollen oder ggf. unterstützt werden. Im Einflussbereich des Belastungs- und Anwendungsszenarios ist die Art der Last und der für die Aufgabe durchzuführenden Bewegung zu bestimmen (Abschnitt 4). Hiernach richtet sich der Einsatz bestimmter, aktiver oder passiver, Aktuatorik und somit Sensorik aber auch der Aufbau der Strukturelemente und die Kombination aus lasttragenden Starrkörperelementen und flexiblen Textilelementen. Abhängig vom Arbeitsumfeld darf ein solches System keine Störkontur darstellen aber auch nicht mit externen Einflussfaktoren in Widerspruch stehen. Somit kann ein Unterstützungssystem den Eindruck einer krankheitsbedingten Notwendigkeit gegenüber einer vorbeugenden Maßnahme erwecken. Das Design des Systems hat hier einen entscheidenden Einfluss.

Die Anwendung des Leitfadens beschränkt sich nicht ausschließlich auf die Rückenunterstützung. Am Beispiel der Entlastung der oberen Extremitäten bei Arbeiten in und über Kopfhöhe, bspw. [Ott18], werden auch hier einige Punkte exemplarisch aufgegriffen. Besonders die Wechselwirkungen zwischen Anwender und System sind hier entscheidend. Durch die Anbindung des Systems an den Menschen treten zusätzliche Herausforderungen durch die Veränderung der Armumfänge infolge der Muskelkontraktion auf. Zusätzlich verändert sich die Gelenkachse des Ellenbogens und der Gelenkpunkt der Schulter während der Bewegung [Sch07]. Das System muss hierbei besonders auf diese Veränderungen angepasst sein, um mögliche Querkräfte auf die Gelenke zu verhindern. Der Einsatz weicher, textiler Komponenten muss hier unter dem Stichwort Lastumleitung mit starren Elementen kombiniert werden. Zusätzlich muss das Arbeitsumfeld je nach Anwendungsszenario gesondert berücksichtigt werden, um die Zugänglichkeit am Arbeitsplatz zu gewährleisten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz für einen Leitfaden zur Gestaltung von Rückenunterstützungssystemen vorgestellt, der es ermöglicht Systemansätze für ein technisches Unterstützungssystem im Anwendungskontext und vor allem unter Berücksichtigung des Anwenders zu erstellen. Ausgehend von den Herausforderungen des menschlichen Rückens, wurden verschiedene, auf dem Markt verfügbare Systemansätze analysiert. Hierzu zählen neben aktiven und passiven Lösungsansätzen auch die strukturell unterschiedlichen Systeme aus textilen und starren Strukturelementen. Von Seiten des Anwendungskontextes wurden die adressierten Bereiche exemplarisch in eine Systematik eingeordnet, die es ermöglichen soll aus bestimmten Anwendungsfällen eine Vorauswahl der Systemstruktur zu treffen. Textilbasierte Systeme eignen sich hierbei vorwiegend für den Einsatz in statischen Anwendungen ohne oder nur mit geringen Las-

ten, während sich Starrkörpersysteme für Anwendungen mit Lasten und dynamische Tätigkeiten in unterschiedlichen Bewegungsräumen eignen. Die weiteren relevanten Einflussgrößen wurden ebenfalls angeführt und sollen eine kontext-angepasste Implementierung des Unterstützungssystems erleichtern.

Weiterführend wurde auf die Anwendung des Leitfadens an anderen Körperregionen eingegangen. In naher Zukunft wird die Prinzipvalidierung an unterschiedlichen, verfügbaren

Systemen durchgeführt und weitere, auftretende Einflussfaktoren ergänzt und die bestehenden weiter spezifiziert. Zusätzlich soll die Individualisierbarkeit von Exoskeletten im Hinblick auf interindividuelle Unterschiede und die Auswirkungen verschiedener Systemausführungen auf Bewegungsabläufe und physiologische Veränderungen, auch im Umfang längerer Nutzungsdauern, adressiert werden.

Literatur

- [Arb07] Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz: Gefahren und Risiken bei der manuellen Handhabung von Lasten am Arbeitsplatz. 2007.
- [Bio18] German Bionic: Cray X Back Support System. 2018. URL: <https://www.germanbionic.com/crayx/> (besucht am 13. 08. 2018).
- [Cor18] Morita Holdings Corporation: rakunie Lumbar Support Wear. 2018. URL: <http://www.morita119.com/en/products/supportwear/rakunie/001.html> (besucht am 13. 08. 2018).
- [Cyb18] Cyberdyne: Cyberdyne HAL suit. 2018. URL: <https://www.cyberdyne.jp/english/> (besucht am 13. 08. 2018).
- [Dri69] R. Drillis, R. Contini und M. Bluestein: Body segment parameters. New York University, School of Engineering und Science, 1969.
- [Fro97] A. Fromme, R. Reer, A. Pichol, J. Jerosch: Ist die „orthopädisch“ richtige Hebe-technik aus kardiopulmonaler und metabolischer Sicht sinnvoll? In: Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete 135.02, S. 157-161, 1997.
- [Har18] Harvard: Harvard Biodesign Lab Soft Exosuits. 2018. URL: <https://biodesign.seas.harvard.edu/soft-exosuits> (besucht am 23. 08. 2018).
- [Inn18] Innophys: INNOPHYS Innovation Physical Support. 2018. URL: <https://innophys.jp/> (besucht am 23. 08. 2018).
- [Kar15] A. Karafillidis und R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: Technische Unterstützungssysteme, Springer-Verlag, Berlin, S. 66-89, 2015.
- [Kar18] A. Karafillidis und R. Weidner (Hrsg.): Developing Support Technologies. Integrating Multiple Perspectives to Create Assistance That People Really Want. Springer, 2018, S. 89-105, 2018.
- [Kni15] F. Knieps, H. Pfaff, BKK Dachverband: BKK Gesundheitsreport 2015: Langzeiterkrankungen. In: Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft (2015).
- [Lae16] Laevo: laevo back support system. 2016. URL: <http://en.laevo.nl/> (besucht am 14. 08. 2018).
- [Lam18] E. P. Lamers, A. J. Yang und K. E. Zelik: Feasibility of a biomechanically assistive garment to reduce low back loading during leaning and lifting. In: IEEE Transactions on Biomedical Engineering 65.8, S. 1674-1680, 2018.
- [Mar18] Lockheed Martin: Lockheed Martin Fortis Industrial Exoskeleton. 2018. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html> (besucht am 13. 08. 2018).

- [Mey16] T. Meyer und R. Weidner: Exoskelettale Wirbelsäulenstruktur zur Aufnahme und Umleitung von Kräften zur Rückenentlastung. In: Proceedings of the 2nd Transdisziplinäre Konferenz “Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, S. 567-576, 2016.
- [Ott18] B. M. Otten, R. Weidner und A. Argubi-Wollesen: Evaluation of a novel active exoskeleton for tasks at or above head level. In: IEEE Robotics and Automation Letters 3.3, S. 2408-2415, 2018.
- [Pan16] Panasonic: Panasonic Power Assist Suit. 2016. URL: https://bettertopia.panasonic.com/global/detail/assist_robot/ (besucht am 13. 08. 2018).
- [Rex18] Rexbionics: REXBIONICS REIMAGINING REHABILITATION. 2018. URL: <https://www.rexbionics.com/> (besucht am 23. 08. 2018).
- [Riz77] M. A. Rizzi, B. Covelli, J. Bivetti, B. Lüthi: Biomechanisches Verhalten der Wirbelsäule-Segmente. In: Archiv für orthopädische und Unfall-Chirurgie, mit besonderer Berücksichtigung der Frakturenlehre und der orthopädisch-chirurgischen Technik 87.1, S. 111-116, 1977.
- [Rob18] RoboMate: RoboMate Modular exoskeleton for industry. 2018. URL: <http://www.robo-mate.eu> (besucht am 23. 08. 2018).
- [Sch07] M. Schünke, E. Schulte, U. Schumacher, M. Voll, K. H. Wesker: Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 2007.
- [Str18] StrongArm: StrongArm. 2018. URL: <https://www.strongarmtech.com/> (besucht am 23. 08. 2018).
- [sui18] suitx: backX Back Support System. 2018. URL: <https://www.suitx.com/backx> (besucht am 13. 08. 2018).
- [Sys18] EXHAUSS System: EXHAUSS The first exoskeleton for everyday’s and today’s tasks. 2018. URL: <http://www.exhauss.com/> (besucht am 23. 08. 2018).
- [Win09] D. A. Winter: Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley & Sons, 2009.
- [Wot13] D. Wottke: Die große orthopädische Rückenschule: Theorie, Praxis, Didaktik. Springer-Verlag, 2013.
- [Xil17] M. Xiloyannis, L. Capello, K. Binh, C. W. Antuvan, L. Masia: Preliminary design and control of a soft exosuit for assisting elbow movements and hand grasping in activities of daily living. In: Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering 4, S. 2055668316680315, 2017.

***evenCARE* - unabhängig im Alltag**

Ein intelligentes System zur Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität hilfebedürftiger Menschen

A. Laukart und K. Mattern

kontakt@evencare.de

Kurzzusammenfassung

Demografischer Wandel, erhöhte Mobilität im Beruf, wachsende Distanz zwischen Haushalten Pflegender und Pflegebedürftiger sowie Fachkräftemangel in der Pflege machen die Fragen nach technischen Unterstützungssystemen relevanter. Dabei stehen drei Überlegungen im Fokus: (1) selbstbestimmte Lebensführung für Pflegebedürftige; (2) Entlastung für Pflegende sowie (3) technische Anpassung mit minimalinvasiver Umsetzung im Wohnumfeld.

Darauf abgestimmt wurde *evenCARE* entwickelt: ein System für die Umsetzung technologieübergreifender Mehrwertdienste für Pflegebedürftige sowie Pflegende.

Kabellose Funk-Elemente realisieren Funktionen im Bereichen Hausautomation, Notrufsystem, Sicherheit, Vitalität und Kommunikation realisiert. Durch Auslagerung aller Serviceleistungen an eine Servicestelle wird hohe Benutzerfreundlichkeit erzielt. Zudem bietet *evenCARE* die Flexibilität, auf veränderte Lebensbedingungen gezielt zu reagieren.

Abstract

***evenCARE* – independent in everyday life: An intelligent system for increasing and sustaining the quality of life of individuals in need of care**

Demographic changes, increased mobility requirements in the work place, growing distance between caregivers and those individuals who need care as well as a noticeable shortage of care professionals make the question about the need of technical support systems even more relevant.

Thereby, three considerations need attention: (1) Self-determined, life choices for those needing care; (2) Assistance for caregivers as well as; (3) Technical support systems must be developed to be minimally invasive within ones living environment.

evenCARE has been developed according to these requirements: A system for the implementation of cross-technological, value-added services for those individuals in need as well as caregivers. Wireless elements effectively achieve operations in the areas of the house automation, emergency call systems, security, liveliness and communication. By outsourcing all services to a service center, a high level of user-friendliness is achieved. In addition, *evenCARE* offers the flexibility to respond to changing living conditions.

Keywords

Assistenzsystem, Benutzerfunktionen, privates Umfeld, Pflege, Support

1 Einleitung

In dem formulierten Anspruch „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“ klingen Herausforderungen an, denen sich Entwickler solcher Unterstützungssysteme offensiv stellen müssen. Ganz umfassend ausgedrückt, besteht die Aufgabe

darin, spezifischen menschlichen Bedürfnissen gerecht zu werden und damit Lebensqualität nachhaltig zu erhalten bzw. zu steigern. Am Anfang jeder Produktentwicklung stehen daher Bedürfnis- und Bedingungsanalysen, die in konzeptionelle Überlegungen in Form

einer Fragestellung und schließlich in technologische Umsetzungen im Anwendungsfeld münden.

Lebensqualität in der Gegenwart ist in erster Linie eng verbunden mit dem Thema Gesundheit, da jegliche körperliche und geistige Einschränkung sich negativ auf die persönliche Lebensführung auswirkt. Durch den Verlust von Autonomie, Mobilität und sozialer Teilhabe wird Lebensqualität nachhaltig gemindert, bis hin zu existenziellem Versorgungsmangel. Werden die wichtigsten menschlichen Bedürfnisse im Rahmen eines selbstbestimmten Lebens nicht mehr gestillt, steigt die Abhängigkeit von externer Versorgung und den Bedingungen, unter denen diese Versorgung stattfindet. Versorgung beinhaltet sowohl materielle als auch soziale Aspekte: die Bereitstellung lebensnotwendiger Ressourcen ebenso wie menschliche Zuwendung und Fürsorge. Durch soziale Dependenz rückt die Frage nach den Betroffenen in den Mittelpunkt: Welche Akteure stehen in einem Versorgungsverhältnis zu einander und wie gestaltet sich dieses Verhältnis in der sozialen Realität? Fragen, die die Struktur der Bevölkerung und die ihr zur Verfügung stehenden Ressourcen betreffen.

Gesundheit und Lebensqualität sind Themen, die in unserer gegenwärtigen Gesellschaft vorrangig mit dem (Lebens-)Alter in wechselseitigem Zusammenhang stehen. Je älter Menschen werden, desto häufiger und umfangreicher sind sie von gesundheitlichen Problemen und damit von geminderter Lebensqualität betroffen. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels steigt nicht nur „der Anteil und die Anzahl der Älteren und mithin potentiell pflegebedürftigen Personen, sondern gleichzeitig schwindet die Zahl der Personen in den mittleren Altersgruppen, also die Zahl der potentiell Betreuenden und Pflegenden“ [Vög15]. Die ohnehin wenigen Betreuenden und Pflegenden stehen zudem vor der Herausforderung, berufsbedingt große Distanzen zwischen ihren eigenen Haushalten und dem Haushalt der Pflegebedürftigen überbrücken zu müssen. Können Betreuung und Pflege im privaten sozialen Umfeld nicht gewährleistet

werden, werden Pflegedienste bzw. stationäre fachliche Pflege in Anspruch genommen. Unter den herrschenden Bedingungen des Fachkräftemangels drohen Betreuungs- und Pflegeengpässe.

Dass der Einsatz technologiegestützter Konzepte im Betreuungs- und Pflegebereich eine Rolle spielt, ist zwar ein junges Phänomen, gewinnt aber an Bedeutung und diversifiziert sich zunehmend. Sowohl im wissenschaftlichen Umfeld als auch auf dem Markt existieren vielfältige Formen von Unterstützungssystemen, die unter dem Sammelbegriff Ambient Assisted Living (AAL) zusammengefasst werden können.

Der folgende Beitrag wirft daher zunächst einen Blick auf den gegenwärtigen Forschungs- und Marktstand. Im Anschluss daran widmet er sich im Kontext der Bedürfnis- und Bedingungsanalyse der Frage, was technische Unterstützungssysteme sowohl für betreuungs- und pflegebedürftige Personen als auch für Betreuende und Pflegenden zugleich leisten können?

Drei Überlegungen stehen dabei im Fokus:

- Erhaltung einer selbstbestimmten Lebensführung für Betreuungs- und Pflegebedürftige
- Entlastung für Betreuende und Pflegenden im Alltag
- benutzerorientierte technische Anpassung mit minimalinvasiver Umsetzung im unmittelbaren Wohnumfeld Betroffener.

Orientiert an diesen Anforderungen stellt der Beitrag *evenCARE - unabhängig im Alltag* vor: ein System für die Umsetzung technologieübergreifender Mehrwertdienste für Pflege- und Versorgungsbedürftige sowie betreuende und pflegende Angehörige. An konzeptionelle Ausführungen schließen Anwendungsszenarien an. Eine Diskussion rundet den Beitrag schließlich ab.

2 Forschungsstand und Marktlage

Wirft man einen Blick auf die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Idee, durch technische Systeme Menschen in ihrem Versorgungsalltag zu mehr Lebensqualität zu verhelfen, bietet sich einem ein breites und höchst

heterogenes Forschungsfeld. Alle Facetten dieses Feldes an dieser Stelle darzustellen, wäre sowohl unübersichtlich als auch wenig sinnvoll. Daher soll nachstehend zunächst auf Einsichten aus einem Beitrag [Kun17a] verwiesen werden, der die Forschung um technische Unterstützungssysteme in Bezug auf Fragestellungen, Theorien und Anwendungsbeispiele strukturiert.

Das Feld ist zunächst von einer Definitions- und Klassifikationsproblematik gekennzeichnet: technische Unterstützungssysteme beziehen sich auf die unterschiedlichsten Zielgruppen (Menschen mit Behinderung, rüstige ältere Menschen, Pflegebedürftige etc.) und Anwendungsbereiche (Komfort, Alltagsunterstützung, Energieeinsparungen). Eine eindeutige Definition ist dadurch schwierig und wird durch die Verwendung des Sammelbegriffs Ambient Assisted Living (AAL) zu realisieren versucht [Kun17b].

Unter sogenannten AAL-Lösungen werden sowohl Anwendungsfelder als auch Forschungsaktivitäten verstanden, die Anknüpfungen zu verschiedenen Bezugswissenschaften aufweisen [Pre15]. Diese lassen sich in vier (nicht eindeutig von einander abgrenzbare) Anwendungsbereiche unterteilen: Medizintechnik, Assistive Technology, Pflorgetechnik und Gerontotechnik.

Entsprechend stehen in der auf Krankheit ausgerichteten Medizintechnik [Bru11] diagnostische und therapeutische Funktionen im Fokus und das zentrale theoretische Bezugsmodell ist das biomedizinische Gesundheitsmodell. Lösungen aus der Assistive Technology [Kun17c] wollen Aktivitäten und Teilhabe behinderter Menschen ermöglichen bzw. fördern und beziehen ihre Theorien und Modelle aus den Rehabilitationswissenschaften. Pflorgetechnik verfolgt das Ziel, eine Unterstützung pflegerischer Interventionen und des Pflegemanagements zu leisten, mit entsprechender Orientierung an Pflegebedürftigen und den Bezugspunkten aus der Pflegewissenschaft [Pfa17]. Schließlich fokussiert sich die Gerontotechnik auf die Techniknutzung im Alter,

die Förderung von Teilhabe und Aktivität. Dabei bezieht sie ihre theoretischen Grundlagen aus der Sozialen Gerontologie [Pel13].

Einen besonderen Stellenwert innerhalb der AAL-Forschung kommt dem Verhältnis zwischen Mensch und Technik und dessen wissenschaftlicher Beobachtung [Kar15] zu. Neuere, sich auf sozialwissenschaftliche Zugänge stützende Beiträge nehmen die Lebenswelt der potenziellen Nutzer technischer Unterstützungssysteme und deren alltägliche Bedarfe [Els14] zentral in den Blick und verstehen Menschen als aktive Akteure in der Gestaltung ihrer Lebensführung [Pae16]. Entsprechend bemüht sich die Entwicklung von Unterstützungssystemen um eine Orientierung an den Bedarfen der jeweiligen Nutzer. Je nach dem, in welcher Lebenslage, gesundheitlichen und sozialen Situation sich Anwender befinden, ergeben sich Problemlagen, auf die technische Unterstützungssysteme mit spezifisch zugeschnittenen Produkten reagieren.

Innerhalb des umrissenen Forschungsfelds sind demzufolge konkrete schwerpunktbezogene Projekte angesiedelt, die teilweise bereits Schnittstellen zur Marktorientierung aufweisen. Erwähnenswert sind in diesem Kontext die Projekte, die sich unter der Ägide des Fraunhofer Instituts zur Allianz Ambient Assisted Living (Allianz AAL) zusammengeschlossen haben. Programmatisch verweist die Allianz Ambient Assisted Living (<https://www.aal.fraunhofer.de/>) auf folgende Kompetenzen, die im Verbund unterschiedlicher Projektzusammenhänge entwickelt und umgesetzt werden sollen:

- Nutzerspezifische (multimodale) Mensch-Technik-Schnittstellen und Assistenzfunktionen
- Akustische und sprachbasierte Benutzerschnittstellen
- Untersuchung und Sicherstellung von Nutzerakzeptanz, Usability, Barrierefreiheit und Zertifizierbarkeit
- Integration von Technikeinsatz, Dienstleistung und Geschäftsmodellen
- Entwicklung skalierbarer, interoperabler, selbstorganisierender Systemstrukturen

- Modellbasierte Erkennung von gesundheitsbezogenen Ereignissen und Befindlichkeiten
- empirische und systematische Systemevaluierung
- Infrastrukturreduzierte Lokalisation/Navigation
- Optimierung drahtloser Kommunikationstechnologien
- Robotik für Service- und Assistenzanwendungen
- Entwicklung miniaturisierter, energieoptimierter Systemkomponenten
- Informationslogistik und Prozessgestaltung für Health IT/Telemonitoring.

Analog zum Forschungsfeld bietet der Markt eine schier grenzenlose Fülle an Produkten, die sich dem Bereich der technischen Unterstützungssysteme zuordnen lassen. Auch hier ist eine Systematisierung praktisch kaum möglich, da sowohl konzeptionell als auch technisch eine oberflächliche Kategorisierung den einzelnen Lösungen in der Darstellung nicht gerecht werden könnte. Deshalb soll an dieser Stelle über die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten eine Produktbandbreite skizziert werden, um einen Überblick über bereits vorhandene Lösungen am Markt zu schaffen.

AAL-Produkte decken gegenwärtig ganz universell betrachtet die Bereiche Sicherheit, Vitalität, Komfort, Soziales und Gesundheit ab. Im Bereich Sicherheit stehen insbesondere Alarmfunktionen (Rauch, Feuer, Gas, Wasser, Einbruch) und automatisierte Steuerungen elektronischer Geräte zur Verfügung. Auf die Vitalität der Nutzer bezogene Funktionen beinhalten den Notruf, die Meldung von Stürzen und allgemeinen Lebenszeichen. Komfortfunktionen sorgen durch verschiedene Arten der zentralen Fernsteuerung für die Regulation von bspw. Wärme und Licht sowie für Erleichterung der Bedienung elektronischer Geräte. Im sozialen Bereich geht es vorrangig um die Bereitstellung von Videokommunikation und elektronischer Gesundheitsdienste. Produkte mit der Ausrichtung auf Gesundheit bie-

ten schwerpunktmäßig Telemonitoring, Funktionen rund um Medikation und personalisiertes Gesundheitsmanagement an.

Eine vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) Ende 2012 in Auftrag gegebene Studie zu „Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme“ stellt in ihrem Abschlussbericht auf der Grundlage umfangreicher europa- und bundesweiter Recherchen u.a. eine differenzierte Übersicht über neue technische Assistenzsysteme dar [BMG13]. Aus der Perspektive der Einsatzbereiche von Assistenzsystemen wird deutlich, wie heterogen die Produktpalette beschaffen ist. Entsprechend wird zusammenfassend konstatiert, „dass eine (...) eindeutige Zuordnung der Produkte fast nicht möglich ist, da technische Hilfen in der Regel sowohl Komfort bzw. allgemeine Lebensunterstützung bieten als auch für körperlich oder geistig eingeschränkte Menschen Barrieren überwinden helfen (...). (...)“. Es gibt auf der einen Seite Systeme, die stärker dem Komfortbereich bzw. der Lebensunterstützung zuzuordnen sind, die aber die Situation Pflegebedürftiger kaum direkt verbessern (...). Auf der anderen Seite stehen Assistenzsysteme, deren Anwendung für gesunde Senioren kaum Nutzen bringt und die daher eindeutig in den Bereich Pflegebedürftigkeit oder Krankheit/Behinderung gehören (...). Dazwischen gibt es Systeme, die sowohl für gesunde Senioren als auch für Pflegebedürftige nutzbringend sind (...).“

Die vorangestellte Sichtung des Forschungsstandes und der Marktlage ermöglicht nicht nur eine Einschätzung der gegenwärtigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Bemühungen um technische Lösungen zur Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität Versorgungs- und Pflegebedürftiger. Vielmehr dient sie hier insbesondere als Grundlage zur Verdeutlichung des Konzepts und der Anwendungspotentiale von *evenCARE*.

3 *evenCARE*: Konzept und Anwendung

Forschung und Markt verdeutlichen, wie komplex sowohl die Anforderungen als auch die Lösungen im Feld technischer Unterstützungssysteme beschaffen sind. Die eingangs

formulierte Frage, was technische Unterstützungssysteme sowohl für betreuungs- und pflegebedürftige Menschen als auch Betreuende und Pflegende zugleich leisten können, wird nachstehend konkret am Beispiel von *evenCARE - unabhängig im Alltag* beantwortet werden. Dabei wird zunächst auf konzeptionelle Überlegungen eingegangen und anschließend werden Anwendungsbereiche mit entsprechenden Szenarien exemplarisch vorgestellt.

Auf der Grundlage der einleitend vorgestellten Bedürfnis- und Bedingungsanalyse ist *evenCARE* als ein System entwickelt worden, dass als klassische AAL-Lösung betrachtet werden kann. Der Fokus von *evenCARE* liegt darauf, „Menschen mit Hilfebedarf im Alltag zu mehr Lebensqualität“ [Kun17a] zu verhelfen und dafür nutzer- und bedarfsorientierte Mehrwertdienste zur Verfügung zu stellen. *evenCARE* richtet sich an Menschen, die aufgrund ihres Alters in der Bewältigung ihres Alltags (zunehmend) eingeschränkt sind sowie an Menschen, die häuslicher Versorgung und Pflege bedürfen.

Ursprünglich entstand *evenCARE* aus der Idee, mit entsprechenden Technologien eine Unterstützung bei der privaten Pflege im direkten familiären Umfeld (unabhängig von Pflegediensten und finanzieller Unterstützung durch die Krankenkasse) bereitzustellen. Insbesondere der direkte Kontakt mit Betreuenden und Pflegebedürftigen (vor der Einstufung in die Pflegestufen) war sowohl prägend als auch entscheidend für die zielgeführte Entwicklung der Funktionen. Auch die weitere Umsetzung der Hilfestellungen zeigte, dass insbesondere die Konfigurationen und die Inbetriebnahme der technischen Komponenten ein großes Hindernis für die Betreuenden darstellt, eher für zusätzlichen Aufwand sorgt und letztlich belastend wirkt.

Mit der Zeit kamen stets weitere Systeme und Technologien hinzu, was sich auch im Konfigurationsaufwand widerspiegelte.

Um diesen technischen Aufwand handhaben zu können und dabei minimale Konfigurations- und Installationszeit zu gewähren, wurde

eine Plattform entwickelt, die durch eine modulare und erweiterbare Softwarestruktur umgesetzt wurde. Sie beinhaltet die vordefinierten Funktionen, welche je nach Anforderung freigeschaltet werden und miteinander kombinierbar sind.

Somit lassen sich die Kosten für die Installation, Wartung und späteren Erweiterungen gering halten. Das Preis-Leistungsverhältnis ist dabei nicht zuletzt Akzeptanz fördernd. Um diese benutzerorientierte Hilfestellungen bereitzustellen, soll *evenCARE* im Rahmen eines Start-up-Unternehmens gegründet werden.

Das System befindet sich am Ende der Entwicklungsphase und soll im kommenden Jahr auf dem Markt erscheinen. In der ersten Phase sind Beta-Kunden geplant, die mit einem Basispaket ausgestattet werden. Dieses Paket beinhaltet die folgenden Komponenten:

- ein Basis-System mit Freisprecheinrichtung, für die akustische Wiedergabe von Hinweisen und das Tätigen von Telefonaten
- eine RGBW-Indikationslampe, zur visuellen Darstellung von Hinweisen, Alarmierung und weiteren Events
- ein Tablet, sowohl für die textuelle Darstellung von Hinweisen und Benachrichtigungen als auch die Bedienung von Aktoren (Beleuchtung, Alarm einschalten, etc.)
- mehrere Funktaster mit unterschiedlichen Funktionen (Beleuchtungssteuerung, Kontaktpersonen anrufen, Notrufe setzen, etc.)

Alle weiteren erforderlichen Komponenten, die für die Umsetzung der individuellen Hilfestellungen benötigt werden, werden je nach Anforderung bereitgestellt. Hierbei stehen Funktionen aus den Bereichen Notruf, Hausautomation, Sicherheit, Vitalität und Kommunikation zur Auswahl.

Als Zielgruppe spricht *evenCARE* also einerseits Versorgungs- und Pflegebedürftige an, die ihre individuelle Lebensqualität aufrechterhalten bzw. steigern wollen, aber andererseits auch betreuende bzw. pflegende Angehörigen, die nach einer Möglichkeit suchen, den Pflegealltag leichter bewältigen zu können. Die Verbindung beider Anforderungen realisiert *evenCARE* durch ein nutzerorientiertes

und dynamisches Konzept, das als Mensch-Technik-Schnittstelle fungiert. *evenCARE* erhebt den Anspruch, beiden Nutzergruppen ein intelligentes System bereit zu stellen, das individuell auf die Bedürfnisse und Bedingungen in einem häuslichen Versorgungsmix reagiert und darauf abgestimmte technische Lösungen anbietet.

Unter einem häuslichen Versorgungsmix sind die komplexen Bedarfe eines jeden einzelnen Nutzers gemeint, aber auch die spezifischen Wohn- und Lebensbedingungen im Haushalt sowie im sozialen Umfeld. Insofern stellt sich *evenCARE* auf generationenübergreifende Anforderungen sowie standortgebundene Spezifika von vornherein ein. Aus Sicht der Versorgungs- und Pflegebedürftigen sieht sich *evenCARE* insbesondere dem Komfort, der Sicherheit, Gesundheit und sozialen Teilhabe der Nutzer verpflichtet.

Über die Basismodule hinaus beinhaltet *evenCARE* ein umfangreiches Servicepaket. Sowohl die umfangreichen Dienstleistungen sind kontinuierlich anpassungsbedürftig als auch die komplexe Technologie ist wartungsbedürftig. Beides integriert *evenCARE* umfassend: von der benutzerorientierten Bedarfsermittlung über die standortgerechte Installation sowie wunschgemäße Konfiguration bis hin zur professionellen und regelmäßigen Wartung deckt *evenCARE* alle anfallenden Serviceleistungen ab.

Kontinuierlicher Kundenkontakt und damit verbundene Rückmeldungen werden außerdem dazu genutzt, Funktionen von *evenCARE* weiterzuentwickeln und auszubauen. So lässt sich eine fortlaufende Anpassung in technischer und sozialer Hinsicht gewährleisten. Dies eröffnet auch für die Forschung und Entwicklung, sowohl für die Wissenschaft als auch für die Industrie, einen direkten Draht zum Benutzer um Neuentwicklungen vorzeitig beim und mit dem Anwender zu evaluieren, was zu einem direkten Feedback in einem agilen Entwicklungsprozess beitragen kann.

Zusätzlich zu den produkteigenen Funktionalitäten sieht *evenCARE* Kooperationen mit professionellen Partnern in der Versorgung

und Pflege, wie z.B. ambulanten Pflegediensten, vor.

Im unmittelbarem Zusammenhang mit diesen konzeptionellen Ausführungen stehen detaillierte anwendungsbezogene Funktionen, die im Folgenden in Form ausgewählter Szenarien vorgestellt werden.

Das Alleinstellungsmerkmal von *evenCARE* liegt in der Bereitstellung sogenannter Mehrwertdienste. Durch den modularen Aufbau und die individuellen Kombinationsmöglichkeiten der Module kann ein Mehrwert erlangt werden. Dieser Mehrwert wird durch die intuitive Nutzung der Komponenten erzielt. Somit lassen sich beispielsweise Taster nicht nur zur Steuerung von Beleuchtung nutzen, sondern können auch als Notruftaster oder Anruftaster genutzt werden. Bewegungsmelder lassen sich nicht nur zur automatischen Steuerung der Lampen bei Nacht verwenden, um Sturzquellen zu erkennen, sondern können eine längere Bewusstlosigkeit detektieren oder einen Einbruch bei Abwesenheit erkennen. Hierzu werden GSM-Dienste eingebunden, um sowohl die Benachrichtigungen als auch die Kommunikationsfunktionen bereit zu stellen.

Darüber lassen sich Synergieeffekte schaffen und anspruchsvolle Anwendungen realisieren. Insofern sind die hier folgenden Ausführungen zu den Modulen und ihren Anwendungsbereichen als dynamische und interdependente Komponenten zu betrachten.

Hausautomation

Funktionen der Hausautomation sorgen in erster Linie für eine Steigerung des Alltagskomforts, können aber für Menschen mit eingeschränkter Mobilität und nachlassenden körperlichen Funktionsfähigkeiten einen entlastenden Nutzen haben.

Die Steuerung von Beleuchtung ist hierbei ein wesentlicher Aspekt. Sie sorgt dafür, dass Wege innerhalb des Hauses zuverlässig und ausreichend ausgeleuchtet sind. Nutzer gewinnen dadurch an Sicherheit und Freiheit in der Bewegung. Im Aktionsradius des Nutzers platzierte Funktaster lassen sich je nach Bedarf leicht installieren und bedienen. Bei größerer körperlicher Einschränkung lassen sich

Lichtquellen über Bewegungssensoren betätigen.

Über weitere Sensoren der Hausautomation kann bspw. das Raumklima erfasst und reguliert werden. Zur dauerhaften Erhaltung der Gesundheit des Nutzers ist es unumgänglich, über gut gelüftete, temperierte und schadstofffreie Räumlichkeiten zu verfügen. Ventilatoren und die Steuerung der Lüftung tragen nicht nur zu einem angenehmen und gesunden Raumklima bei, sondern verhüten auch übermäßige Feuchtigkeit und Schimmelbildung.

Notruf

Treten im täglichen Tagesablauf Schwierigkeiten oder Beschwerden beim Nutzer auf, kann eine Notruffunktion ggf. Leben retten.

Die Notruffunktion lässt sich in zwei Formen im häuslichen Wohnumfeld umsetzen. Ein manueller Hausnotruf kann durch am Körper des Nutzers geführte Handsender oder aber bei Verlust des Senders an mehreren fest installierten Tastern an unterschiedlichen kritischen Ort im Haus ausgelöst werden. Eine weitere Möglichkeit ist die automatisierte Meldung von Notrufen. Diese kommt in Fällen von Rauch- und Brandentwicklung, Überflutung oder CO₂-Bildung zum Einsatz.

Sicherheit

Einen weiteren wesentlichen Funktionsbereich stellen die Sicherheitsfunktionen dar. Um die insbesondere physische Unversehrtheit des Nutzers trotz gesundheitlicher Einschränkungen möglichst lange stabil zu halten, sind Vorkehrungen notwendig, die typische Gefahren des Alltags abwenden bzw. im Falle einer Gefährdung diese entsprechend melden. Innerhalb des Hauses ist insbesondere die Sturzgefahr als großes Risiko einzustufen. Ein Sturz wird durch den erweiterten Einsatz mehrerer Bewegungsmelder je Raum erfasst. Werden länger keine Bewegungen verzeichnet, liegt der Rückschluss nahe, dass ein Sturz passiert sein könnte. Hierbei wird ebenfalls sichergestellt, dass auch notsituationsbedingte Bewegungen am Boden (Ohnmacht, Bewusstlosigkeit) als potenzieller Sturz identifiziert werden.

Weitere Warnfunktionen weisen sowohl den Nutzer unmittelbar im Haushalt auf unbefugten Zutritt von außen hin als auch Betreuende außerhalb auf Aus- und Einbrüche.

Vitalität

Eng mit Sicherheitsaspekten verbunden ist die Überprüfung des Vitalzustands des Nutzers. Durch den Einsatz von Bewegungsmeldern und die Analyse erfasster Bewegungsdaten lassen sich ortungsgebundene und bewegungsregistrierende Funktionspakete schnüren. Mithilfe dieser Art des Monitoring kann die bewusste Aktivität und der normale Bewegungsablauf des Nutzers sichergestellt werden. Um Konflikte mit geltenden Datenschutzbestimmungen zu umgehen, werden alle erfassten Daten ausschließlich lokal verarbeitet und innerhalb eines geschlossenen lokalen Systems gespeichert. Neben der Bewegungsanalyse bieten Erinnerungsfunktionen (Essen, Trinken, Körperpflege und Hygiene) die Möglichkeit, Routinen des häuslichen Alltags zu checken. Aber auch die Ermittlung des Energieverbrauchs im Haushalt (Strom, Heizung etc.) kann dokumentiert und ausgewertet werden.

Kommunikation

Der Bereich der Kommunikation stellt eine Querschnittsfunktion dar, da sie auch im Kontext der anderen Basismodule (z.B. Sicherheit und Notruf) zum Einsatz kommt.

Das Modul Kommunikation dient nicht nur dem Informationsaustausch mit nahestehenden Personen und Angehörigen, sondern gibt den Betreuenden und Pflegenden zeitnahe Rückmeldungen über den aktuellen Vitalstatus des Versorgungs- und Pflegebedürftigen. Über Taster mit visualisierten Personen können intuitiv und leicht Anrufe getätigt werden. Ein Konferenzlautsprecher macht das Halten eines Hörers am Ohr überflüssig. Bei nicht entgegengenommenen Anrufen bietet eine automatisierte Rückruffunktion der Kontaktperson die Möglichkeit, direkt durchgestellt zu werden und Kontakt mit dem Versorgungs- und Pflegebedürftigen aufzunehmen, um die Situation realistisch einschätzen zu können.

Um eine vom Telefon- und Internet-Anschluss unabhängige Kommunikation ermöglichen zu können, wird das GSM-Netz verwendet. Damit steht den Nutzern eine niedrighschwellige und kostenüberschaubare Art der digitalen Kommunikation zur Verfügung, die zuverlässig Meldungen zum Status des Versorgungs- und Pflegebedürftigen verarbeitet und schnelle Reaktionen seitens der Betreuenden ermöglicht.

Die hier dargestellten Module und Anwendungsbereiche knüpfen an konkrete Bedarfe der Nutzer an und bieten entsprechend folgende benutzerorientierte (Grund-)Funktionen an:

- Schwerhörige Benutzer: Funktionen zur visuellen Darstellung/Indikation (eingehender Anruf, Alarmierung beim Auslösen eines Rauchmelders/Wassermelders etc.) mit RGBW-Leuchtmittel
- Sehbehinderte Benutzer: Funktionen mit akustischen Benachrichtigungen und Hinweisen (TTS – Text To Speech) mit einem Lautsprecher (Vorlesen von erhaltenen Textnachrichten, Hinweise auf entgangene Anrufe etc.)
- Benutzer mit eingeschränktem Bewegungsradius (z.B. durch Rheuma): Bedienungserleichterung durch Positionierung von Tastern im Aktionsradius (Beleuchtung, Notruf, Anruf, etc.)

Hierbei wird gezielt auf die benötigten Anforderungen eingegangen, um eine individuelle, funktionale und kostengünstige Hilfestellung im Alltag bereit zu stellen. Für die Umsetzung solcher individuellen Lösungen sind die zwei folgenden Elemente unerlässlich: Zu einen ist eine offene Softwareplattform, um die gegenwärtigen und zukünftigen Technologien einbinden zu können. Zum anderen wird eine Dienstleistung benötigt, die diese Funktionen technisch umsetzen, konfigurieren und warten kann.

Diese Kombination nutzt *evenCARE* um konkrete Hilfestellungen anzubieten ohne dabei

den Anwender vor technologiebezogenen Herausforderungen (Installation, Konfiguration, Wartung, etc.) zu stellen.

„Es steht die Funktion, die eine Unterstützung im Alltag darstellen soll, im Vordergrund und nicht die Technik!“

evenCARE stellt in erster Linie kein Produkt dar, vielmehr eine technologische Schnittstelle zur Integration von Technologien. Somit lassen sich die aktuellen Dienstleistungen und die zukünftigen Neuentwicklungen zielgerichtet beim Kunden platzieren.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Unterstützungssysteme sind gegenwärtig fester Bestandteil der Versorgungs- und Pflegelandschaft. Sie reagieren auf Bedürfnisse und Bedingungen einer alternden Gesellschaft und ermöglichen die Erhaltung und Steigerung von Lebensqualität. Ihre Umsetzung in der Forschungs- und Marktlanschaft ist von Heterogenität gekennzeichnet und entwickelt sich stetig sowie rasant weiter. Die Frage, was technische Unterstützungssysteme für hilfebedürftige Menschen leisten können, kann insofern entweder ganz detailliert auf ein Produkt oder überblicksmäßig auf Zielgruppen und Anwendungsbereiche bezogen beantwortet werden.

Mit *evenCARE* wird eine klassische AAL-Lösung vorgestellt, die in Form von Mehrwertdiensten sowohl Versorgungs- und Pflegebedürftigen als auch Betreuenden und Pflegenden vielfältige dynamische Möglichkeiten der Alltagsbewältigung bietet. Konzeptionellen Grundgedanken schließen sich konkrete Anwendungsszenarien mit einer Auswahl an Beispielfunktionen an. Über die Basisstrukturen hinaus beinhaltet *evenCARE* das Potential einer bedarfs- und nutzerorientierten Konfiguration und Erweiterung. Die Auslagerung aller anfallenden Serviceleistungen an eine entsprechende Servicestelle garantiert hohe Benutzerfreundlichkeit und Betreuung aus einer Hand.

Literatur

- [Bmg13] Bundesministerium für Gesundheit: Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme. Abschlussbericht zur Studie. Berlin, 2013.

- [Bru11] K. Brukamp, K. a Laryionava, C. Schweikardt und D. Groß: Technisierte Medizin - Dehumanisierte Medizin? Ethische, rechtliche und soziale Aspekte neuer Medizintechnologien, Kassel: Kassel University Press, 2011.
- [Els14] A. Elsbernd, S. Lehmeyer und U. Schilling: So leben ältere und pflegebedürftige Menschen in Deutschland, Lage: Jacobs Verlag, 2014.
- [Kar15] A. Karafillidis und R. Weidner: Grundlagen einer Theorie und Klassifikation technischer Unterstützung. In: R. Weidner, T. Redlich und J. P. Wulfsberg (Hg.): Technische Unterstützungssysteme, Berlin: Springer, 2015.
- [Kun17a] C. Kunze und P. König: Systematisierung technischer Unterstützungssysteme in den Bereichen Pflege, Teilhabeunterstützung und aktives Leben im Alter. In: G. Kempter und I. Hämmerle (Hg.): Umgebungsunterstütztes Leben. Beiträge zum Usability Day XV, Lengerich: Pabst Science Publishers, 2017.
- [Kun17b] C. Kunze und J. Müller: Technikgestaltung und interdisziplinäre Entwicklungsprozesse im AAL-Kontext. In: C. Kunze und C. Kricheldorf (Hg.): Assistive Systeme und Technologien zur Förderung der Teilhabe für Menschen mit Hilfebedarf, Lengerich: Pabst Science Publishers, 2017.
- [Kun17c] C. Kunze, C. Kricheldorf (Hg.): Assistive Systeme und Technologien zur Förderung der Teilhabe für Menschen mit Hilfebedarf, Lengerich: Pabst Science Publishers, 2017.
- [Pfa17] M. A. Pfannstiel, S. Krammer und W. Swoboda (Hg.): Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen III, Wiesbaden: Springer, 2017.
- [Pae16] K. Paetzold und H. Pelizäus-Hoffmeister: Anforderungsermittlung auf Basis einer kontextintegrierenden, praxiszentrierten Bedarfsanalyse - die KPB-Methodik, In: R. Weidner (Hg.): Band zur zweiten transdisziplinären Konferenz 'Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen', Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, 2016.
- [Pel13] H. Pelizäus-Hoffmeister: Zur Bedeutung von Technik im Alltag Älterer. Theorie und Empirie aus soziologischer Perspektive, Wiesbaden: Springer, 2013.
- [Pre15] J. Preißler: Ambient Assisted Living - Eine Bestandsaufnahme. In: W. Honekamp und J. Preißler (Hg.): Assistenz für höhere Lebensqualität im Alter, Remscheid: re Di Roma-Verlag, 2015.
- [Vög15] J. Vögele: Der Rückzug des Todes. Alter und Altern im demographischen und epidemiologischen Wandel (19. und 20. Jahrhundert). In: K. Weber, D. Frommeld, A. Manzeschke und H. Fangerau (Hg.): Technisierung des Alltags. Beitrag für ein gesundes Leben? Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2015.

<https://www.aal.fraunhofer.de/>

Bedarfsorientierte Technikentwicklung und gesellschaftliche Akzeptanz

Das Modell der „Denkschule“

I. Horwath und J. Terhechte

Universität Paderborn, Fakultät für Maschinenbau, Technik & Diversity
ilona.horwath@upb.de, johannes.terhechte@upb.de

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungskollegs „Leicht-Effizient-Mobil“ wird am Institut für Hybriden Leichtbau der Universität Paderborn seit 2015 unter dem Titel „Denkschule“ ein jährlich stattfindendes Format zur transdisziplinären Technikentwicklung veranstaltet. Im Gegensatz zu projektbezogener transdisziplinärer Forschung stellt dieses Format auf einen kontinuierlichen und thematisch offeneren Austausch zwischen Technik und Gesellschaft ab. In der „Denkschule“ treffen ForscherInnen, IngenieurInnen, Industrie und RepräsentantInnen verschiedenster gesellschaftlicher Sektoren, wie z.B. Einsatzorganisationen, Sanitätshäuser, Pflegefachkräfte und Menschen mit Pflegebedarf, VertreterInnen aus Politik und Verwaltung zusammen, um in moderierten Workshops bedarfsorientierte, sozial tragfähige und epistemologisch angemessene Ansätze für die Entwicklung assistierender Technologien zu erarbeiten.

Abstract

A transdisciplinary approach to integrate technology development and social acceptance: the “Denkschule”

The transdisciplinary approach of the „Denkschule“ aims to foster the social relevance, usefulness and sustainability of engineering concepts and technological development. Drawing on methods of qualitative social research, the “Denkschule” allows to involve, document, analyze, thus to integrate a diversity of types of knowledge, experience and perspectives of participants in order to transfer them into socio-technical innovations. The “Denkschule” offers a dialogue forum for science and the public. In our contribution, we would like to introduce the concept of the “Denkschule”, the applied methods, some selected results, and approaches to transfer results into research and technology development. Currently, these focus on the topics of mobility support and care, rescue and security as well as resource efficiency and climate protection.

Keywords

Interdisziplinarität, Transdisziplinarität, Diversität, Leichtbau, Mobilität

1 Einleitung

Traditionell setzt sich das natur- und ingenieurwissenschaftliche Studium kaum mit der Betrachtung ethischer und sozialer Verantwortung auseinander. Ausbildungsinhalte, die einen systematischen Zugang zu Fragen lang- und kurzfristiger, positiver oder auch negativer Auswirkungen auf unsere Gesellschaft und diverser sozialer Gruppen haben können, sind selten. Die Konsequenz sind oft mangelnde Fähigkeiten, den Einfluss natur- und

ingenieurwissenschaftlicher Arbeit und die Verursachung oder Lösung soziorelevanter Problematiken einzuschätzen. Diese Nachrangigkeit prägt die Art und Weise, wie Ingenieur*innen professionelle ethische Verantwortung wahrnehmen und spiegelt sich auch in epistemologischen Ansätzen wieder, d.h. der Formulierung von Forschungsfragen und Entwicklung von Lösungsansätzen [Cec00]. Gleichzeitig sind Gesellschaften auf Grund rasanter technologischer Entwicklungen und

den damit verwandten komplexen Risiken immer stärker darauf angewiesen, dass Ingenieur- und Naturwissenschaftler*innen diese Risiken reflektieren und in sozial-ökologisch vertretbaren Grenzen halten, d.h. angemessen mit gesellschaftlichen Bedürfnissen wie Sicherheit und Wohlstand abwägen [Beck 1986].

Gegenwärtig scheint die Ingenieurausbildung eine „Culture of Disengagement“ zu fördern, die gesellschaftliches Gemeinwohl und soziale Verträglichkeit von Technologien weitestgehend außerhalb der Verantwortung ingenieur- bzw. naturwissenschaftlicher Praxis verortet [Cec00]. Die „Culture of Disengagement“ wird durch eine Konstellation aus Überzeugungen, Bedeutungen und Praktiken konstituiert, in deren Rahmen Ingenieur*innen ihre professionelle Verantwortung wahrnehmen und umsetzen. Sie basiert wesentlich auf drei ideologischen Säulen: Entpolitisierung (nicht-technische Belange werden als irrelevant für das Ingenieurwesen eingestuft), dem technisch/sozial Dualismus (Abwertung sozialer gegenüber technischer Fragen), und der in der Technik vorherrschenden meritokratischen Ideologie (bestehende soziale Strukturen werden als fair und gerecht betrachtet) [Cec00, Cec13].

Hochspezialisierte, häufig isolierte und abstrakte Forschungsthemen begünstigen diese Entkoppelung sozialer und technischer Zusammenhänge, von gesellschaftlichem Gemeinwohl, sozialer Gerechtigkeit und dem Einfluss vermeintlich objektiv-technischer Fragestellungen. Auch ein Mangel an Ressourcen (z.B. Zeit, Expertisen, interdisziplinäre Kooperationsmöglichkeiten) hemmt die Vermittlung dieser Problematiken im Technikstudium. Die „Culture of Disengagement“ scheint neben grundsätzlichen Kenntnissen soziotechnologischer Zusammenhänge v.a. auch das Bewusstsein für die Relevanz zu limitieren, diese in technischer Forschung und Entwicklung zu berücksichtigen. Auf der anderen Seite stoßen (meist projektbezogene) Bemühungen, verschiedene soziale Gruppen und Organisationen in die technische Forschung und Entwicklung einzubeziehen, nicht

selten auf Zurückhaltung. Hemmschwellen entstehen bei Laien z.B. durch Befürchtungen, Wissenslücken in Naturwissenschaft und Technik zu entblößen, aus Zeitmangel oder auch fehlendem Interesse, an der Bearbeitung technischer Fragen teilzunehmen.

Dieser Beitrag stellt Methoden und Ergebnisse einer inter- und transdisziplinären Forschungs- und Bildungsstrategie vor, die auf die oben ausgeführten besonderen Anforderungen von Ingenieur- und Naturwissenschaftler*innen abgestimmt, Natur-, Ingenieurwissenschaft und Gesellschaft zusammenführt, um gemeinsam gesellschaftliche und technische Lösungsansätze für aktuelle Herausforderungen zu entwickeln. Das Modell der „Denkschule“ wurde im Rahmen des „NRW Forschungskolleg „Leicht-Effizient-Mobil“ (FK LEM) seit 2014 entwickelt und erprobt. Das FK LEM ist ein interdisziplinäres Doktorand*innenkolleg, das sich aus sozial-, natur-, und ingenieurwissenschaftlichen Perspektiven dem Thema Leichtbau widmet. Neben individuellen Promotionsthemen soll im Kolleg auch der Frage nachgegangen werden, welches Potential Leichtbautechnologien für die Lösung großer gesellschaftlicher Herausforderungen bereitstellt [Ber18]. Elf Studierende aus den verschiedenen involvierten Fachgruppen bearbeiten die Thematik.

Das Ziel dieses Beitrags ist, unsere Methoden, Erfahrungen und ausgewählte Ergebnisse der „Denkschule“ vorzustellen und dadurch eine „Culture of Engagement“ auch in anderen ingenieurwissenschaftlichen Ausbildungsgängen anzustoßen.

2 Methodik

Ausgangsbasis unseres Konzeptes sind Ansätze transdisziplinärer Forschung, die Wissenschaft und Gesellschaft verbindet. Transdisziplinäre Forschung zielt darauf ab, Forschungsthemen so zu gestalten, zu analysieren und zu bearbeiten, dass (1) die gesamte, z.B. technische und gesellschaftliche Komplexität eines Themas erfasst wird; (2) die unterschiedlichen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Perspektiven auf ein Thema berücksichtigt werden; (3) abstraktes und fallspezifisches

Wissen über den Forschungsgegenstand verbunden wird; und dabei (4) deskriptives, normatives und praktisches Wissen zu elaborieren, welches der Förderung des Gemeinwohls dienen soll [Pohl 2011]. Dabei muss zunächst ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass ganz verschiedene Denkstile (vgl. auch [Fle12]), Wissensformen, Expertisen und Erfahrungen gegenstandsrelevant sein können und damit einen Mehrwert für die Bearbeitung disziplinärer (technischer) Fragestellungen bereitstellen. Solche Wissensformen umfassen z.B. Praxiswissen, Expertisen von Organisationen, Erfahrungen und Bedürfnisse Betroffener, oder Ansätze verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen. Im nächsten Schritt wurden Methoden entwickelt, um diese unterschiedlichen Wissensformen zu identifizieren, durch Einbezug transdisziplinärer Forschungspartner zu erheben und schließlich systematisch zu analysieren [Pohl17].

Dafür wurde das Format der „Denkschule“ entwickelt. Zur „Denkschule“ werden Teilnehmer*innen aus öffentlichen Einrichtungen, Zivilgesellschaft, Politik, Industrie und verschiedenen Einrichtungen des Pflegebereichs, des Rettungs- und Sicherheitswesens sowie aus Umwelt- und Klimaschutz sowie Mobilität und Nachhaltigkeit eingeladen. Diese Sektoren sind in der täglichen Arbeit mit den großen gesellschaftlichen Herausforderungen [Wis15] konfrontiert, zugleich bietet der Leichtbau hier viel Potential, zur Lösung aktueller Problematiken beizutragen.

Methodisch lehnt sich die Denkschule an qualitative Fokus- bzw. Gruppendiskussionsverfahren an, die einen empirischen und validen Zugang zu verschiedenen Wissensformen ermöglichen, wie z.B. zu expliziten und impliziten Annahmen, Normen, Werten und Erfahrungen. Diese dokumentieren sich in der Diskussion und können mittels rekonstruktiver Verfahren analysiert werden [Boh10]. Die Gruppen wurden in drei thematisch fokussierten Workshops in Diskussion gebracht (Rettungs- und Sicherheitswesen; Pflege und Mobilität; Ressourceneffizienz und Klimaschutz). Für das Gelingen selbstläufiger Diskussionen ist eine gute Moderation entscheidend, welche

Diskussionsrahmen, -thema und -klima aufbereitet. Die Moderation zielte darauf ab, Hemmschwellen abzubauen, ein nichthierarchisches Diskussionsklima zu schaffen sowie die Teilnehmenden zum Einbringen eigener Relevanzsysteme und Sichtweisen zu ermutigen. Dies wurde erreicht, indem die Teilnehmenden als Expert*innen für ihre jeweiligen Erfahrungsbereiche angesprochen und die Bedeutung ihres spezifischen Wissens, ihrer täglichen Wahrnehmungen, Bedürfnisse und Erfahrungen untermauert wurde, welches die entscheidende Ergänzung zur natur- und ingenieurwissenschaftlichen Expertise bildet, wenn sozial verträgliche Technologien entwickelt werden sollen. Zudem wurde betont, dass alle Ideen und Perspektiven willkommen sind und technisch-naturwissenschaftliche Kenntnisse oder Umsetzbarkeit für die Diskussion keine wesentliche Rolle spielen. Ziel sei vielmehr, Visionen und Strategien zu gesellschaftlich relevanten Zukunftstechnologien zu entwickeln, die aus den Perspektiven und Bedürfnissen der Teilnehmer*innen und nicht aus technischen Fragestellungen heraus entstehen. Natürlich können – oder sollen – nicht alle gesellschaftlichen Probleme technologisch gelöst werden – dennoch benötigen Forscher*innen Erfahrungsaustausch und Erkenntnisse aus der Praxis, um der sozialen Realität angemessene Technologien entwickeln zu können. Auf diese Weise wurde ein Diskussionsklima geschaffen, in dem alle Sichtweisen anerkannt wurden und die gesellschaftlichen Akteur*innen die Chance nutzten, aktiv zu technologischen Entwicklungen beizutragen, die für ihr eigenes Berufs- bzw. Lebensumfeld von Belang sind. Um den Vorstellungshorizont anzuregen, wurde Leichtbautechnologie kurz und einfach erklärt sowie ein konkretes Beispiel für den jeweiligen Themenbereich des Workshops vorgestellt: eine leichte Tür für Krankenhäuser, eine leichte Rettungsschere für Feuerwehren und Leichtbaukomponenten in Fahrzeugen zur Emissionsreduzierung. Dann wurde die Diskussion mit drei Leitfragen eröffnet: 1.) Was sind aktuell die größten Herausforderungen in Ihrem Fachbereich? 2.) Wie würden gute Lösungen

dieser Problematiken aussehen? 3.) Was könnten Wissenschaft und Ingenieurwesen dazu beitragen, diese Probleme zu lösen?

Für jeden Workshop dokumentierten zwei FK LEM Doktorand*innen Diskussionsverlauf und Hauptargumente, die Konklusionen der Teilnehmenden und fassten die Antworten zu den drei gestellten Fragen zusammen. Für die spätere Detailanalyse wurden die Diskussionen zusätzlich aufgezeichnet und mit dem Analyseverfahren der dokumentarischen Methode [Boh10] ausgewertet.

Der öffentliche Teil der Denkschule wird am nächsten Tag durch einen FK LEM internen Workshop ergänzt, in welchem die Doktorand*innen die transdisziplinären Ergebnisse mit den Professor*innen der beteiligten Fachbereiche diskutierten und Ansätze entwickeln, um diese auf ihre eigenen Forschungsthemen und -praktiken zu beziehen, entsprechende Forschungsfragen zu formulieren und auf Projektskizzen für Leichtbauforschung und -konstruktion zu übertragen.

3 Ergebnisse

Nachfolgend stellen wir Ergebnisse aus den drei Workshops bzw. Gruppendiskussionen zu den Themen „Rettungs- und Sicherheitswesen“, „Pflege, Mobilität und betreutes Wohnen“ und „Ressourceneffizienz und Klimaschutz“ vor. Wir beginnen mit thematischen Ergebnissen zu den drei Leitfragen, potenziellen Lösungskonzepten und der Rolle von Forschungs- und Technologieentwicklung für jeden Themenbereich. Abschließend führen wir die Ergebnisse zusammen, leiten übergreifende Schlussfolgerungen ab und reflektieren den didaktischen Nutzen für unsere Studierenden.

3.1 Rettungs- und Sicherheitswesen

Zehn Personen aus den Bereichen Rettungs- und Sicherheitswesen, Feuerwehr, medizinischer Notdienst und Forscher*innen nahmen an diesem Workshop teil.

Als eine der größten Herausforderungen dieser Bereiche wurde die Personenrettung, d.h. Bergung und Transport herausgestellt. Das Auffinden und Bergen verletzter Personen,

Kenntnisse über die Unfallstelle, Rettung und Transport von Opfern aus Gebäuden und Naturkatastrophen und zunehmend auch der Transport adipöser Menschen kamen als kritische Themen auf.

Ein Hauptproblem dabei ist die Rettungszeit: Opfer müssen lokalisiert, durch erste Hilfe versorgt, stabilisiert und transportiert werden, während oftmals jede Sekunde zählt. Paradoxerweise wird die Rettungszeit auch durch Verbesserungen im Fahrzeugbau erhöht: Neuartige Hochleistungswerkstoffe und eine Vielzahl elektronischer Komponenten erschweren die Arbeit der Rettungsteams. Rettungsszenarien sind komplex und vielfach unvorhersehbar; es gilt, sowohl Opfer, Beteiligte als auch Rettungskräfte keinem zusätzlichen Risiko auszusetzen. Eine weitere Herausforderung besteht im Gewicht von Einsatz- und Rettungstechnologien, wie z.B. Bergescheren. Gerade im Hinblick auf Einsatzgeräte und Fahrzeuge wird dem Leichtbau großes Lösungspotential zuerkannt. Dennoch gilt, dass mehr und bessere Technologien nicht unbedingt effizienteres und sichereres Einsatzhandeln bedeuten – entscheidend ist vielmehr, ob und wie Technologien den komplexen organisatorischen Abläufen und variierenden technischen Voraussetzungen der Einsatzrealität entsprechen. Wichtig ist z.B., dass Organisationseinheiten im Rettungswesen organisatorische, technologische, medizinische und andere Anforderungen rasch, sicher und effizient integrieren müssen, um ihre Aufgaben wahrnehmen zu können. Daher muss die Entwicklung von Rettungs- und Sicherheitstechnologien die Komplexität solcher Prozesse angemessen berücksichtigen, um zu anwendbaren Lösungen beitragen zu können. Zur Lösung der steigenden Rettungszeit wurde der kreative Vorschlag eingebracht, die Problematik bereits im Prozess der Fahrzeugentwicklung zu berücksichtigen, z.B. in Form einer „standardisierten Sollbruchstellen“, die in neue Fahrzeuge implementiert werden soll. Standardisierte Sollbruchstellen würden Ersthelfern ermöglichen, verunfallte Fahrzeuge rascher und sicherer öffnen zu können und so die Berge- und Rettungszeit zu reduzieren. Eine

Standardisierung von Sollbruchstellen, unabhängig von speziellen Fahrzeugmodellen und Herstellern, würde das Auffinden erleichtern und eine schnellstmögliche Bergung erlauben. Zusätzlich könnten Crash-Tests erweitert werden, indem Rettungsabläufe und Testergebnisse bzgl. Rettungszeit einbezogen werden. Schließlich sollten neue Bewertungssysteme entworfen werden, um die Implementierung solcher Rettungsfeatures in Autos zu fördern, d.h. Daten, die helfen, potentielle zusätzliche Kosten solcher Funktionen zu bewerten, aber auch ihren potenziell lebensrettenden Mehrwert erklären.

Auch bzgl. der Herausforderungen im internationalen Katastrophenschutz wurden innovative Lösungen vorgeschlagen, insbesondere leichtgewichtige, und für Laien einfach einsetzbare Bergegeräte. In Katastrophenszenarien ist die Beteiligung der Zivilbevölkerung am Rettungseinsatz oftmals entscheidend, um Leben zu retten. Daher sollten Rettungsgeräte entwickelt werden, die leicht von Menschen transportiert und möglichst sicher angewendet werden können, um Betroffenen zu ermöglichen, sich selbst und andere zu retten.

Als Beitrag von Forschung und Entwicklung, so die Konklusion der Teilnehmenden, sollte aktiv und engagiert in Rettungsfunktionen, Testszenarien und Standards für die Entwicklung neuer Autos investiert werden. In Bezug auf Rettungs- und Sicherheitsausrüstung sollten Ingenieur*innen berücksichtigen, dass jede neue technische Lösung auch praktikabel, d.h. in die Abläufe von Rettungs- und Sicherheitsorganisationen integrierbar und auf die Einsatzrealität abgestimmt werden muss.

3.2. Pflege, Mobilität und betreutes Wohnen

Vierzehn Teilnehmer*innen aus öffentlichen und privaten Pflegeeinrichtungen, Krankenhäusern, medizinisch-technischen Unternehmen, Zivilgesellschaft und Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen nahmen an diesem Workshop teil.

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels nannten die Teilnehmer*innen die steigende Anzahl pflegebedürftiger Personen

als die größte Herausforderung. Dabei wurde kritisiert, dass Pflegebedürftige aktuelle primär in Einrichtungen untergebracht werden, statt Pflege zu Hause bzw. im gewählten sozialen Umfeld zu ermöglichen. Technischen Assistenzsystemen wird das Potential zugesprochen, diese Vorgehensweise ändern und häusliche Pflege attraktiver und einfacher zu gestalten. Dabei sollte „so viel Technologie wie nötig, aber nicht mehr als erforderlich“ eingesetzt werden. Technologie sei zwar ein vielversprechender Lösungsansatz, berge aber auch selbst weitere Herausforderungen und Ambivalenzen, die es zu berücksichtigen gelte, wenn der Transfer neuer Technologien in Pflegebereiche auf Akzeptanz stoßen und gelingen soll. Intelligente Hilfstechiken, z.B. smarte Rollstühle, Sicherheitsböden, Alarmsysteme, o.ä. bieten beispielsweise enormes Potenzial, um die Freiheit und Autonomie von Menschen mit Pflegebedürfnissen zu verbessern oder zu erhalten. Die Kehrseite dazu sind Überwachung, Dokumentation und Kontrolle, die solche Geräte ermöglichen und, v.a. bei Intransparenz in diesen Fragen auf Ablehnung bei Betroffenen stoßen, selbst wenn sie deren Lebensalltag unmittelbar verbessern könnten. Befürchtungen vor der Verletzung der Privatsphäre halten viele vom Einsatz technologischer Assistenzsysteme ab. Eine weitere Hürde für die Akzeptanz neuartigen Technologien ist die Unsicherheit bzgl. der eigenen Technikkompetenz, Gefühle von Überforderung bzw. mangelndes Vertrauen, den Umgang mit neuartigen Technologien erlernen zu können. Auch wenn Technologien große Verbesserungen bereitstellen können, garantiert dies also noch nicht den erfolgreichen Transfer in die Pflegepraxis, wenn diese Ambivalenzen nicht berücksichtigt und aktiv gelöst werden. Als weiteres Problem wurden aktuelle Rahmenbedingungen der Entwicklung technischer Pflege- und Assistenzsysteme abgeleitet. Forschungsrichtlinien neigen dazu, Projekte zu fördern, die sich auf hoch spezialisierte Themen und abstrakte Problemdefinitionen konzentrieren und so Technologien aus ihren sozialen Kontexten und Definitionen isolieren. Statt die besonderen sozialen

Voraussetzungen und deren Auswirkungen auf die als Anforderungen für Technologieentwicklung zu berücksichtigen, konzentrieren sich Ingenieur*innen auf die Herstellung neuer Technologien in Form von Modellen und Prototypen. In der Regel erlaubt dies keine umfangreiche Analyse von sozialen Umfeldern, Benutzerbedürfnissen, differenzierten Gebrauchstests oder abgestimmten Transferstrategien. Hier wurde eine große Notwendigkeit postuliert, Transparenz, Informationsaustausch, Technologietransfer, Verwaltungsverfahren, Ausbildung und das Bewusstsein der Fachleute zu verbessern. Hierzu forderten die Teilnehmenden einen kontinuierlichen Dialog und Austausch der unterschiedlichen beteiligten Einrichtungen und Forscher*innen, um diese Herausforderungen zu beseitigen und verständliche und transparente Informationen über Pflege und unterstützende Technologie bereitstellen zu können. Wichtig sei, dass Forschung für Mitglieder der Zivilgesellschaft auch zugänglich ist, sich offen für Kritik und Bedenken Pflegenden und Pflegebedürftiger erweist und die sozialen Dimensionen und die Auswirkungen von Technologien reflektiert. Um dies zu erreichen, schlugen die Teilnehmer*innen mehr inter- und transdisziplinäre Forschung vor, die unerlässlich ist, um die Komplexität der Pflege zu erfassen und Technologien in ihren jeweiligen sozialen und institutionellen Anwendungskontexten zu unterstützen.

3.3 Ressourceneffizienz und Klimaschutz

Zwanzig Teilnehmer*innen aus einer Vielzahl öffentlicher und privater Institutionen, Politik, Zivilgesellschaft und Industrie, nahmen an diesem Workshop teil.

Die erste zentrale Herausforderung wurde darin gesehen, dass Klimaschutz und Ressourceneffizienz umfangreiche Veränderungen im individuellen Verhalten und sozialen Alltag erfordern, die außerhalb gesetzlicher Vorgaben nur schwer erreicht werden könnten. Entsprechend stand die Frage, wie breite Akzeptanz für nachhaltige Verhaltensweisen und Technologien möglich werden, im Vordergrund – wobei auch darauf hingewiesen

wurde, dass nachhaltige Konsum- und Verhaltensweisen nicht nur eine Frage der Bequemlichkeit, sondern auch der Schichtzugehörigkeit bzw. des ökonomischen, sozialen und kulturellen Kapitals ist: nicht alle können sich neue Technologien oder Verhaltensänderungen leisten.

Eine zweite, stärker unternehmensbezogene Herausforderung wurde als „Materialwettbewerb“ bezeichnet, wonach kurzfristige Kosten und wirtschaftliche Interessen häufiger darüber entscheiden, welche Materialien verwendet und standardisiert werden, als deren Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz. Einmal festgelegt, beeinflussen Normen und Standards relativ langfristig, welche Materialien in Ingenieurwesen und Konstruktion vorherrschen. Da solche Standards und Normen zur Begünstigung konventioneller Materialien und Verfahren tendieren, sind neue Ansätze schwer zu etablieren. Ingenieur*innen, welche innovative Ansätze verfolgen, sehen sich dadurch im Wettbewerb benachteiligt und müssen deutlich mehr Anstrengungen unternehmen, um bestehen zu können. Schließlich wurde problematisiert, dass im Alltag vorherrschende Technologien (z.B. Waschmaschinen, Mobiltelefone, ...) vormals für längerfristige Nutzungsdauer entworfen und hergestellt wurden, während der Gebrauchswert aktuell möglichst kurzgehalten werden soll, um Profitinteressen, aber auch Trends zu fortlaufenden Updates oder zeitnahen Ersatz durch das jeweils aktuellste Produkt zu bedienen.

Die Teilnehmer*innen schlugen eine Vielzahl von Lösungsansätzen vor. Der Trend zur kurzen Produktlebensdauer sollte durch neue Kombinationen aus Wiederverwendung und Recycling angegangen werden. Um sinnvolle Veränderungen in Richtung Klimaschutz und Ressourceneffizienz anzustoßen, müssen Bereiche in denen „kleine Veränderungen große Auswirkungen haben“ identifiziert und gefördert werden, und zwar nicht nur im sozialen Alltag, sondern auch in landwirtschaftlichen und industriellen Prozessen.

Die Verfügbarkeit populärer Technologien wie E-Bikes kann dazu beitragen, nachhaltiges

Verkehrsverhalten zu unterstützen. Neue Geschäftsmodelle müssen entwickelt und gefördert werden, um zu verdeutlichen, dass sich Nachhaltigkeit und wirtschaftlicher Erfolg nicht gegenseitig ausschließen. Darüber hinaus sollten neue Verkaufs- und Marketingstrategien eingeführt werden, um das Bewusstsein für tatsächliche Produktkosten im Gegensatz zum Marktpreis zu schaffen, d.h. die Kosten für ein Produkt, das den gesamten Lebenszyklus vom Rohstoffabbau bis zum Abbau in Anspruch nimmt. Die Kenntnis und Vergleichbarkeit des Marktpreises und mit den tatsächlichen Kosten, die Einzelpersonen und die Gesellschaft für ein Produkt oder eine Technologie bezahlen zu müssen, können nachhaltige Produkte attraktiver machen. Schließlich forderten die Teilnehmer*innen, politische Verantwortung für die künftigen Generationen ein. Strategien müssten sowohl top-down (durch Gesetze und Anreize) als auch bottom-up (durch Einstellung, Ansätze und Herangehensweisen von Ingenieur*innen) umgesetzt werden. Wichtig sei, auf aktuellen gesellschaftlichen Trends aufzubauen, um nachhaltige Praktiken zu fördern, anstatt Lösungen zu erzwingen, die möglicherweise nicht praktikabel sind. Von Forschung und Entwicklung wird erwartet, bei der Bearbeitung spezialisierter Themen dieses gesellschaftliche Gesamtbild im Auge zu behalten und aktiv an Lösungen mitzugestalten, indem die sozialen Auswirkungen ingenieurwissenschaftlicher Ansätze, Strategien und Praktiken am Beginn jedes Forschungsprojektes ausführlich reflektiert werden. Forschende sollten gesellschaftliche Bedürfnis nach Transparenz und Information über ihre Arbeit anerkennen neue Konzepte entwickeln, um die Komplexität von Produktionsverfahren und Lebenszyklen zu veranschaulichen. Die Forschung sollte Modelle liefern, die zeigen, dass sich Nachhaltigkeit und wirtschaftlicher Erfolg nicht gegenseitig ausschließen (Anreiz für Unternehmen) und diese aktiv fördern. Weiter sollten neue, kombinierter Recycling- und Wiederverwertungsstrategien entwickelt werden, um die Lebensdauer von Produkten zu verlängern oder

zu erweitern, z.B. indem beschädigte Komponenten einfach ersetzt werden oder für andere Produkte wiederverwertet werden können. Normen und Standards für Einzelteile und Produktgruppen könnten die Wiederverwendung bzw. Verwertbarkeit durch Individuen oder Unternehmen erleichtern oder sogar vorschreiben.

4 Transfer und Fallbeispiele

Durch den transdisziplinären Ansatz der „Denkschule“ konnten wir nicht nur eine Vielzahl thematischer Fragestellungen für die Arbeit im FK LEM gewinnen, sondern v.a. auch erkenntnistheoretische Ansätze, wie und auf welche Weise Leichtbau im Rahmen der großen gesellschaftlichen Herausforderungen zu verorten ist und welche Herangehensweisen in Forschung und Entwicklung dafür erforderlich sind. Der erkenntnistheoretische Mehrwert bestand darin, dass durch die transdisziplinäre Auseinandersetzung die Art und Weise, wie technische Fragestellungen traditionell formuliert, betrachtet, (de-)kontextualisiert und entwickelt werden, für die Beteiligten des FK LEM grundlegend und konstruktiv in Frage gestellt wurde. Neue, „epistemologisch angemessene“, d.h. auf diesen Erkenntnissen aufbauende Fragestellungen und umfassendere Betrachtungsweisen sollten die weitere Forschung anleiten.

Der Transfer transdisziplinärer Ergebnisse in die Forschungspraxis ist ein Prozess, der Zeit, Konsequenz und geeignete Strukturen erfordert. Dies stellt projektförmige Organisationen vor besondere Herausforderungen; in unserem Fall kann auf Strukturen des FK LEM und des Fachbereichs Technik & Diversity aufgebaut werden. Der Transfer erfolgte dabei zum einen in Form konkreter Projekt- bzw. Produktentwicklungen. So stellt beispielsweise die in Workshop 2 vorgestellte Leichtbautüre bereits ein Ergebnis der Arbeit im Kolleg dar, die aus Erkenntnissen über organisatorisch-therapeutische Abläufe in einer Pflegeeinrichtung resultierte. Die „epistemologische Angemessenheit“ wird zudem als kritische Arbeitshaltung eingebracht, mit der Problemdefinitionen und Forschungsfragen aufgegriffen und

entwickelt werden. Ein Beispiel hierfür ist die neu entwickelte Forschungsstrategie des FK LEM 2019-2022, deren Clusterthemen, Hybridleichtbau & Diversität im Einsatz- & Rettungswesen, Recycling & Re-Use Potentiale und Individualisierte Medizintechnik auf transdisziplinär erhobenen Bedürfnisse aufbaut. Bemerkenswert ist, dass diese Strategie am internen Tag der Denkschule mit den involvierten Promovierenden und Professor*innen der beteiligten Lehrstühle ausgearbeitet wurde; dabei zeigte sich auch, dass die Denkschule erst als „wiederkehrendes“ Form ihr volles Potential entfaltet – im Sinne empirischer Daten, theoretischer Sättigung und der Entwicklung der Forschungskompetenzen, die unterschiedlichen Wissensformen valide und konstruktiv zu integrieren.

Die in der Denkschule erhobene Forderung, soziale Dimensionen bereits am Beginn jedes Forschungsvorhabens zu reflektieren, wurde im FK LEM mit der Einführung eines jährlich stattfindenden Forschungsseminars adressiert, in welchem die Ausarbeitung sozialer Bezüge aktueller Forschungsvorhaben professionell angeleitet wird. Das in allen Workshops der Denkschule als zentral erachtete Thema der Durchsetzung von Normen wird über die Implementierung der Forschungsdimension „Governance“ im FK LEM realisiert. Auch über das Kolleg hinaus wird der Ansatz in die Lehre eingebracht, etwa durch die Verankerung entsprechender Lehrveranstaltungen zu kritischem Technikdenken, Diversität und transdisziplinärer Forschung in den neuen Curricula der Fakultät für Maschinenbau. In diesem Kontext entsteht auch eine interdisziplinär betreute Masterarbeit, welche Leichtbaupotential im Feuerwehrwesen unter Diversitätsaspekten analysiert.

In weiteren Kooperationen der Fachbereiche der Fakultät Maschinenbau wurden transdisziplinäre Aspekte als Forschungsdimensionen in neuen Projektentwicklungen implementiert.

Abschließend stellen wir dazu jene Fallbeispiele vor, in welchen Technische Unterstützungssysteme entwickelt werden sollen:

Projekt FORTESY – Organisation, Technik, Diversität: Neue Ansätze für Sicherheit, Effizienz und soziale Integration im Feuerwehrwesen; gefördert vom BMBF (16ITA208).

Projekt ExtrA – Entwicklung simulationsgestützter Assistenten für die Extrusion: Entwicklung eines Assistenzsystems für die Kunststoffverarbeitung zur Verbesserung von Produktivität, Produktqualität und Arbeitsbedingungen durch Kombination von Expert*innenwissen, Simulation und Automatisierungstechnik. Geplanter Beginn: 02.2019

Projekt GesuSmart – Entwicklung einer smarten Gesundheitsmatte, angepasst an therapeutische Abläufe und Datenschutzbedürfnisse.

5 Ausblick

Didaktisch folgern wir, dass die intensive Diskussion mit einer Vielzahl von Akteuren und Wissensformen, der Austausch von Erfahrungen, Ideen und Perspektiven, der Prozess der Dokumentation und Analyse und die interne Diskussion über Ergebnisse und Implikationen unseren Studierenden tiefe Einblicke in die komplexe Verflechtung scheinbar abstrakter Ingenieursthemen mit sozialem Gemeinwohl liefern konnte. Das sich entwickelnde Engagement bei der Umsetzung in ganz verschiedenen Forschungsprojekten der Fakultät Maschinenbau werten wir ebenfalls als Erfolg. Schließlich ist mit Blick auf die Gesellschaftspartner*innen zu bilanzieren, dass die Einladung zu Dialog und kreativem Austausch sich für die Entwicklung innovativer, bedarfsorientierter Technologien als zwar langfristig zu verfolgende, dann jedoch sehr fruchtbare Strategie erweist. Wir hoffen daher, mit diesen ersten Schritten weitere Veränderungen in Richtung einer „Culture of Engagement“ anzustoßen.

6 Literatur

[Bec86] U. Beck: Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1986.

- [Ber18] A.-L. Berscheid und B. Riegraf: Wissenschaft im Angesicht „Großer gesellschaftlicher Herausforderungen“ – Das Beispiel der Forschung an hybriden Leitbaumaterialien. Bielefeld: transcript, 2018.
- [Boh10] R. Bohnsack, N. Pfaff und V. Weller (eds.): Qualitative analysis and documentary method in international research. Opladen: B. Budrich, 2010.
- [Cec00] E. A. Cech: Culture of Disengagement in Engineering Education?. Science, Technology, & Human Values, vol. 39, no. 1, S. 42-72, 2014.
- [Cec13] E. A. Cech: The (Mis)Framing of Social Justice: Why Meritocracy and Depoliticization Hinder Engineers’ Ability to Think About Social Injustices. Engineering Education for Social Justice: Critical Explorations and Opportunities (edited by J. Lucena), S. 67-84, New York: Springer, 2013.
- [Fle12] L. Fleck: Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. 9. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2012.
- [Poh17] C. Pohl, P. Krütli und M. Stauffacher: Ten Reflective Steps for Rendering Research Societally Relevant. In: GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society 26 (1), S. 43-51. DOI: 10.14512/gaia.26.1.10, 2017.
- [Poh11] C. Pohl: What is progress in transdisciplinary research?. Futures vol. 43, no. 6, S. 618-626, 2011.
- [Wis15] Wissenschaftsrat: Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über Große gesellschaftliche Herausforderungen. Positionspapier (Drs. 4594-15). Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2018.

Intelligente Orientierungshilfe für seheingeschränkte Personen Ansatz für die Verbesserung des selbstbestimmten Lebens im öffentlichen Personennahverkehr

R. Weidner^{1,2}, J. Müller³, N. Tornow und F. Rimmele

¹ Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
Robert.Weidner@hsu-hh.de

² Universität Innsbruck, Institut für Mechatronik, Professur für Fertigungstechnik
Robert.Weidner@uibk.ac.at

³ Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Professur für Regelungstechnik
jmueller@hsu-hh.de

Kurzzusammenfassung

Alleine in Deutschland stehen täglich über 350.000 seheingeschränkte Menschen vor großen Herausforderungen. Zur Unterstützung dieses Personenkreises wurden zahlreiche Ansätze entwickelt, die jeweils gezielte Aktivitäten unterstützen, z.B. Blindenleitlinien. Eine Integration entsprechender Personen in die Gesellschaft ist häufig schwierig. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz zur Unterstützung seheingeschränkter Personen im öffentlichen Personennahverkehr vor. Durch einen intelligenten Blindenstock, der über ein akustische Signal Informationen zur räumlichen Positionierung von Türen bei Verkehrsmitteln im öffentlichen Nahverkehr berechnet, soll die Navigation in diesem Umfeld unterstützt werden. Neben dem Ansatz wird eine exemplarische Auswertung sowie ein Vergleich der Ergebnisse zur Analyse der Genauigkeit zusammengefasst.

Abstract

„Intelligent orientation aid for people with limited vision – Approach for improving self-determined living in public transport

In Germany, more than 350,000 visually impaired people face great challenges each day. To support this group of people, numerous approaches have been developed for supporting individual activities, e.g. blind guidelines. It is often difficult to integrate visual impaired people into society. This article presents an approach to assist people with reduced vision in local public transportation. By an intelligent blind person's cane, which calculates the information about the location of doors of public transportation vehicles via the acoustic signal, the navigation will be supported. In addition to the approach, an exemplary evaluation as well as a comparison of the results for analyzing the accuracy is presented.

Keywords

Unterstützungssystem, intelligentes Hilfsmittel, Öffentlicher Nahverkehr

1 Einleitung

Was für gesunde Menschen selbstverständlich ist, stellt Menschen mit körperlichen Einschränkungen vor enorme Herausforderungen. So besitzen Personen mit Erkrankungen am

Muskel-Skelett-System eine reduzierte Mobilität oder Personen mit Sehschwäche ein eingeschränktes Orientierungsvermögen. Alleine in Deutschland leben – viele davon in Städten und unmittelbarer Umgebung – über 350.000 sehbehinderte Menschen [Sta17]. Ein häufiges

Verkehrsmittel in und um Großstädte nimmt der öffentliche Personennahverkehr ein. Zur Unterstützung der Orientierung im öffentlichen Bereich wurden bereits zahlreiche Ansätze zur Orientierung dieser Personengruppe entwickelt und umgesetzt, z.B. akustische Signale und profilierter Untergrund.

Eine besondere Herausforderung für Seheingeschränkte bzw. erblindete Personen ist zum einen das Erkennen von Objekten sowie zum anderen die Fortbewegung in der Öffentlichkeit. Ansätze zur Verbesserung der Barrierefreiheit (z.B. ergonomische Anpassungen der Infrastruktur für Rollstuhlfahrer oder Systeme zur Unterstützung der Navigation [Ebe13, Sie13]) werden bereits umgesetzt. Diese adressieren primär den Kreis der motorisch-eingeschränkten Personen. [Sch13].

Der vorliegende Beitrag adressiert die Navigation von seheingeschränkten bzw. erblindeten Personen für Szenarien im öffentlichen Nahverkehr. Aufbauend auf bestehenden Überlegungen wird ein neuartiger Ansatz zur Identifikation von Türen im öffentlichen Nahverkehr beschrieben und anhand eines Beispiels näher erläutert.

2 Ansätze zur Unterstützung seheingeschränkter Personen

Für die Unterstützung seheingeschränkter Personen, um bspw. deren Selbstständigkeit zu steigern, wurden bereits verschiedene Systemansätze oder Ansätze entwickelt.

Weit verbreitet ist der Einsatz eines Blindenlangstockes, der beim „Abtasten“ der nahen Umgebung unterstützt (vgl. [Mue09]). Eine Unterstützung hierbei kann auch durch einen Blindenführhund realisiert werden.

Speziell an Ampeln werden akustische oder taktile Hilfsmittel eingesetzt, die eine Information über die Ampelphase bereitstellen (vgl. [Hub08, Fal10]). Im Bereich von Haltestellen im öffentlichen Nahverkehr lassen sich taktile Leitstreifen zur Orientierung, bspw. an Bahnsteigen und Haltestellen einsetzen, an denen sich mit Hilfe von Blindenstöcken orien-

tiert werden kann. Neuere Entwicklungen stellen bspw. vibrierende Armbänder oder intelligente Brillen dar (vgl. z.B. [Nie08]).

3 Ansatz für eine technische Orientierungshilfe

Nachfolgend wird auf zentrale Funktionen für eine technische Orientierungshilfe zur Identifikation von Türen im öffentlichen Personennahverkehr und dem grundlegenden Konzept eingegangen.

3.1 Zentrale Funktionen

Eine ausführliche Analyse der Ausgangssituation und Bedarfe, u.a. mit Organisationen der öffentlichen Hand und Betroffenen, hat gezeigt, dass für den adressierten Kontext vier Funktionen von zentraler Bedeutung sind:

- Identifikation der Türen von Verkehrsmitteln,
- Bestimmung der relativen Position der blinden bzw. seheingeschränkten Person zur Tür des Verkehrsmittels,
- Übermittlung des Startsignals („Losgehen“) an die Systemnutzerin/den Systemnutzer sowie
- Navigation vom Ausgangsort in das Verkehrsmittel.

In Abbildung 1 sind diese skizzenhaft am Beispiel einer S-Bahn dargestellt.

3.2 Konzept

Zur Lösung der Fragestellung gibt es verschiedene Ansätze. Bspw. lassen sich Ansätze unter Nutzung optischer Verfahren oder dem Einsatz von Navigationssystemen verwenden. Nachfolgend wird eine Methode vorgestellt, welche die Identifikation und Navigation auf Basis des akustischen Signals des einfahrenden Verkehrsmittel realisiert. Der Ansatz sieht vor, dass ein Mikrofon an bspw. einem Blindenlangstock montiert wird, mit dessen Hilfe das Geräusch einer z.B. einfahrenden S-Bahn aufgenommen und anschließend analysiert wird (siehe exemplarisch Abbildung 2). Die Navigation erfolgt mit an den Blindenlangstock montierte Vibrationsmotoren. Einen

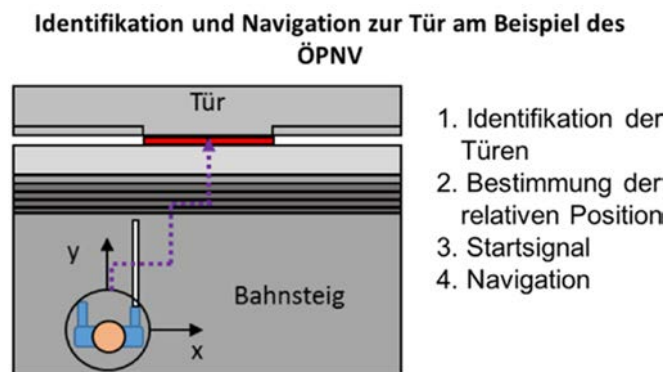


Abbildung 1: Skizzenhafte Darstellung der zentrale Funktionen

zentralen Stellenwert nimmt die Signalverarbeitung ein.

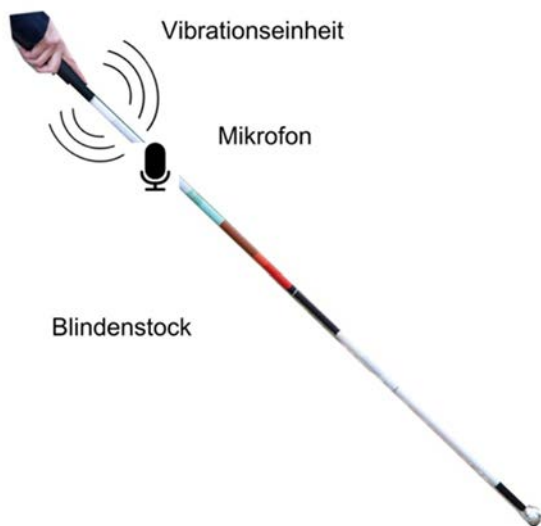


Abbildung 2: Konzept der Orientierungshilfe

4 Beschreibung der Vorgehensweise

Der nachfolgend beschriebene Ansatz nutzt das akustische Signal, das beim Einfahren eines Verkehrsmittels aufgenommen wird. Auf dessen Basis wird die Tür des öffentlichen Verkehrsmittel in Relation zum relativen Standort des Aufnahmeortes berechnet.

4.1 Signalaufnahme und -verarbeitung

Zentrales Element der hier vorgestellten Lösung ist die Aufzeichnung der Geräusche ein-fahrender Verkehrsmittel mittels eines oder mehrerer Mikrofone. Mit Hilfe der in dem Signal enthaltenen Informationen sollen die Positionen relevanter Merkmale wie die Türen des

Verkehrsmittels identifiziert werden. Das analoge Ausgangssignal (Geräusch des einfahrenden Verkehrsmittels) wird zur Auswertung der Position zwischen Tür und Person herangezogen.

Das analoge Signal wird auf Grundlage einer vorher eingestellten Abtastrate in ein diskretes Signal, eine Zahlenfolge, umgewandelt. Dieses diskrete Signal wird analysiert und insofern erforderlich hierfür mit digitalen Filtern bearbeitet, um die für die örtliche Identifizierung der Hauptschallquellen wesentlichen Signale herauszufiltern. Das gefilterte Signal kann zur Bestimmung der relativen Position zu charakteristischen Merkmalen genutzt werden.

Jedes Verkehrsmittel hat Geräuschquellen, z.B. Antriebseinheit. Diese sind auf der Tonspur erkennbar und werden als Referenz herangezogen. Nach Aufnahme des analogen Tonsignals muss dieses in ein digitales Signal umgewandelt werden (A/D-Wandlung). Das erhaltene digitale Signal kann nun verarbeitet und ausgewertet werden. Je nach Signal, lassen sich verschiedene Filter anwenden, um das Signal entsprechend zu bearbeiten, z.B. um ein „Dauerrauschen“ vom relevanten Tonmaterial zu unterscheiden. Die Filterauswahl erfolgt mit Hilfe einer Analyse des Frequenzspektrums des digitalen Signals. Befinden sich beispielsweise die relevanten Frequenzen im hochfrequenten Bereich, so wird ein Hochpass-Filter eingesetzt.

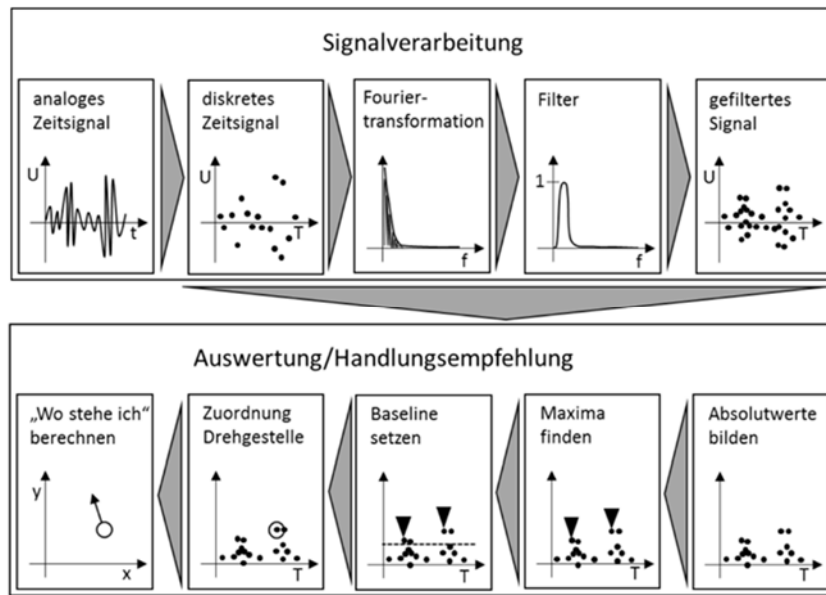


Abbildung 3: Übersicht der Vorgehensweise

4.2 Signalauswertung

Nach Signalaufbereitung kann die Auswertung durchgeführt werden. Um die charakteristischen Merkmale zu identifizieren, werden zunächst die lokalen Maxima bestimmt. Hierdurch kann der Zeitpunkt bestimmt werden, an dem ein Merkmal an dem Aufnahmeort vorbeifährt. Je mehr Merkmale ein Verkehrsmittel besitzt, desto genauer kann die Lokalisierung erfolgen. Mit Hilfe der Informationen der charakteristischen Merkmale wird die relative Position der Person zum Verkehrsmittel berechnet. Hierfür wird zunächst ein Mapping zwischen den Informationen der charakteristischen Merkmale und den technischen Informationen zu den Merkmalen (z.B. Abstände zwischen zwei Merkmalen) durchgeführt. Innerhalb der sich so ergebenden Intervalle lassen sich die Beschleunigungswerte berechnen, um so eine Verzögerung des Verkehrsmittels zu erkennen und dies zur Berechnung der relativen Position der Person zum Verkehrsmittel zu nutzen.

Generell wird angenommen, dass ein Verkehrsmittel $n+1$ charakteristische Merkmale besitzt. Für die Positionsbestimmung werden die durchschnittliche Geschwindigkeit Δv_0 zwischen dem Merkmal n und $n-1$, die durchschnittliche Geschwindigkeit Δv_1 zwischen dem Merkmal n und $n+1$, der Koeffizient C ,

der den Zuwachs der gleichmäßig verzögerten Beschleunigung (da von einer Bremsung ausgegangen wird) zwischen den Merkmalen n und $n+1$ als arithmetisches Mittel sowie die durchschnittliche Beschleunigung Δa_1 zwischen den Merkmalen n und $n+1$ herangezogen.

$$\Delta v_0 = \frac{s_{M_n} - s_{M_{n-1}}}{t_{M_n} - t_{M_{n-1}}}$$

$$\Delta v_1 = \frac{s_{M_{n+1}} - s_{M_n}}{t_{M_{n+1}} - t_{M_n}}$$

$$C = \frac{\sum_{i=0}^x \Delta a_i}{x + 1}$$

$$\Delta a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}$$

Die relative Position der seheingeschränkten bzw. blinden Person zu einem angehaltenen Verkehrsmittel zur Front eines Verkehrsmittels auf Basis der beschriebenen Vorgehensweise lässt sich mittels folgender Gleichung berechnen.

$$s_{cp} = \frac{1}{2} a_0 t_0^2 + \frac{1}{2} a_1 t_1^2 + \frac{1}{2} a_1 t_2^2 + v_0 t + s_0$$

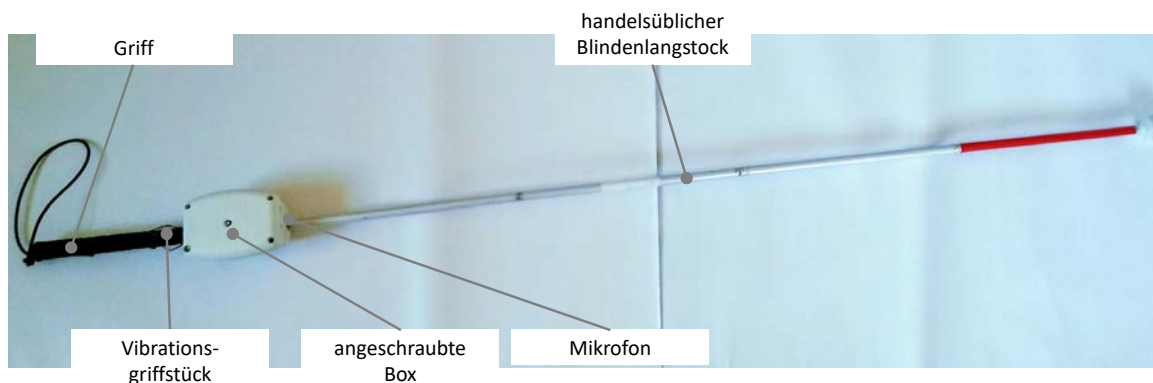


Abbildung 4: Funktionsmuster des Blindenstocks

5 Exemplarische Umsetzung als Funktionsmuster

Auf Basis der grundlegenden Funktionen des Konzepts wurde ein Funktionsmuster der technischen Orientierungshilfe aufgebaut, um die Signalaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe überprüfen zu können (siehe Abbildung 4). Ein Vorteil der gewählten Datenverarbeitung liegt darin, dass mit Hilfe der aufgenommenen Daten und der Kenntnis über die Aufnahmebedingungen (Aufnahmefrequenz) eine Offlineauswertung und -überprüfung erfolgen kann.

6 Konzeptvalidierung

Mit Hilfe des aufgebauten Funktionsmusters wurden die zentralen Funktionalitäten im Rahmen der Konzeptvalidierung analysiert. Hierfür wurden Messungen an einer S-Bahnstation durchgeführt. Nachfolgend werden die Zielsetzung, der Messaufbau und die Versuchsdurchführung sowie die zentralen Ergebnisse dargestellt.

6.1 Zielsetzung

Ziel der Validierung waren:

- Validierung des Konzepts – insbesondere der Signalverarbeitung und Ergebnisdarstellung – anhand exemplarischer Daten aus dem realen Kontext.
- Einfluss des Standpunktes der Person auf dem Bahnsteig sowie der Mikrofonhöhe über dem Bahnsteig auf die Ergebnisqualität.

6.2 Messaufbau und Versuchsdurchführung

Für die Messaufnahmen wurde der in Abbildung 5 dargestellte Versuchsaufbau mit einer Kamera und vier Mikrofonen verwendet. Zur Validierung wurden mehrere Tonspuren an einer S-Bahn Haltestelle mit einem S-Bahn-Typ aufgenommen. Das aufgezeichnete Video wurde herangezogen, um einen Referenzwert zu haben.

Aufgenommen wurde eine S-Bahn mit zwei Zugteilen zu jeweils drei Wagons.

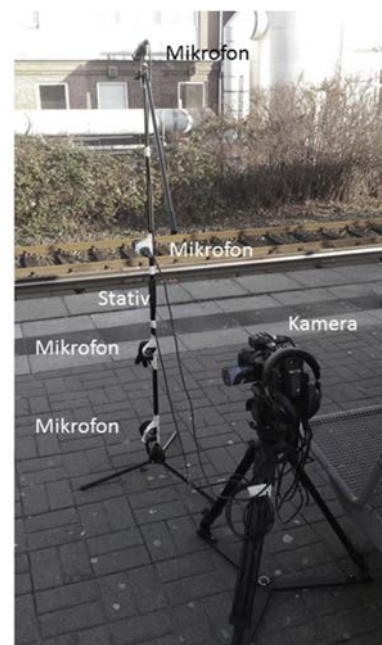


Abbildung 5: Messaufbau zur Konzeptvalidierung

7 Ergebnis der Validierung

Die Validierung erfolgte anhand der aufgenommenen Audiosignale. Das Vorgehen der Auswertung ist in Abbildung 6 zusammengefasst. Das unbearbeitete, digitale Audiosignal der einfahrenden S-Bahn wurde in Matlab® ausgewertet.

Bei erster Analyse hat sich gezeigt, dass sich die angetriebenen Drehgestelle der Bahn für die Auswertung eignen, die es zeitlich im akustischen Signal zu bestimmen gilt. Aus dem Frequenzspektrum und der Matlab® Filterentwurfsfunktion lässt sich ableiten, dass sich ein Butterworth Bandpass Filter vierter Ordnung zur Bearbeitung des Signals eignet. Mittels des Butterworth Bandpassfilter werden die wichtigsten Informationen aus dem Signal extrahiert. Aus dem so gefilterten Signal lassen sich über die Absolutwerte die Maxima bestimmen (siehe 6. in Abbildung 6). Diese lassen sich den einzelnen, an der Person vorbeigefahrenen Fahrgestellen zuordnen.

Mit Hilfe der identifizierten Maxima lässt sich nach beschriebener Berechnungsgrundlage die Berechnung der Türposition in Relation zur Person durchführen. Die Ergebnisse wurden mit dem aufgenommenen Video verglichen.

Der Abgleich für den Zeitwert sowie die Abweichung der Ergebnisse von Ton- und Videosignal sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Abweichung der Zeitwerte liegen zwischen 0 und 2,5 Prozent und sind somit hinreichend genau für eine Lokalisierung von Türen sowie für die Navigation zu den Türen.

8 Zusammenfassung

Die Unterstützung des Menschen bei der Ausführung seiner Alltagsaktivitäten stellt für die Gesellschaft einen wichtigen Stellenwert dar. Einen besonderen Stellenwert nimmt hierbei die Unterstützung von Personen mit Handicap ein. Ausgehend von der Grundmotivation stellt der Beitrag einen Ansatz zur Unterstützung seheingeschränkter Personen im öffentlichen Personennahverkehr vor. Dieser Ansatz hilft bei der Navigation zu Türen von Verkehrsmitteln. Herangezogen wird hierbei das akustische Signal des einfahren Verkehrsmittels. Die Funktionsweise wurde anhand eines Beispiels für eine S-Bahn sowie die Ergebnisqualität im Vergleich mit einem Videosignal exemplarisch aufgezeigt.

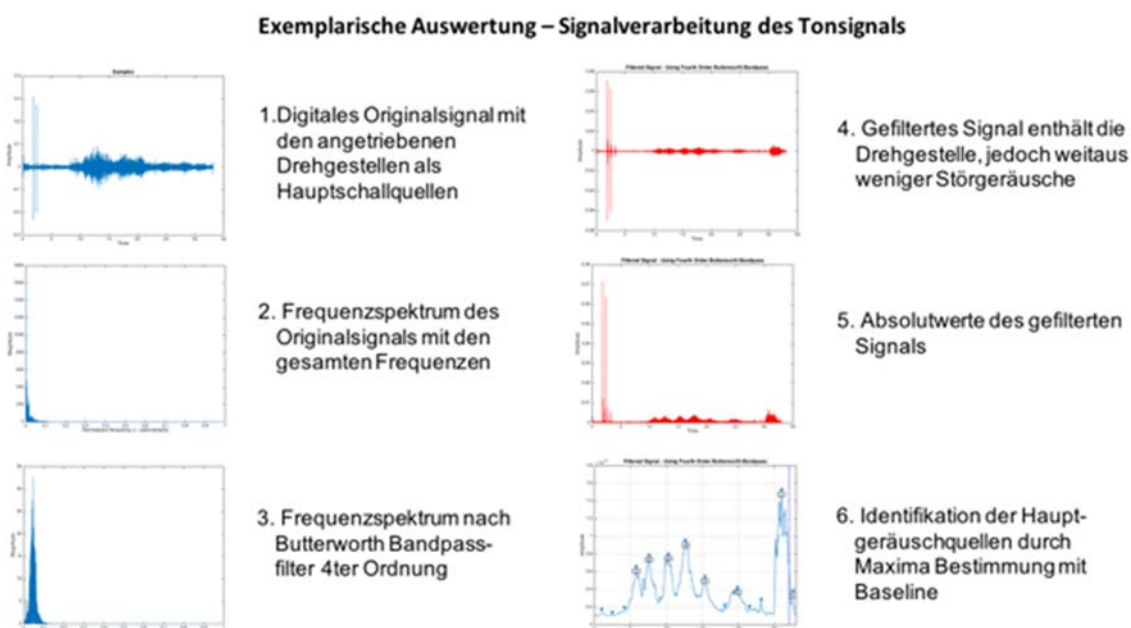


Abbildung 6: Auswertung einer exemplarischen S-Bahn Aufnahme

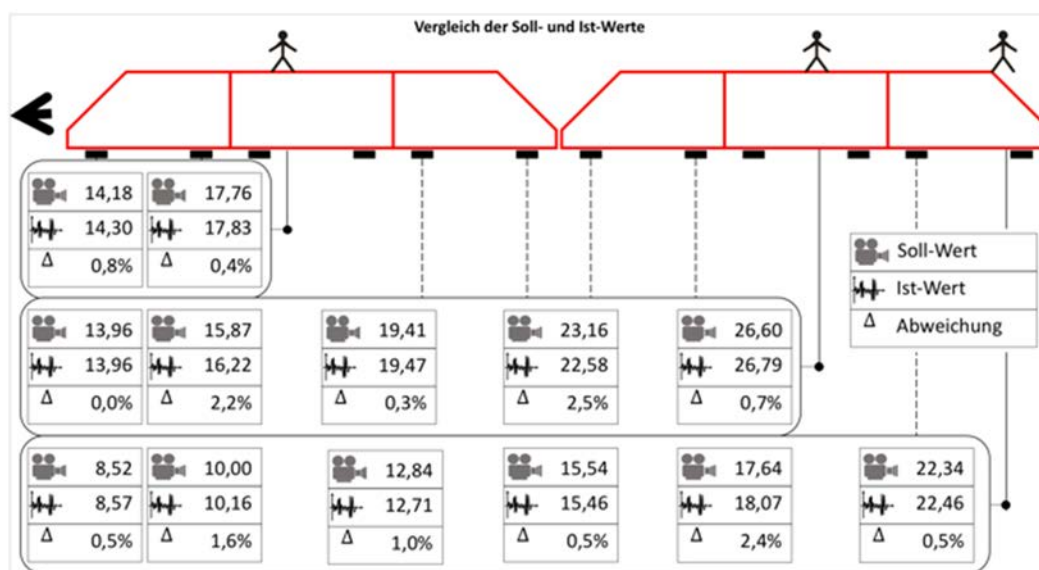


Abbildung 7: Auswertung einer exemplarischen S-Bahn Aufnahme

Danksagung

Diese Forschung (Projekt "smartASSIST – Smart, Adjustable, Soft and Intelligent Support Technologies", Förderkennzeichen 16SV7114) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion vor dem Hintergrund des demographischen Wandels“ gefördert und durch die VDI/VDE INNOVATION GmbH betreut.

Zur Analyse der Bedarfslage von sehingeschränkten bzw. erblindeten Personen unterstützte der Blinden- und Sehbehindertenverein Hamburg e.V. mit vielen sehr nützlichen Informationen.

Mit Hilfe des Hamburger Verkehrsverbundes HVV, der Deutschen Bahn sowie der S-Bahn Hamburg GmbH wurden für Aufnahmearbeiten am Bahnsteig während des S-Bahn-Betriebes wichtige Genehmigungen erteilt.

Literatur

- [Ebe13] M. Eberlein und A. Klein-Hitpaß: Altengerechter Umbau der Infrastruktur: Investitionsbedarf der Städte und Gemeinden. Deutsches Institut für Urbanistik, 2013.
- [Fal10] M. F. Falda, G. Brugnoli und S. Grahl: Verkehrsregelungssysteme: Behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, 2010.
- [Hub08] A. Hub: Auf dem Weg zur Barrierefreiheit. URL: ftp://ftp.informatik.uni-stuttgart.de/pub/library/misc.ustuttgart_fi/INMISC-2008-06/INMISC-2008-06.pdf, aufgerufen am 15.09.2018, 2008.
- [Mue09] W. Mühr: Markt und Praxis - Special - Barrierefreie Verkehrsanlagen – Gestaltung von Fußgänger-Querungsanlagen und ihre spezifischen Planungsanforderungen. Kirschbaum Verlag GmbH - Straßenverkehrstechnik Heft 5/2009
- [Nie08] R. Kniewel und C. Hipp: Gestaltung einer haptischen Navigationshilfe für den mobilen Bereich. In: H. Brau, S. Diefenbach, M. Hassenzahl, F. Koller, M. Peissner und K. Röse (Hrsg.): Tagungsband UP08. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. S. 264-269, 2008.

- [Sch13] C. Schulze: Visuelle Barrierefreiheit – Besondere Herausforderung an die Verkehrsinfrastruktur, 2013.
- [Sie13] J. Siegmann. Anpassung des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs an die Anforderungen älterer Menschen. Mobilität und demografische Entwicklung: 267, 2013.
- [Sta17] statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/247948/umfrage/anzahl-der-sehbe-hinderten-in-deutschland-nach-schwere-der-behinderung/>. aufgerufen am 09.01.2017.

Design of Soft Power Suit for Lower Back Assistance

Z. Yao¹, R. Weidner^{1,2}, B. Otten¹ und M. Fethke¹

¹ Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik
zhejun.yao@hsu-hh.de, robert.weidner@hsu-hh.de, ben.otten@hsu-hh.de,
mauritz.fethke@hsu-hh.de

² Universität Innsbruck, Institut für Mechatronik, Professur für Fertigungstechnik
Robert.Weidner@uibk.ac.at

Abstract

Low back disorders represent one of the leading causes of sick leave from work. The leading causes of low back pain are poor posture and lumbar spine overloading. In order to reduce the physical load on the spine, we are developing power suits supporting forward bending and lifting. In this paper, we describe the design principle of soft power suits, showing two prototypes built in our lab. The design focuses on the textile-based structure of power suit and actuator with flexible transmission. Finally, we summarize the methods for the evaluation of power suits and show the results of our preliminary experiments, how the prototype systems affect the body.

Kurzzusammenfassung

Weiche Robotik-Anzüge für die Unterstützung des unteren Rückens

Erkrankungen des unteren Rückenbereichs sind eine der Hauptursachen für Krankstand bei der Arbeit. Die Hauptursachen für Schmerzen im unteren Rückenbereich sind eine schlechte Haltung und Überlastung der Lendenwirbelsäule. Um die physische Belastung der Wirbelsäule zu reduzieren, entwickeln wir Robotik-Anzüge, die das Vorbeugen und Heben unterstützen. In diesem Beitrag beschreiben wir das Konstruktionsprinzip von weichen Robotik-Anzüge und zeigen zwei Prototypen aus unserem Labor. Das Design konzentriert sich auf die textilbasierte Struktur von Anzug und Antrieb mit flexibler Übertragungsmechanismus. Abschließend fassen wir die Methoden zur Auswertung von Robotik-Anzügen zusammen und zeigen die Ergebnisse unserer Vorversuche, wie sich die Prototypen auf den Körper auswirken.

Keywords

Power suit, low back, wearable robotics, physical support

1 Introduction

With an average of 21 absent days each year, care worker tops the list of occupations of high sick leave rates in Germany. [Ges13] Low back disorders represent the leading cause of sick leave. Various studies suggest that 40 to 76 percent of care workers in Germany suffer from low back pain. The leading causes of low back pain are poor posture and lumbar spine overloading. Lifting patients and static bending are regular movements of care workers that lead to high strain on the lumbar spine. In addition, low back pain is one of the most

common musculoskeletal disorders in many workplaces. According to the Second European Survey on Working Conditions, 30% of the European workers reported that their work causes back problems [EU00].

Low back disorders related to the workplace are one of the various work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) that lead to social costs and reduce company profitability. Due to the increasing amount of workers suffering from WMSDs, wearable support systems are recently developed for workers to prevent

these disorders. These systems focus on supporting different body parts, such as arms, legs, hands, and back. In the last years, we have developed several wearable support systems addressing shoulders [Wei16, Ber16, Ott18] and hands [Yao17]. Our previous study shows that shoulders and back are the most burdening parts in manual activities [Wei17]. To supplement our current systems, we are developing soft wearable systems for the lower back.

The recent wearable support systems for back assistance can be classified into two groups: rigid exoskeletons and soft power suits. Exoskeletons aim to replicate the degree of freedom of human joints in rigid frames, while power suits focus on duplicating the muscular forces in textile-based structures. The majority of the commercially available back support systems are rigid exoskeletons, such as the “Laevo” (Laevo B.V., NL), the “backX” (SuitX, USA), the “HAL Lumbar Support” (CYBERDYNE, JP) and the “AWN-03” (ActiveLink Corporation, JP). Although they differ in actuation and construction details, they work under a similar principle of transmitting the force from torso to the front of the thigh and generating rotation in the rigid structure around the hips. Their attachment points on the torso are different, including front chest, shoulders, and abdomen.

The power suits [Tan08, Ino17, Ima11] mainly start from the shoulders and terminate on various parts of the body: pelvis, thighs, shins, and heels. They generate forces to assist the spine muscles or/and the posterior hip muscles. In comparison with a rigid exoskeleton frame, a textile-based structure is significantly lighter and requires less power to drive. Moreover, the fabric structure conforms better to the body without restrictions to the wearer’s movements. However, there are still some challenges in designing a power suit, such as determining the stiffness of the textile-based structure as a trade-off between power transfer efficiency and comfort. Although soft suit averts the alignment problem, improper force transmission pathway and poor attachment to

the body can still cause discomfort and low efficiency of the suit. Furthermore, the actuation unit provides another challenge for developing a lightweight power suit system. Compact actuators with flexible transmissions are required in order to minimize the entire mass and complement the textile-based structure.

In this paper, we present two prototype power suits (see Figure 1) capable of reducing physical load on the spine by dynamic lifting and static forward bending. We describe the design principle of the textile-based structures, showing two examples of flexible transmission for power suits. Finally, we summarize the methods for the evaluation of power suits and show the results of our preliminary experiments.



Figure 1: Overviews of two power suits developed in our lab. The left suit is pneumatically powered and is designed with a path from the shoulders to the heels. The right suit has a structure ends up at the knee and is driven by two twisted string actuators (TSAs)

2 Textile-based structure

The primary functions of a well-designed textile-based structure are: (1) attaching the system to the body safely and comfortably; (2) transferring forces through paths along the muscular forces. Moreover, The fabric structure should not restrict the natural motion of the wearer. Based on these requirements we developed different kinds of fabric structures

of power suits for lower back assistance – two of them are focused in this paper.

Design 1

The first system utilizes a novel soft pneumatic mechanism to mimic the elongation of the back during forward bending. The fabric structure of the system consists of shoulder straps, a hip belt, leg straps extends from the hip belt to the heel, and knee braces to fit the leg straps to the body (see the top diagram in Figure 2).

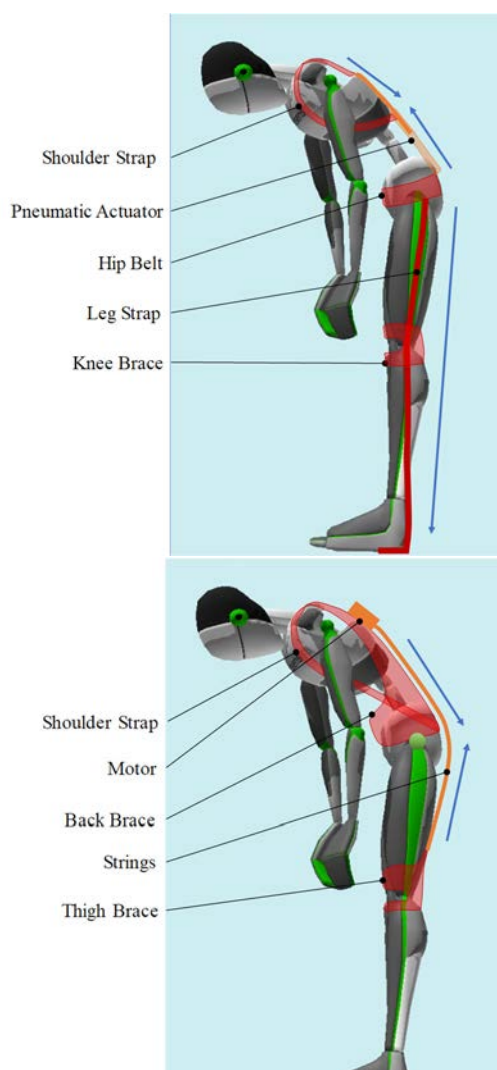


Figure 2: The top diagram shows an overview of the pneumatic power suit. The bottom diagram shows an overview of the power suit with TSA. The arrows in both diagrams represent the tension force inside the power suits

The shoulder straps and the hip belt are standard backpack components that are located on the top and bottom of the back, respectively. The pneumatic mechanism connects both parts and changes length according to the elongation of the back while bending forward. When the actuator actively stops at a position, the tensile force between the shoulder straps and the hip belt holds the back at a static bending posture. If the actuator actively reduces the distance between the shoulder straps and the hip belt, the tensile force pulls the back up. Shoulders and the pelvis have relatively thin layers of soft tissues over the bones, thereby reducing the elasticity of the attachment points and leading to high efficiency of force transmission from the suit to the body.

Since the back breadth decreases from pelvis to waist, the hip belt tends to slip upward when the actuator is active. To resolve this issue, two leg straps extend from the heels and connect to the hip belt, preventing it from being pulled up by the actuator. The two leg straps have fixed length and do not restrict the leg motions. Thus, they go along the side of the thighs to the knees and then extend to the heels bypassing the bulks of the calf muscles. Two knee braces prevent the straps from sliding from the side to the back of the legs so that they do not impede the knee and hip movements. The length of the leg straps and the positions of the knee braces on the leg straps are adjustable for various body size. A structure similar to a climbing harness can also hold the hip belt on the pelvis, but it was proven to be uncomfortable in preliminary user experience.

Design 2

An alternative design is presented by the second suit (see the photo to the right in Figure 1). Several studies show that both the lumbar spine and hips are involved in forward bending. [Eso96, Li96] The lumbar-to-hip flexion ratio is high in the early phase of forward bending, and it decreases while bending farther. Conversely, the hips contribute more at the beginning of rising from a forward bend and their participation decreases during the ex-

tension. Based on this understanding, we assume that providing active torque on the hip may assist dynamic bending and rising. As shown in the bottom diagram of Figure 2, the main force path inside the fabric structure of design 2 terminates on the shoulders and the thighs. The fabric structure consists of a back brace and two thigh braces, which are sewn from straps of various stiffnesses. The back brace stabilizes the waist and reminds the wearer to keep the back straight. To increase the stiffness of the suit along the force transmission pathway, inelastic webbing straps are selected for the elastic shoulder straps. To improve comfort, pads are added to the webbing straps. The second part of the suit is attached on the thigh directly above the knee. The increase in diameter of the thigh from the knee towards the hips prevents the thigh straps being pulled up. During actuation, the strings are twisted by the motors and the contraction generates a tensile force to pull the torso up from a forward bend, working parallel with the hamstring muscles and the Erector Spinae muscles.

3 Actuator with flexible transmission

As we mentioned in the introduction, by choosing actuation mechanisms for power suits several points need to be considered, like weight, size, and flexibility. Since the textile-based structure of the power suit is flexible and does not restrict the natural body motion, the actuation mechanism should not reduce the flexibility of the entire system. There are mainly two ways to achieve flexible actuation mechanisms. One is to use soft actuators and another option is to use flexible transmissions. We used two different flexible transmissions for our power suits.

For the pneumatic actuated power suit, we combined the pneumatic cylinder with a novel soft transmission unit whose stiffness is adaptable. The soft transmission unit is composed of two fabric tubes with rubber coatings inside and an elastic band which connects both tubes (see Figure 3). The flexibility of the transmission unit is adjustable through compressed air. It varies from slack and very

extensible to tight and inextensible. When the inner tube is uninflated, it can be easily pulled outward from the outer tube. Once the external tension disappears, the elastic band will pull the inner tube back to its original position. That allows the wearer to move freely when no support is desired. As the inner tube is inflated with compressed air, the surface contact between inner and outer tubes increases, resulting in high friction between both tubes. The friction force prevents the relative displacement of the two tubes and stops the inner tube on its current position. In this case, the cylinder can apply an efficient supporting force to the body thanks to the inextensible transmission unit. In order to achieve effective friction, the diameter of the inner tube is chosen currently to be 1,6 mm larger than the outer tube's. However, it still allows an easy extension of the transmission unit when the inner tube is uninflated. The friction force also depends on the length of the inner tube inside the outer tube. The farther the inner tube extends into the outer tube, the higher the friction.

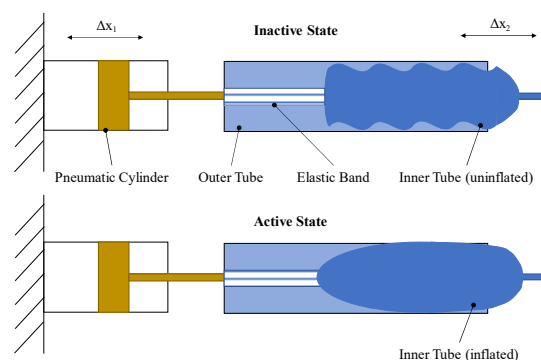


Figure 3: Two states of the soft pneumatic transmission. The top diagram shows the inactive state, in which the inner tube is uninflated so it can easily slide inside the outer tube. The bottom diagram shows the active state, in which the inner tube is fully inflated and expands the outer tube from inside. Because of the increased friction between the two tubes, it is then hard to move the inner tube.

Another example of flexible transmission is the twisted string actuator (TSA). In

comparison with conventional gear transmission, the twisted string transmission has several advantages, such as flexibility and a high power-to-weight ratio. These advantages make TSAs especially suitable for wearable robotic systems. TSAs transfer the rotational motion of the motor to a linear displacement of the strings. As the motor twists the strings, the current length of the strings reduces (see Figure 4); when the motor rotates in the opposite direction, the strings extend to their original length. The strings are light and flexible and can be well-integrated into the fabric structure of the power suit. To minimize the friction force between the strings and the fabric structure, we used Teflon tubes to sheath the strings.

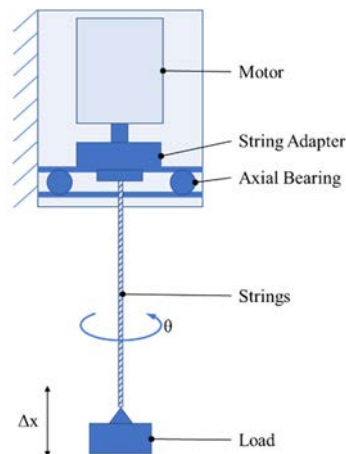


Figure 4: Setup of the twisted string actuator. The axial bearing takes over the axial loading from the motor

When the system is inactive, the strings are slack and do not restrict the wearer's natural motion, like walking and bending. When the strings are twisted, the tensile force along the strings increases and generates a torque at the hip to help the wearer hold a static posture or rise after bending forward (see the bottom diagram in Figure 2).

4 Evaluation

Here we conclude the methods we used to evaluate the effects of the power suits on the body. Since the power suits are developed for particular applications, we need to define application-related tasks for the experiments.

Comparative studies are conducted under two conditions: wearing the power suit in active mode and not wearing the power suit. During the experiments, three indexes were measured and assessed: the user experience, the motion kinematics, and the muscle activities.

4.1 User experience

Since the power suit interacts closely with the wearer, user feedback is a very important evaluation criterion, especially for the wearing comfort and perceived supporting effect.

We carried out a survey experiment with three subjects to evaluate the pneumatic actuated power suit (the left one in Figure 1). The subjects were asked to conduct a static task, holding a 5 kg box with about 30° forward bending for 30 seconds. The subjects kept their arms straight during the task to avoid the influence of various arm flexion angle. Each subject repeated the task for two procedures:

- Procedure 1: wearing the suit with active state → 5 min break → not wearing the suit;
- Procedure 2: not wearing the suit with active state → 5 min break → wearing the suit.

Between the two procedures, there was another 30 min break. After each procedure, the subjects were queried to evaluate the perceived exertion in the task, using the Borg scale [Bor98].

Table 1: Perceived exertion according to Borg scale [Bor98]. (0 = no effort, 10 = maximum effort)

Subject	Procedure	With Support	Without Support
1	1	2	5
	2	3	5
2	1	3	6
	2	4	6
3	1	3	4
	2	2	5
4	1	3	6
	2	3	5
Mean Value		2,88	5,25
Standard Deviation		0,36	0,44

The results of the study are summarized in Table 1. On average, the perceived exertion by

doing the task with the active system (2.88) is much smaller than without the system (5.25). All the subjects report a noticeable relief in the lower back area when the system actively supported them in the task. The wearing comfort is generally described as satisfactory, but the connection between the knee braces and the leg straps could be improved.

4.2 Kinematics

The kinematic analysis aims to compare the hip angle profile and its range of motion in two conditions, wearing the system in active mode vs. not wearing the system. We used Xsens system to record the motion during the test and analyze the effect of our power suit on bending kinematics. Several static and dynamic tasks were defined for the power suit with TSAs:

- Static tasks 1: bending forward at 60° for 4 min;
- Static task 2: holding a 5 kg box and bending forward at 60° for 4 min;
- Dynamic task 1: bending forward at 60° then standing up, repeat this motion for 15 times;
- Dynamic task 2: lifting a 5 kg box from 60° forward bending then putting it back, repeat 15 times;

The subject kept his arms and legs straight in all the tasks.

The hip angle profile from the static tasks shows that it is difficult for the subject to keep in the initial bending position without the assistance of the power suit. In both static tasks without wearing the suit, the subject ended up at a lower position compared with the initial position. In the static task without the load, the torso of the subject dropped continuously. In the task with 5 kg load, we identify several waves in the angle profile which shows that the subject tried to go back to the initial position but still dropped again because of the heavy load. However, in both static tasks with the supporting of the power suit, there are stable profiles of the hip angle remaining in the initial positions.

The results of the dynamic tasks show that there is no significant change in the range of motion of the hip by wearing the power suit.

Only when dynamically lifting the 5 kg load the subject did not arrive at the full standing position with the system (8.46° with support vs. 2.53° without the suit). That can be caused by the elongation of the strings during the test since we defined a fixed initial position of the motor.

4.3 Muscle activity

In order to analyze the relief effect of the power suit on the muscles, we used surface EMG (Myon AG, CH) to measure the activities of the muscles which are most relevant for the tasks mentioned above. The muscles we selected for the tasks are Erector Spinae and Quadratus Lumborum for lumbar spine flexion and extension, as well as Gluteus, Semitendinosus and Biceps Femoris for hip flexion and extension.

By comparing the ensemble average profiles of the EMG signal and the mean EMG activation between the two conditions we identify reductions of the muscle activities thanks to the assistance of the power suit. The results show that the mean force delivered by Semitendinosus and Biceps Femoris in static tasks were much higher than in dynamic tasks, while the Gluteus was less active in static tasks than in dynamic tasks. Generally, all the muscles showed fewer activations in all the tasks under the condition with supporting than without the suit. The relief effect of the power suit in static tasks was more significant than in dynamic tasks. The average reductions of the mean EMG activations in static tasks are 54.0% with 5 kg load and 50.2% without load, where the Erector Spinae has the highest reduction of 82.5% and the Biceps Femoris has the lowest reduction of 22.6%. In dynamic tasks, the average reductions of the mean EMG activations are 25.2% with 5 kg load and 21.4% without load, where the Gluteus shows the highest reduction of 55.4% and the Semitendinosus shows the lowest reduction of 3.6%.

5 Discussion

The results of the preliminary studies show that both power suits are capable of reducing

the physical load on the spine. Regarding the subjects' reports, the power suits are light and comfortable. They can be worn directly on the body like regular clothing and needs short donning time.

According to the qualitative and quantitative analysis, both suits perform higher support effects in static tasks than in dynamic tasks. In static forward bending posture, the subjects can hang in the suit and release the erector spinae muscles. In dynamic tasks, the support effects of the suits are strongly dependent on the actuation timings. If the actuation is slower than the wearer by lifting, the wearer has to use more muscular force and feels less support. If the release of the actuator comes late when the wearer bends forward, the wearer feels resistance from the suit. In order to improve the support effect of the suit in dynamic lifting, more studies need to be performed to determine the optimal actuation timing and to reduce the reaction time of the suit to user intention.

The result of the EMG study also shows reduced activities of the posterior hip muscles. That confirms our design of the force transmission pathway over the hips and ends up on the legs. The ends of the two suits terminate on different body parts: thighs and heels. Both attachments points perform well in the force transmission. Transferring force to

thighs avoid undesired knee bending while straightening, but has the risk of overpressing on thighs. The extension to the heels transfer the force to the ground and prevent pressing on the thigh. However, the connection between the knee braces and the leg straps needs to be improved for better wearing comfort. We expect an improved performance of the power suit by combining the advantages of both.

6 Conclusion

Power suits are becoming a new trend in wearable robotic systems, reducing physical stress and strains on the body. The textile-based design allows power suits to be fully integrated into clothing in the future. To achieve this goal, more fundamental research has to be done on actuators, textiles and sensors. We developed two power suits focusing on the design of the textile-based structure and the flexible transmission of the actuation. Our early work has shown that both power suits can reduce the physical load on the body without changing the natural kinematics of the wearer. Currently, we are working on intuitive control of the system, aiming to make the system adhere to the wearer's direction without delay. Another step further is to refine the fabric structure for higher force transfer efficiency and wearing comfort.

References

- [Ber16] C. Berger, A. Argubi-Wollesen and R. Weidner: Biomechanical Analysis of a Wearable Support Device for Overhead Work. European College of Sports Science, Congress, Wien, 6.-9. Juli 2016.
- [Bor98] G. Borg: Borg's perceived exertion and pain scales. Human kinetics, 1998.
- [Eso96] M.A. Esola, P.W. McClure, G.K. Fitzgerald and S. Siegler: Analysis of lumbar spine and hip motion during forward bending in subjects with and without a history of low back pain. Spine, 21(1), pp. 71-78, 1996.
- [EU00] European Agency for Safety and Health at Work, Report - Work-related Low Back Disorders, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2000.
- [Ges13] A. Volkmann in Gesundheitsstadt-Berlin: Rückenschmerzen bei Pflegekräften: „Rückenschmerzen bei Pflegekräften verhindern“, 18. Juni 2013.
- [Ima11] Y. Imamura, T. Tanaka, Y. Suzuki, K. Takizawa, M. Yamanaka: Motion-based design of elastic belts for passive assistive device using musculoskeletal model. In:

- Robotics and Biomimetics (ROBIO), IEEE International Conference on, IEEE, pp. 1343-1348, 2011, 2011.
- [Ino17] H. Inose, S. Mohri, H. Arakawa, M. Okui, K. Koide, Y. Yamada, I. Kikutani and T. Nakamura: Semi-endoskeleton-type waist assist AB-wear suit equipped with compressive force reduction mechanism. In: Robotics and Automation (ICRA), 2017 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 6014-6019, 2017.
- [Li96] Y. Li, P.W. McClure and N. Pratt: The effect of hamstring muscle stretching on standing posture and on lumbar and hip motions during forward bending. *Physical therapy*, 76(8), pp. 836-845, 1996.
- [Ott18] B.M. Otten, R. Weidner and A. Argubi-Wollesen: Evaluation of a novel active exoskeleton for tasks at or above head level. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3), pp. 2408-2415, 2018.
- [Tan08] T. Tanaka, Y. Satoh, S. Kaneko, Y. Suzuki, N. Sakamoto and S. Seki: Smart suit: Soft power suit with semi-active assist mechanism- prototype for supporting waist and knee joint. In: Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference on, IEEE, pp. 2002-2005, 2008.
- [Wei16] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao and J. P. Wulfsberg: Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. In: 62.-GfA Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, pp. 1-6, 2016.
- [Wei17] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, A. Karafillidis and B. Otten: Human-Machine Integration as Support Relation: Individual and Task-Related Hybrid Systems in Industrial Production. *i-com*, 16(2), pp. 143-152, 2017.
- [Yao17] Z. Yao, C. Linnenberg, A. Argubi-Wollesen, R. Weidner and J.P. Wulfsberg: Biomimetic design of an ultra-compact and light-weight soft muscle glove. *Production Engineering*, 11(6), pp. 731-743, 2017.

Biomedizin im Zeitalter der Digitalisierung Zum SOZIOMINT der technischen Biomedizin

U. Pfenning¹, R. Haas², M. Jeretin-Kopf² und C. Wiesmüller³

¹ Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften
uwe.pfenning@sowi.uni-stuttgart.de

² Institute of Materials and Processes, Hochschule Karlsruhe, Technik und Wirtschaft

³ Technische Bildung, Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Kurzzusammenfassung

Die Digitalisierung hat (auch) die Biomedizin mit etlichen Anwendungen umfangreich erfasst. So hilft sie von körperlichen Behinderungen betroffenen Menschen mittels Sensorik, Bewegungsapparaturen, Assistenzsystemen und bidirektionalen Computerapplikationen oder autonomen Fahrsystemen eine partielle oder vollkommene körperliche Funktionalität zu gewinnen. Dies verbessert die individuelle Lebensqualität. Diese aber wird nicht nur technisch bestimmt, sondern ist vielmehr eine individuelle Definition und Konvention zwischen Herstellern biomedizinischer Produkte und den betroffenen Menschen. Determinanten dieser Definition sind deren sozialer und individueller Sinn, eine Technikmündigkeit auf Seiten der Nutzerklientel und eines SOZIOMINT auf Seiten der Forscher und Unternehmen.

Soziologisch geht es um eine allgemeine Akzeptanz der Digitalisierung, weil die Biomedizin wichtige humanistische Aspekte ihres SOZIOMINT und ihrer Soziotechnik repräsentiert. Und dies kann ihren Status als Gesellschaftstechnik verfestigen.

Abstract

Biomedicine and Digitalization - The SOCIOSTEM of technological Biomedicine

Digitalization meets biomedicine in many ways. Especially for disabled people with physical handicaps there are improvements for their inclusion in society, their mobility, and better conditions in daily live circumstances. In technological perspective biomedicine is very closed to assistance systems, sensor applications and bidirectional computing. Therefore biomedicine is not only a kind of science and technology, but also for definition of the social sense and a sociotechnological system, according to an individual technology literacy (SOZIOMINT) and interdisciplinary between different technologies and transdisciplinary between social science and technology. In a sociological perspective biomedicine emphasize the social dimensions of digitalization.

Keywords

Biomedizin, SOZIOMINT, Technikmündigkeit, Gesellschaftstechnik

1 Digitalisierung und Biomedizin

1.1 Techniksoziologische Deutung

Digitalisierung treibt unsere Gesellschaft vehement um: Industrie 4.0, digitale Bildung, social media, Datenschutz, bitcoins und block chains, künstliche Intelligenz u.v.a sind nur einige Stichworte [VDE17]. Biomedizin wird

im medialen und gesellschaftlichen Kontext zur Digitalisierung jedoch nur selten genannt. Dies obschon gerade in ihren Technologien eine „Verdigitalisierung“ des Menschen und körperbezogener Mensch–Maschine Schnittstellen weit fortgeschritten erscheinen. Im so-

ziologischen Sinne wird gerade an der Biomedizin die Relevanz von Digitalisierung als Gesellschaftstechnik deutlich [Pfe18]. Denn im eigentlichen Sinne ist Digitalisierung keine Technik, sondern eine gesellschaftliche Entwicklung, wie Menschen welche digitale Technik wozu nutzen möchten. Digitalisierung be- und kennzeichnet in diesem Verständnis die Summe aller digitalen Technologien mit Blick auf deren Effekte und Veränderungen für uns als Individuen und für unsere Gesellschaft. Dies wäre die techniksoziologische Deutung von Digitalisierung.

Ein weiteres sozialwissenschaftliches Konzept ist die Soziotechnik der Digitalisierung. Diese meint, wie sich soziale und technische Systeme mittels ihrer Akteure beständig und prozessual koppeln und reflexiv aufeinander einwirken. Dies führt letztlich zu Fragen der Beteiligung und Mitwirkung betroffener Menschengruppen sowie zu sozialen Sinnsetzungen, also beispielsweise wie digitale biomedizinische Systeme patientengerecht entwickelt werden können oder welche sinnvollen Kopplungen zu anderen digitalen Medizintechnologien ent- und bestehen (z.B. Pflegeroboter). Diese Sinnsetzungen kennzeichnen das SOZIOMINT der digitalen Biomedizin.

1.2 Das SOZIOMINT digitaler Biomedizin

Zentrales Anliegen eines jeglichen SOZIOMINT ist die gesellschaftliche Vermittlung des sozialen Sinns oder Gehalts technischer Innovationen. Und dies als integraler Part ihrer Diffusion und Anwendung. Für soziologisch Eingeweihte: Die Analogie zum PUSH-Konzept in der MINT-Bildung ist unverkennbar. Das assoziierte individuelle Ziel ist eine jeweilige Technikmündigkeit zur Anwendung dieser Technologien. Diese Technikmündigkeit restringiert wiederum das technisch Machbare einer Innovation auf das individuell Erwünschte.

Generell lässt sich aussagen, dass der soziale Sinn von technischen Innovationen entscheidend ist für deren Nutzungsbereitschaft, Akzeptanz sowie Akzeptabilität. Akzeptabilität meint soziologisch die individuelle Bereit-

schaft, eine technische Innovation zu tolerieren, wenn man sie persönlich negativ einschätzt und nicht nutzen möchte. Für eine Akzeptabilität ist oftmals entscheidend, inwieweit Pro & Contra einer Technik gesellschaftlich erörtert wurden, ob insbesondere der soziale Sinn dargelegt wurde. Mithin Aspekte politischer Beteiligung und Diskurse als weitere integrative Teile eines SOZIOMINT.

2 Sinnfrage(n) der digitalen Biomedizin

Aus vielen Studien wissen wir, dass Menschen Technologien sehr nach ihrem sozialen Sinn hinterfragen und bewerten [Ham01].

2.1 Biomedizin und Gentechnik

So wurde die grüne Gentechnik angesichts des Trends hin zur ökologischen Ernährung als wenig sinnvoll erachtet. Bei der roten Gentechnik wurden Verfahren zur Reproduktionsmedizin und der Embryonenforschung sehr kritisch gesehen, derweil Applikationen für Menschen mit schweren Krankheiten hingegen eher befürwortet wurden [Ham01].

Digitale Biomedizin kann via Telemedizin, eHealth, Chipimplantaten sowie digitaler Diagnostik mittels Big-Data-Applikationen zu Gesundheitsdaten über die Hintertür die Gentechnikdebatte neu entfachen. Denn die massenhafte Digitalisierung persönlicher Krankheitsdaten via Computertomographien und digitaler bildgebender Verfahren bis hin zur Genomsequenzierung kann eines ihrer Ziele sein [Raf16, BMBF17]. Die damit verbundenen Sinnfragen sind das Sinnbild des „gläsernen Patienten“ samt aller damit verbundenen Datenschutzbelange zum Schutz der Individualsphäre. Konkretes Thema war die ins Stocken geratene Einführung der elektronischen (digitalisierten) Patientenakte, letztlich technisch ein Speicherchip mit hochsensiblen persönlichen Daten.

Das Risiko für die Biomedizin begründet sich darin, dass sie mit mehrheitlich abgelehnten gesellschaftlichen Nutzungen der Gentechnik und des Datenschutzes verbunden werden könnte. Hoffnungen beziehen sich darauf, dass digitale Mikrosysteme (i.d.R. Chips) Nervenfunktionen ersetzen können oder idealer

Weise das sehr langsame Wachstum von Nervensträngen beschleunigen können.

2.2 Biomedizin und Medizintechnik

Damit tangiert die digitale technische Biomedizin in einem erweiterten Verständnis auch die Kopplung zur technischen Biomedizin. Und auch diese wird von maßgeblichen digitalen technischen Innovationen geprägt.

Als da wären digitalisierte Exoskelette, die durch mikroelektronische, digitalisierte Feinsensorik zur Verstärkung kleinster Körperreflexe oder Zellimpulse gesteuert werden. Sozialer Sinn ist die Wiederherstellung körperlicher Mobilität für von Lähmungen der Gliedmaßen betroffene Menschen.

Diese digitalen biomedizinischen Technologien reichen bis zum autonom fahrenden, digital gesteuerten Rollstuhl. Oder sie ermöglichen Menschen (z.B. bei einer Tetraspastik) Steuerungsvorgänge mittels Sensoren, die die Augenbewegungen verfolgen. Ein prominentes (Vor-)Bild war der hervorragende Physiker Stephen Hawking. Aber auch im Alltag, bspw. im Schachsport, finden sich Nutzer solcher biomedizinischer Anwendungen.

Und vom autonomen Rollstuhl ist der gedankliche Weg hin zum autonomen Fahren nicht weit. Hierbei geht es um die Steuerung von Kraftfahrzeugen im öffentlichen Verkehr durch stark körperlich behinderte Menschen mittels wiederum digitaler Steuerungs- und Assistenzsysteme.

Und mit der gleichen Logik zur Kopplung biomedizinischer Anwendungen und medizintechnischer Ausstattung geht es um das Smart-Home für Menschen mit Behinderungen, um ein möglichst autonomes und autarkes Leben im Alltag führen zu können.

Biomedizinische Systeme repräsentieren insofern inzwischen oftmals eine Kopplung technischer Komponenten aus Apparaten, Elektronik, Elektronik und digitaler Steuerungssoftware.

Die Sinnfrage hierzu lautet: Was ist seitens der Betroffenen gewünscht an Mensch-Maschine-Schnittstellen und an Assistenzsystemen zum selbstbestimmten Leben und zur selbstbestimmten Mobilität?

Soziologisch interessant ist die Frage, warum bei der öffentlichen Debatte über autonomes Fahren die am ehesten betroffene Klientel ausgenommen bleibt. Dies obwohl nirgends anders diese technische Zielsetzung humanistisch und kulturell besser begründet und dargestellt werden könnte.

Dies wäre gewissermaßen zusätzlich zum Technologietransfer ein Sinntransfer, der den von solchen Behinderungen betroffenen Menschen im gesellschaftlichen Image positiv zugeordnet werden könnte. Insofern würde Biomedizin sinnvoll zum besseren gegenseitigen Verständnis und zur Empathie beitragen, von Menschen mit und ohne Behinderungen.

All diese kulturellen Bezüge deuten auch eine Ästhetik als Teil eines SOZIOMINT der Biomedizin an. Denn diese Anwendungen digitaler Assistenzsysteme für unter ihrer eingeschränkten Mobilität leidenden Menschen, mental wie körperlich, können eine eigene „Technosphäre“ schaffen [Wie08, Wie09]. Eine eigene Nutzerkultur und eine spezifische Inklusion, denn Mobilität ist in modernen Hochtechnologiegesellschaften gewissermaßen fast „organisch“, damit auch unverzichtbar für eine gesellschaftliche Teilhabe.

2.3 Biomedizin und Robotik

Techniksoziologisch ist autonomes Fahren die Computerisierung der Automatisierung. Es macht das Auto gewissermaßen zum Computer. Vergleichbare Prozesse erleben wir auch in der Pflege behinderter Menschen und in der Automatisierung im Gesundheitssystem (Stichwort Smart-Hospital). Die Kopplung von Robotik und Biomedizin hat eine technische Palette, die vom Einsatz von Pflegerobotern über Computerprogramme zur automatisierten Diagnostik bis hin zum smarten Robotaustier zur Befriedigung menschlicher Gefühle (beispielsweise in Altenheimen) reicht. Technisch geht es in allen Fällen um eine spezifische Interaktion von Mensch und Maschine, die primär den Bedürfnissen der betroffenen Menschen dienen soll. Dies ist nicht nur durch Sensorik möglich, sondern bedarf der Prozesse sensitiven maschinellen Lernens und einer umfassenden Individualisierung in

der Programmierung der Roboter, so dass diese auf individuelle Gestik, Bewegungen oder Befehle mit automatischen Prozeduren reagieren können.

Soziologisch geht es in allen Fällen um den Ersatz menschlicher Dienstleistungen in Pflegeberufen und Fähigkeiten wie Empathie, Trost, Hilfe und Unterstützung. Und damit um die Begegnungen von Menschen mit und ohne Behinderungen, Inklusion und systemisch um Kosten und Automatisierung im Gesundheitssystem.

In dieser Kopplung von Biomedizin und Medizintechnik liegt somit ein soziales Risiko der Ausgrenzung behinderter Menschen. Techniksoziologisch „droht“ eine Hybris und Überschätzung technologischer Innovationen zum Ersatz ureigener menschlicher Fertigkeiten und Fähigkeiten [Mai17]. Die Automatisierung von Heil- und Pflegeberufen ist gesellschaftlich zumindest umstritten, auf jeden Fall aber nicht entschieden.

2.4 Neuronale Chipimplantate

Der Biomedizin am nächsten kommen elektronische Chipimplantate. Deren Anwendungen erstrecken sich einerseits auf bereits tradierte Mikrochips zu elektrischen Impulsen für Organe sowie zur direkten Medikation im kranken Zellgewebe. Andererseits auf neue Anwendungen zum Ersatz von Defiziten bei Sinnesorganen zum Sehen oder Hören. Hier kommen Mikrochips zum Einsatz, die diese Sinneswahrnehmung ersetzen oder simulieren. Grundlage ist die elektrische Anbindung von Kleinstcomputern an Nervenzellen mit einer externen Stromquelle [SPI2011].

Soziologisch tangiert dies die Diskussionen über Mensch-Maschine-Schnittstellen. Diese ist begleitet von uralten Visionen, Ängsten wie Hoffnungen: Cyborg-Wesen, Supermenschen, Mutanten und Terminatoren, Frankenstein- und Golemmythos. Deshalb ist das Risiko einer Stigmatisierung von Menschen, die solche Implantate benötigen, gegeben. Was letztlich wieder zur Frage der gesellschaftlichen Aufklärung über deren sozialen Sinn führt und damit wieder zum SOZIOMINT der Digitalisierung. Entscheidend kann hierbei

sein, ob diese Implantate medizinisch indizierten Anwendungen vorbehalten bleiben und nicht zweckentfremdet zur „Superisierung“ von menschlichen Eigenschaften eingesetzt werden. Es zeigt sich eine bekannte Ambivalenz zwischen kultureller Skepsis einerseits und individuellen Hoffnungen auf Heilung bzw. Besserung bei Sinnesdefiziten andererseits. Diese kann nicht technisch gelöst oder geklärt werden. Das ist nur durch gesellschaftliche Normen und Konventionen zu bewerkstelligen (vgl. auch Konvention der EU von 1999 zur Regulierung der Biomedizin).

3 Digitalisierung als Gesellschaftstechnik

3.1 Biomedizin als Idealfall

Die dargestellten Zusammenhänge betreffen die Deutung von Digitalisierung als gesellschaftlicher Prozess, am Beispiel der Biomedizin. Dies als eine der neuen, eher seltenen Gesellschaftstechniken der Moderne, neben der Energiewende.

Eine Gesellschaftstechnik meint, dass ihre Einführung, Förderung, Verbreitung und Nutzung von einer Mehrheit in der Bevölkerung getragen wird und in einem überparteilichen und akteursübergeifenden Konsens als staatliche Aufgabe der Daseinsvorsorge gesehen wird. Gesellschaftstechniken sind insofern demokratisch legitimierte Techniksysteme [Pfe17, Pfe18].

Die Biomedizin ist soziologisch gesehen ideal geeignet, um die Digitalisierung als Gesellschaftstechnik ethisch und sinnhaft zu begründen. Die Faktoren hierzu sind die Beteiligung betroffener Klientel an deren technischen Innovationen sowie eher unstrittige Sinnsetzungen für Fortschritte in der Medizin und im Gesundheitswesen unserer Gesellschaft, also für einzelne Menschen wie auch die Gesellschaft insgesamt.

3.2 Soziale Partizipation in der Biomedizin

In keinen anderen, uns bekannten technischen Bereichen scheint es bedeutsamer, betroffene Menschen in die Forschung und Entwicklung biomedizinischer Technikinnovationen einzu-

binden. Zum einen, weil diese bei aller Verallgemeinerung oftmals spezifische individuelle Module und Anpassungen bedingen. Zum anderen, weil diese Applikationen ein Umgangs- und Anwendungswissen bedingen, um sie nutzerseitig richtig und effizient einzusetzen. Damit ist die eingangs erwähnte Rückkoppelung von Entwicklung und Nutzung gegeben.

Oftmals sehen Entwickler und Forscher das Einbeziehen der betroffenen Klientel nur in der Spätphase der realen Erprobung. Die Einbeziehung der Zielgruppen in Entwicklung und Forschung ist selten im Blickfeld und wenn, dann eher unter Testanwendungen. In der Regel entwickeln Menschen ohne Beeinträchtigungen für Menschen mit Beeinträchtigungen neue Verfahren und Technologien. Dieses eingeschränkte Rollenverständnis bei der Partizipation kann deren sozialen Sinn beeinträchtigen. Entweder werden mangels Anwendungswissen die technischen Möglichkeiten der Technikinnovationen nicht ausgeschöpft oder die antizipierte Praxisreife entspricht nicht der realen Lebenswelt der betroffenen Menschen. Dies kann die Integration einzelner Smart-Health-Systeme in ein gesamtes Smart-System des Zuhauses betreffen, beispielsweise die Kopplung eines digitalen Rollstuhls an Beleuchtungssysteme, Tür- und Fenstersteuerungen oder Krankenbetten, weil fragmentiert entwickelt wurde, was erst integriert Sinn „richtig“ macht.

Eine unserer Annahmen war, dass gerade Menschen mit Behinderungen in ihrer Mobilität oder Sinneswahrnehmung in einer besonderen Technosphäre leben [Wie09]. Das Meistern des Alltags wird zugleich als Voraussetzung angesehen für die Bewältigung spezifischer Aufgaben wie auch zur gesellschaftlichen Teilhabe (Beruf, Sport, bürgerschaftliches Engagement). Zudem kann vermutet werden, dass Erfahrungen mit einer Hilfstech- nik in einem Bereich die Erwartungshaltung an andere Hilfstech- niken in anderen Bereichen maßgeblich prägen und tragen. Sind diese positiv, kommt es zu einer vermehrten Technikakzeptanz. Sind diese negativ, kann unter Umständen eine Negation ansonsten hilfreicher Technologien erfolgen. Die soziale

Verantwortung der Entwickler und Forscher/innen ist so nochmals höher als bei Entwicklungen für die Allgemeinheit. Dies begründet einen erhöhten Mitwirkungsanspruch der Zielgruppen [SAP16, Mai17, Jör18].

Die Sozialwissenschaften verfügen über ein elaboriertes Instrumentarium zur Beteiligung von Zielgruppen an einer technologischen Innovation. Dies kann auch auf die Biomedizin angewendet werden. Dazu zählen Zukunftswerkstätten für die Nachfrage nach zukünftigen behindertengerechten Technologien wie auch Fokusgruppen und Praxistests für die Evaluation und ggf. Optimierung bereits entwickelter technischer Verfahren, von Werkzeugen, Apparaturen und Geräten.

Das Konferenzthema bzw. dessen Tenor („Technologien, die die Menschen wirklich wollen“) inkludiert bereits Teile des SOZIO-MINTs, so zur Beteiligung der Klientel und Zielgruppen.

Jedoch stellt sich die Frage, wer diese Beteiligungsformate initiiert und organisiert? Für kommerzielle Entwickler und Forschungsabteilungen wäre dies im Sinne des Konzeptes der „Usability“ ratsam [SAP16, KMP18]. Dieser Blick auf den sozialen Sinn von Technologien wird vielen Ingenieuren (in der Regel entwickeln Ingenieure biomedizinische Verfahren) und Wissenschaftlern in der akademischen Ausbildung nicht geboten und auch nicht vermittelt oder gelernt. Neben der Sinnvermittlung der Einbeziehung eines sozialen Sinns einer technischen Entwicklung zählen dazu auch das Wissen um die konkreten Beteiligungsformate als fachliche Kenntnisse. So können individuelle ästhetische Aspekte einer biomedizinischen Applikation sein, diese zu kaschieren“ oder via technischer Artefakte attraktiver zu machen. Je nach eigener Meinung, aber beide Male mit Implikationen zum technischen Design in der Entwicklung [Wie08].

Es geht um die wissenschaftlich abgesicherte Analyse von Bedarfen und Nachfragen mit- samt des damit verbundenen Forschungsbedarfes und der angewandten Forschung und Entwicklung als technische Aufgabe. Es ist ein feiner, aber signifikanter Unterschied zwi-

schen Technik als Domäne des Ingenieurwesens und der Technikwissenschaften, welcher gerade in der Biomedizin offensichtlich wird. Dieser Beitrag thematisiert die Aspekte von Bildung und Aufklärung zur Digitalisierung als neue Gesellschaftstechnik. Die digitale Biomedizin ist eine konkrete Anwendung dieser Digitalisierung. Mit der Besonderheit, dass, obwohl nur eine Minderheit davon betroffen ist, diese Anwendungen für die Mehrheit der Bevölkerung relevante Themen der Digitalisierung aufgreift. Dies sind; Beteiligung und Partizipation von Zielgruppen bei technologischen Innovationen und Entwicklung, Vermittlung einer Technikmündigkeit auf Seiten der Nutzer/innen und eines SOZIOMINT auf Seiten der Entwickler und Produzenten.

4 Zusammenfassung: Die Soziotechnik der technischen Biomedizin

Der Blick eines Techniksoziologen lässt die Digitalisierung im Bereich biomedizinischer Verfahren und Anwendungen als eine Soziotechnik erscheinen (nach Günter Ropohl). Gerade hier finden soziale Systeme der Betreuung, Versorgung und Pflege eine große Nähe zu technischen Lösungen wie sie digitale Assistenzsysteme, digitale Mensch-Maschine-Interfaces, robotisierte Automatisierungen zur Diagnostik, Operationen und andere biomedizinische Errungenschaften darstellen. Ihr sozialer Sinn dreht sich um individuelle Autonomie, Heilung bei Behinderungen und Wahrnehmungsstörungen der Sinnesorgane und um Verbesserungen im Gesundheitssystem für Patienten sowie für die Träger und den Staat, insbesondere hinsichtlich Kosten, Zeitaufwände und Effizienz.

Mitunter wird erhofft, dass durch die Biomedizin und die damit verbundene Digitalisierung in der Medizin die Patienten wieder mehr in den Mittelpunkt des Gesundheitssystems gerückt werden. Allerdings ist dies soziologisch ambivalent zu beurteilen. Denn Digitalisierung selbst ist kein alleiniger technischer Prozess der Medizininformatik oder der Biomedizin, sondern bereits selbst Teil der gesellschaftlichen Modernisierung mit Teilhabe der

Zielgruppe. Inwiefern die Selbstverantwortung für die eigene Gesundheit durch eine individualisierte Digitalisierung biomedizinischer Daten erreicht wird, muss die Zukunft erweisen.

Auf Nutzerseite erfordert dies eine hohe Technikmündigkeit: Was will ich mit welcher Technologie wie wozu für mich erreichen? Und wie reagiere ich auf Hinweise für medizinische Risiken in meinem Verhalten? Diese Technikmündigkeit muss jeder Betroffene zunächst für sich selbst definieren, nach dem Ausmaß seiner Beeinträchtigung und seinen verfügbaren Ressourcen. Der Lernprozess stellt sich als ein Wechselspiel aus alltäglicher Anwendung und Reflexion dar.

Die Entwickler und Forscher benötigen andererseits die Einsicht und Erkenntnis, dass diese Technikmündigkeit der Betroffenen ein wichtiges Entwicklungsmerkmal bei ihrer Tätigkeit ist. Dies sollte aber nicht eher zufällig der individuellen Überzeugung und Empathie einzelner Entwickler/innen und Forscher/innen überlassen bleiben, sondern allen Berufstätigen in den biomedizinischen Branchen vermittelt werden. Auch Empathie kann zumindest in Teilen erlernt werden.

Diese Berufsbereiche sind oftmals von sehr spezifischen Erfahrungen aus vorherigen Produkten und deren Einführung geprägt. Da zudem diese Tätigkeiten mit einem hohen Serviceanteil einhergehen, also etwa das Kalibrieren oder Installieren vor Ort beim betroffenen Menschen, ist eine Nähe beider Akteure oftmals gegeben. Dabei können Erfahrungen für die Optimierung der biomedizinischen Lösungen und ihrer oftmaligen Kopplung zu anderen medizintechnischen Anwendungen gewonnen werden. Und diese können in die Optimierung der Produkte einfließen.

Die Biomedizin als relativ junge Disziplin innerhalb der Humanmedizin erfährt eine umfassende Förderung durch Politik und Wirtschaft. Verwiesen sei auf die Aktivitäten von Stiftungen wie des Hasso-Plattner-Instituts, der Dietmar-Hopp-Stiftung oder der Stiftung von Microsoft. Im europäischen Ausland ist vor allem der Verbund der Francis-Crick-In-

stitute bei der Forschung zur Biomedizin aufzuführen. Aber es wird bereits deutlich, dass Biomedizin und Informatik eng verbunden erscheinen. Diese institutionelle Vernetzung kann auch als Indikator einer Soziotechnik angesehen werden, hier zur transdisziplinären Forschung zur Biomedizin. Insgesamt kumulieren technische, medizinische und biologische Erkenntnisse in der Biomedizin und erbringen Synergien. Prothesen werden digitalisiert, Exoskelette praktikabler, relationale Datenbanken zur Anamnese und zur Diagnostik verbessern sowohl Prophylaxe als auch Therapie, erhöhen zugleich durch das verfügbare individuelle Wissen die Eigenverantwortung für die eigene Gesundheit bis hin zur Selbsttherapie. Womit das Postulat der Technikmündigkeit und somit das SOZIOMINT auch die Medizin erreicht hat.

Dass die Digitalisierung auch vor der Biomedizin nicht Halt macht, war zu erwarten und erscheint trivial. Überraschen mag aber die Vielfalt der Verbindungen und die dadurch entstehenden medizinischen, individuellen und gesellschaftlichen Herausforderungen.

Den Chancen zur Verbesserung der Lebensbedingungen für Menschen mit körperlichen Behinderungen und zu erhöhten Chancen bei Heilung und Therapie von Zellerkrankungen stehen auch Risiken gegenüber. Der in Technikwissenschaften und in der Politik zu beobachtende Hype bzw. die Themenkonjunktur um die Digitalisierung birgt bei Überschätzung der Möglichkeiten und potentieller Hybris beteiligter und profitierender Akteure einen

„Bumerang-Effekt“ in sich. Überhöhte Erwartungen können zu sehr starken Enttäuschungen führen. Soziologisch besteht dann die Gefahr einer Delegitimation der Anwendungen und der Forschung. Soziologische Beispiele hierfür sind u.a. die Versprechungen zur somatischen Gentherapie, das Verheißen der Atomenergie als die Zukunftsenergie in den 1970er Jahren oder der Brennstoffzelle als unmittelbar bevorstehende zukünftige Antriebstechnologie (seit gut 30 Jahren) oder aktuell der nur scheinbar sauberen Dieselmotoren.

Geht es um die menschliche Gesundheit, sind diese Effekte mitunter besonders stark ausgeprägt und die damit verbundene Desillusionierung kann auch über Generationen anhalten. Diese Risiken sind bei Technologien, die mehrheitlich auf einer Akzeptabilität beruhen zudem stärker als bei Technologien, die auf einer Akzeptanz und Nutzung basieren. Da medizinische Anwendungen in aller Regel auf die Minderheit von betroffenen, kranken oder behinderten Menschen bezogen sind, sind ihre technologischen Innovationen von diesen Risiken besonders betroffen [Ren14]. Dies alles erhöht die Vernetzung sozialer und technischer Systeme und macht die Biomedizin zum Paradebeispiel für eine Soziotechnik.

Zudem verbinden biomedizinische Anwendungen in besonderer Weise Ingenieurwissenschaften, Medizintechnik, Sozialmedizin und Techniksoziologie. Es werden insofern auch Wissenschaftsdisziplinen durch die Biomedizin miteinander verbunden. Sie hat vielfachen Sinn!

Literatur

- [BMB17] <https://www.bmbf.de/de/digitalisierung-in-der-medizin-2897.html>
- [Wie08] C. Wiesmüller: Die Ästhetik in der Perspektive technischer Bildung. In: *tu - Zeitschrift für Technik im Unterricht*. Ausgabe Nr. 129/2008. Villingen-Schwenningen 2008
- [Wie09] C. Wiesmüller: Bildung in der Technosphäre. Streiflicht zu den geistigen und seelischen Herausforderungen beim Großwerden von Kindern. In: *forum schule heute. pädagogische Zeitschrift für die Schule in Südtirol*. Themenschwerpunkt Technik. Heft 4. Bozen, 2009.
- [Ham01] J. Hampel und O. Renn (Hrsg.): *Gentechnik in der Öffentlichkeit*. Verlag Campus. Frankfurt. S.2 6-56, 2001.

- [Jör18] J. Jörg/BMBF (Hrsg.): Digitalisierung in der Medizin: Wie Gesundheits-Apps, Telemedizin, Künstliche Intelligenz und Robotik das Gesundheitssystem revolutionieren. BMBF 2018. Berlin.
- [KMP18] KMPG AG (Hrsg.) Digitalization in Life Sciences. Basel 2018.
- [Mai17] G. Maiq: Wenn ein Mittel zunehmend den Zweck definiert. In: Ärztin, Zeitschrift des Deutschen Ärztinnenbund e.V. Vol 1, Nr. 04/2017. S. 4-5.
- [Pfe17] U. Pfenning und M. Niederberger: Demokratie und Technik in einer zivilen Wissensgesellschaft. In: Zeitschrift Schulmanagement, Ausgabe 6/2017 [Dezember]. Pädagogische Zeitschriften: Oldenbourg. S.16-19, 2017.
- [Pfe18] U. Pfenning: Zeitschrift für Energiewirtschaft Vol. 42, Nr. 2/2018. Eine soziologische Systemanalyse und sozio-ökonomisches Review der Soziotechnik Energiewende. DOI <https://doi.org/10.1007/s12398-018-0222-6>. Print ISSN 0343-5377, Online ISSN 1866-2765. Springer Fachmedien Wiesbaden. S. 151-166, 2018.
- [Raf16] S. Rafidezeh: Putting Human into the Middle. In: How Digitalization will Disrupt Health Care. SAP.News.com vom 29.July 2016. SAP Walldorf.
- [Ren14] O. Renn: Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten. Fischer-Verlag. 2014.
- [SAP16] SAP: How Digitalization will Disrupt Health Care. SAP.News.com vom 29.July 2016. SAP Walldorf
- [VDE17] Thesenpapier: Digitalisierung und Bildung. Sechs Thesen zu Inhalten digitaler Bildung. Herausgegeben vom Fachausschuss Studium, Beruf und Gesellschaft. Des VDE Deutschland. VDE Verlag. Frankfurt.
- [SPI11] <http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/durchbruch-netzhaut-chip-gibt-blinden-auge-licht-zurueck-a-726813.html>. 2011. [Zugriff am 28.10.2018]

Körperliche und Emotionale Reaktionen in der Zusammenarbeit mit modernen Robotern

L. Müller, J. Ruhnke, M. Bellanova und A. Bernin

PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
larissa.mueller@pwc.com, jan.ruhnke@pwc.com, martinabellanova@gmx.de

Kurzzusammenfassung

Moderne Roboter die in gefährlichen Umgebungen arbeiten sind selbst heutzutage noch meist sehr funktional designed und nehmen keine Rücksicht auf Ästhetik oder Design. Unser Labor-Roboter AMEE ist an dieser Stelle keine Ausnahme. Das Äußere ist darauf ausgelegt in rauem Gelände zu interagieren und wirkt dadurch schnell beängstigend für den Menschen.

Die heutigen Technologien im Bereich Affective Computing sind jedoch bereits in der Lage Emotionen zu erkennen und kontrolliert zu beeinflussen. Diese Messbarkeit von Reaktionen wird in der hier präsentierten Arbeit verwendet um zum Beispiel Angst beim Anwender zu erkennen. Langfristig können so Roboter entwickelt werden, die angemessen auf ihre Nutzer reagieren können, indem sie erkennen, dass sie Angst in ihrem Gegenüber auslösen. Durch geeignete Strategien können an dieser Stelle wahrscheinlich positivere Emotionen provoziert werden.

Im Rahmen diverser Studien wurden zusätzlich die körperlichen Reaktionen auf sportliche Anstrengungen in Kombination mit Emotionen untersucht. Die Ergebnisse aus der Analyse der physiologischen Daten können genutzt werden um zu erkennen ob ein Nutzer körperlich oder emotional überfordert ist und entsprechend darauf reagieren. Eine Unterstützung schwerer körperlicher Arbeiten ist hier genauso denkbar wie eine Provokation von positiven Emotionen. Eine solche Veränderung der Emotionalen Reaktion (Emotional Shift) kann bereits sehr zuverlässig erkannt werden.

Um die Technologien mit dem Roboter zu verbinden greift die Emotionserkennung in die Verhaltenssteuerung von AMEE ein. Erfasst der Roboter eine Person, die hinreichende Anzeichen von Angst zeigt, hält der Roboter einen größeren Abstand zu dieser. In der Arbeit werden verschiedene Strategien vorgestellt und auf ihre Anwendbarkeit auch für Industrieroboter diskutiert.

Abstract

Physical and emotional reactions in cooperation with modern robots

Modern robots that work in hazardous environments are still very functional in design and do not care about aesthetics or design. Our laboratory robot AMEE is no exception at this point. The exterior is designed to interact in rough terrain, making it quickly scary for humans.

However, today's Affective Computing technologies are already able to recognize and control emotions. This measurability of reactions is used in the work presented here, for example to detect anxiety in the user. In the long run, robots can be developed that can respond appropriately to their users by recognizing that they trigger fear in their counterparts. Appropriate strategies can probably provoke more positive emotions at this point.

Various studies have also investigated physical responses to exercise combined with emotion. The results from the analysis of the physiological data can be used to detect whether a user is physically or emotionally overwhelmed and respond accordingly. A support of heavy physical work is just as conceivable here as a provocation of positive emotions. Such a change in the emotional response (emotional shift) can already be detected very reliably.

In order to connect the technologies with the robot, the emotion recognition intervenes in the behavior control of AMEE. If the robot detects a person showing sufficient signs of fear, the robot will keep it a greater distance from it. Various strategies are presented in the paper and their applicability for industrial robots is also discussed

Keywords

Affective Computing, Robotics, Emotionserkennung, Künstliche Intelligenz, collaborative robots

1 Einleitung

Ein kollaborativer Roboter arbeitet direkt mit Menschen zusammen. Dies stellt besondere Anforderungen an die Sicherheit, um den Menschen nicht zu verletzen. Es gibt keine Schutzzäune oder sonstige mechanische Abgrenzungen zum Roboter. Die Kollisionsvermeidung wird durch unterschiedlichste technische Maßnahmen sichergestellt.

Trotz dieser Sicherheitssysteme unterliegt der Mensch, in direkter Zusammenarbeit mit einem Roboter, einer psychischen Belastung [Nab13]. Je nach Distanz zum Roboter steigt das Angstempfinden und die Gefahrenkognition (siehe 2) auch wenn diese unbegründet sind. Dieses Angstempfinden steigt, wenn Roboter sich völlig frei bewegen können. Diese fahrenden oder laufenden Roboter haben keinen Fixpunkt mehr und die empfundene sichere Distanz zum Roboter ist variabel. Auch bei unseren Arbeiten mit dem Roboter AMEE XW2 [Ruh14a] wurden diese Angstgefühle von einigen Personen geäußert.

Da aber das Angstgefühl, die Gefahrenkognition und die Gefahrenwahrnehmung bei jeder Person individuelle Ausprägungen hat, sollte auch der Roboter individuell darauf reagieren. Die Verfahren der Emotionserkennung bieten eine normierte und automatische Erfassung von beispielweise Angstgefühlen, Freude, Stress und Unaufmerksamkeit. Die Integration einer Emotionserkennung in die Robotersteuerung erlaubt die Realisierung eines Roboters, der auf Emotionen reagiert.

Angewendet auf industrielle kollaborative Roboter könnte somit ein System implementiert werden, das eine möglichst hohe Performance erreicht und zudem den Mitarbeiter weniger psychischen Belastungen aussetzt.

2 Vergleichbare Arbeiten

Die Studie „Human Factors zu Robotergeschwindigkeit und -distanz in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration“ [Nab13] untersucht unter anderem das Angstgefühl mit einer STAI-Swar Methode in Beziehung zur Geschwindigkeit und Distanz zu einem Roboter. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass das Angstgefühl mit geringer werdender Distanz zum Roboter zunimmt.

Weiterhin weißt die Studie darauf hin: „Mögliche Gefährdungen durch psychische Belastung (DIN EN ISO 10075-1: 2000) werden noch nicht detailliert berücksichtigt.“ [Nab13] „Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Wahl angemessener Robotergeschwindigkeiten und Distanzen zum Roboter spezifisch auf den Kontext der Aufgabenbearbeitung abgestimmt werden sollte. Eine differenzierte Klärung mit feineren Abstufungen, der hier berücksichtigen Faktoren, erscheint dringend erforderlich, bevor verbindliche Empfehlungen aus Human Factors Sicht abgegeben werden.“ [Nab13]

Es gibt Ansätze Roboter zu verniedlichen oder gar menschlich aussehen zu lassen, um Ängste zu vermeiden. So genannte Androiden haben zwar inzwischen eine Entwicklungsstufe erreicht in der sie unter bestimmten Umständen gar nicht mehr als Roboter erkannt werden [Pue11]. Sobald aber eine direkte Interaktion stattfindet, die auch Bewegung enthält werden aber Roboter auch als solche erkannt. An dieser Stelle tritt dann häufig der Effekt des „Uncanny Valley“ [Mor12] auf, der bei Menschen eine Art Unbehagen auslöst sobald Roboter Menschen oder Tiere darstellen. Arbeiten in der Forschung zur Unterstützung von älteren Menschen nutzen an dieser Stelle häufig unbekannte Tierarten wie zum Beispiel Robben

um das Problem zu umgehen [Shi12]. Wir haben in anderen Arbeiten sehr erfolgreich Experimente mit abstrakten Oberflächen gemacht die Emotionen erkennen und auch selbst ausdrücken können [Mue12a,b]. Die Interaktion mit diesen künstlerischen Oberflächen wurde auf diversen Messen getestet. Die Erfahrungen im Umgang mit emotionalen Reaktionen auf Computergesteuerten Systeme können gut auf die Arbeit mit AMEE XW2 angewendet werden.

3 AMEE XW2

Der Laborroboter AMEE XW2 ist ein System, dass sich auf vier Beinen in unebenem Gelände bewegt. Dieser Roboter [Ruh14a] wird hier nur kurz skizziert.

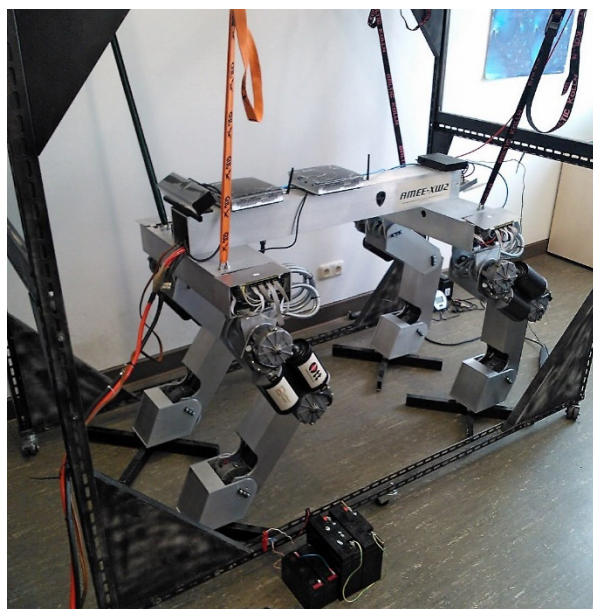


Abbildung 13: Roboter AMEE XW2

3.1 Die Roboterplattform

Der Roboter verfügt über 16 Freiheitsgrade in den Beinen und wiegt ca. 80kg bei einer Länge von 1,1m mit einer nominalen Nutzlast von ca. 40 kg. Die interne Rechenleistung wird über insgesamt 16 logische Rechenkerne (2x Intel® i7-4770T) und fünf Subprozessoren (ATMEL® UC3-0) zur Verfügung gestellt. Zur Umwelterfassung verwendet der Roboter vorerst den Tiefenbildsensor Kinect V2 for Windows®.

3.2 Die Roboter-Software-Architektur

Die Outdoor-Navigation bzw. die automatische Planung einer Bewegungsstrategie für autonome Roboter in einer unerschlossenen Umwelt ist Echtzeitanforderungen unterworfen. Dies ist bedingt durch unvorhersehbare Ereignisse, wie beispielsweise rutschender Untergrund oder eine Fehlinterpretation der Trittposition durch den Schattenschatten bei dichter Vegetation. Hierfür wurde ein sog. hybrides System entwickelt, das vorausschauend mögliche alternative Bewegungsstrategien vorab berechnet (Abbildung 18). Erfolgt ein Fehltritt, greift ein reaktives Softwaremodul ein und führt eine dieser alternativen Bewegungsstrategien aus. Die Grundstrategie folgt der „Think – Act und Don’t Think – (Re)Act“ Strategie.

Diese Verfahren wurden über die Verbindung von kognitiven und algorithmischen Verfahren erweitert. Dabei „lernt“ [Bet14] das System aus Faktoren die zu einem Fehltritt geführt haben und passt bei ähnlichen Situationen seine Bewegungsstrategie an und verringert beispielsweise den Schwerpunkt [Ruh14b].

4 Emotionserkennung

Viele Emotionserkennungsalgorithmen werden an Hand von Datenbanken entwickelt, die in einem klassischen Laborsetting entwickelt wurden. Der Umgang mit Roboter in schwierigen Umgebungen ist sicher kein solches Setting.

In vorangegangenen Arbeiten haben wir einen Versuchsaufbau errichtet in dem die emotionalen Reaktionen von Nutzern untersucht werden können. Im Rahmen von diversen Studien haben wir verschiedene Sensoren zur Emotionserkennung kombiniert um bestmögliche Erkennungsraten zu erzielen.

Die Abbildung 14 zeigt die schematische Darstellung des Systems. Es besteht aus einer Visualisierung, einem physikalischen Exergame Controller, einem Data Acquisition System, verschiedenen Emotions Sensoren und einer Emotionsanalyse.

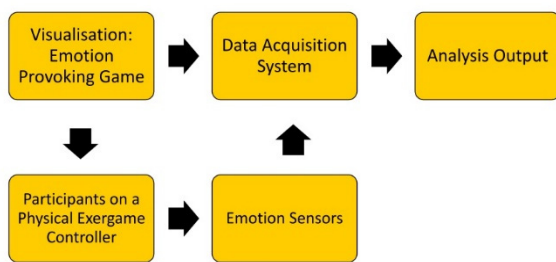


Abbildung 14: EmotionBike Komponenten

In Rahmen des EmotionBike Projektes (<https://www.emotionbike.org/>) an der HAW Hamburg wurde ein Fahrradergometer zu einem Game Controller erweitert. Für verschiedene Studien wurde eine virtuelle Spielwelt der Kategorie „fun-racer“ entwickelt. Hierfür wurde auch der starre Lenker ersetzt, sodass man mit dem physikalischen Game Controller ein virtuelles Fahrrad durch eine Spielwelt steuern kann. Die Abbildung 15 zeigt den Aufbau im Living Place Hamburg (<http://living-place.informatik.haw-hamburg.de/blog/>), einem Smart Home Labor.

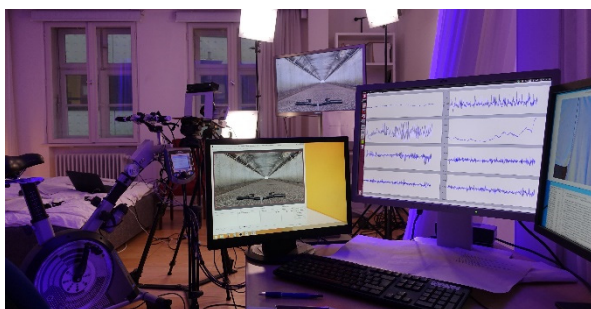


Abbildung 15 EmotionBike Setup

Es wurde eine Analysemethode entwickelt, die Event-basiert Emotionen erkennt [Mue12a,b] oder auf emotionale Änderungen reagieren kann [Ber]. In dem Exergame Setting ist es möglich Emotionen auch in definierten Situation zu untersuchen, zum Beispiel unter extremer Belastung.

In der Zusammenarbeit mit Robotern ist es wichtig, dass dieser die emotionalen Reaktionen des Nutzers erkennt und berücksichtigt. Roboter wie AMEE sind für den Einsatz in extremen Situationen entwickelt und sollen

den Menschen unterstützen, daher ist es unerlässlich, dass der Besitzer ein Gefühl von Sicherheit und Vertrauen verspürt.

4.1 Exergame

In dem speziell designten Spiel wird der Nutzer mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert, um Emotionen zu provozieren. Zusätzlich wurden dem Anwender aber auch schöne entspannte Landschaften oder lustige Objekte präsentiert und die darauffolgenden Emotionen untersucht.

Die Abbildung 16 zeigt eine herausfordernde Szene. Die Teilnehmer mussten eine hohe Steigung bewältigen, um ins Ziel zu kommen. Hier wurde jedoch nur bei der Hälfte der Gruppe der Tretwiderstand der Pedale erhöht, um die Auswirkungen von körperlicher Anstrengung auf die emotionalen Reaktionen zu untersuchen.



Abbildung 16 Anstrengung in der Treehouse Szene

Die Abbildung 17 zeigt eine weitere sehr herausfordernde Aufgabe. In der Cliff Szene beschränkte sich die Herausforderung aber auf die mentale Komponente. Ein schwieriger, enger Pfad musste überwunden werden, um ins Ziel zu gelangen. Auf dem Weg haben herabfallende Steine oder eine äußerst schmale Brücke für zusätzlichen Stress gesorgt.



Abbildung 17 Cliff Szene

4.2 Sensoren

Im EmotionBike Projekt wurden unterschiedliche Sensoren verwendet um auf die Emotionen des Anwenders verlässlich zu erkennen. In verschiedenen Arbeiten wurden Kamera-basierte Verfahren mit physiologischen Sensoren kombiniert.

4.2.1 Kamera-basierte Erkennung

Eine Microsoft Kinect V2 Kamera wurde verwendet um frontale Bilder der Probanden aufzuzeichnen, die den oberen Teil des Körpers zeigen. Die Kinect liefert eine HD Auflösung (1080P) und RGBD Bilder (518x388) bei 30 fps. Alle Videos wurden mit der Data Acquisition Komponente für weitere Analysen gespeichert.

Für die Erkennung von Reaktionen im Gesicht einer Person wurden verschiedene Verfahren getestet [Ber18a,b]. In einer ersten Studie mit elf Teilnehmern wurde das Tool CERT [Lit11] für die Erkennung eingesetzt und eine Event-basierte Methode entwickelt [Mue12a]. In weiteren Studien wurde der Nachfolger Emotient der IMOTIONS Plattform (<https://imotions.com/facial-expressions>) eingesetzt, die auf denselben Algorithmen basiert [Mue17a, Mue17b]. CERT liefert Wahrscheinlichkeiten für die Emotionen: Freude, Ekel, Wut, Angst, Traurigkeiten, Überraschung und Verachtung. Zusätzlich wird neutral klassifiziert. Emotient liefert zusätzlich die Emotionen Frustration und Verwirrung.

4.2.2 Physiologische Sensoren

Die Erkennung von Emotionen wurde durch den Einsatz von physiologischen Sensoren

stark verbessert. Für erste Studien wurde das Biopac MP36 genutzt um Veränderungen der Hauttemperatur, Elektrodermale Aktivität (EDA) und die Atmung der Nutzer zu messen. Es erlaubt die Messung der Daten mit einer Frequenz von 500 Hz.

Die in [Mue12b] präsentierte Event-basierte Analyse Methode wurde durch die Analyse der Körperreaktionen verbessert [Mue16]. In weiteren Studien wurde die „Wearable Sensing Platform“ biosignalsplux genutzt. Sie operiert mit einer Abtastrate von 256 Hz. Der zugehörige EDA Sensor erreicht 0-25 μ S.

4.2.3 Data Acquisition System

Für die Aufzeichnung der Daten wurde ein loosely coupled system entwickelt. Hierfür wurde der Message Broker ActiveMQ (<http://activemq.apache.org/>) verwendet und ein eigenes Protokoll auf Basis von JSON Nachrichten entwickelt. Für die weiteren wissenschaftlichen Auswertungen wurden alle Nachrichten, Game-Events und Sensordaten gespeichert.

4.3 Anbindung der Emotionserkennung

Die Architektur des Roboters AMEE XW2 (3.2) ermöglicht auch andere Beeinflussungsmöglichkeiten der Bewegungsstrategie des Roboters. Die Bewegungsstrategie beinhaltet unter anderem den Abstand zu Objekten und Personen, die Geschwindigkeit und die Höhe des Roboters. Eine Personen- und Gesichtserkennung wird vom Tiefensensor nativ geliefert.

An das Planungsmodul für die Bewegungsstrategie kann eine Emotionserkennung weitere Daten liefern, die dann in der automatischen Planung der Bewegungsstrategie berücksichtigt wird. In dieser Architektur wird die Emotionserkennung zu einem zusätzlichen Sensor abstrahiert, wie in Abbildung 18 dargestellt. Dabei ist noch zu untersuchen, wie stark dieser „Emotionssensor“ in die Bewegungsstrategieplanung eingreifen muss.

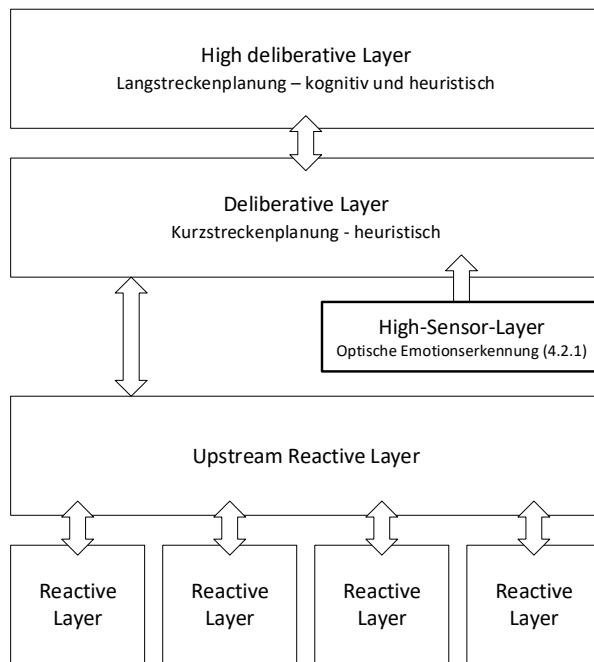


Abbildung 18 Layerkonzept mit Emotionserkennungssensor

Eine zu untersuchende These ist, dass durch die Verbindung von kognitiven (Reinforcement Learning) und algorithmischen Verfahren (3.2) viele Variationen der Roboterhaltensweise möglich sind. Nähert sich beispielsweise der Roboter einer Person an, die Anzeichen von Angst erkennen lässt, könnte der Roboter einen größeren Abstand zu ihr halten oder seine Höhe verringern, um nicht mehr bedrohlich zu wirken.

5 Ausblick

Die Ergebnisse aus der Emotionserkennung stellen eine mögliche Lösung für die psychische Belastung der Mitarbeiter in direkter Zusammenarbeit mit Robotern dar. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den vergleichbaren Arbeiten (siehe 2), wäre eine erste Strategie, die Distanz, zwischen Mensch und Roboter, dynamisch anzupassen. Dieser dynamische Abstand könnte bei einer Erkennung von Angstgefühlen erhöht bzw. beim Abklingen dieser wieder verringert werden. Welche Wechselwirkungen sich dadurch ergeben

muss noch untersucht werden und die Folgen auf den Menschen sind noch ungeklärt.

Eine weitere These ist, dass ein Roboter der auf Emotionen von Menschen reagiert sich nicht nur auf die Distanz beschränken sollte. Die Emotionserkennung sollte auch auf die Bewegungsstrategieplanung Einfluss nehmen. Zurzeit gibt es nur begründete Hinweise darauf, dass bestimmte Gliederposen, beispielsweise bei Industrierobotern, Angstgefühle beim Menschen auslösen können. Es ist aber noch völlig ungeklärt, ob diese Zusammenhänge bestehen und müssen weiter untersucht werden. Denkbar wäre hier eine Studie für unterschiedliche Robotergrundtypen. Zudem wäre aber auch eine selbstlernende Robotersteuerung denkbar. Dieses System könnte, wie beim Reinforcement Learning, mit einer sog. Exploration Rate vorgehen. Dabei würde es selbständig Gliederposen, Distanz und Geschwindigkeit variieren bis eine optimale Balance zwischen Angstgefühlen und Performance erreicht ist. Die ermittelten Werte für Posen, Geschwindigkeiten und „Angstfaktor“ könnten kontinuierlich in einem Mitarbeiterprofil gespeichert werden.

Die rein optische Emotionserkennung liefert verwendbare Ergebnisse und wird zurzeit weiterentwickelt [Ber18a,b].

6 Fazit

Das Einbinden einer Emotionserkennung, wie in Abschnitt 4.3 vorgeschlagen, ist wahrscheinlich technisch realisierbar. Das technische Zusammenspiel dieser Technologien wurde noch nicht in Laborversuchen untersucht. Die zitierten Forschungsergebnisse und die Vorarbeiten zeigen aber die Potentiale für Industrieroboter auf, auch wenn hier eine Übertragbarkeit noch nicht untersucht wurde. Eine weiterführende Untersuchung der möglichen Risiken und Möglichkeiten sollen hiermit zur Diskussion gestellt werden und bedarf weiterer Forschung.

Literatur

- [Ber18a] A. Bernin, L. Müller, S. Ghose, K. von Luck, C. Grecos, Q. Wang und F. Vogt: Towards More Robust Automatic Facial Expression Recognition in Smart Environments. 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. ACM, S. 37-44, 2018.
- [Ber18b] A. Bernin, L. Müller, S. Ghose, C. Grecos, Q. Wang, R. Jettke, K. von Luck und F. Vogt: Automatic Classification and Shift Detection of Facial Expressions in Event-Aware Smart Environments. 11th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. ACM, 2018.
- [Bet14] B. Bettzüge: Lernverfahren für die Wahl sicherer Schrittpositionen. HAW Hamburg Germany, Master Thesis, 2014.
- [Lit11] G. Littlewort, J. Whitehill, T. Wu, I. Fasel, M. Frank, J. Movellan und M. Bartlett: The computer expression recognition toolbox (cert). In Automatic Face & Gesture Recognition and Workshops (FG 2011), 2011 IEEE International Conference on, S. 298-305. IEEE, 2011.
- [Mor12] M. Mori, K. F MacDorman und N. Kageki (2012, Japanese orig. 1970): The uncanny valley [from the field]. In: IEEE Robotics & Automation Magazine 19.2, pp. 98-100, 2012.
- [Mue12a] L. Müller, A. Bernin, S. Keune und F. Vogt: Emotional interaction with surfaces-works of design and computing. In: International Conference on Entertainment Computing. Springer, S. 457-460, 2012.
- [Mue12b] L. Müller, A. Bernin, S. Keune und F. Vogt: Emotion Sensitive Active Surfaces. In: Workshop Article of the Track Emotion and Computing: presented at the 35th German Conference on Artificial Intelligence (<http://www.dfki.de/KI2012/>. URL: <http://users.informatik.hawhamburg.de/~ubicom/arbeiten/papers/KI2012.pdf>, 2012.
- [Mue15] L. Müller, S. Zagaria, A. Bernin, A. Amira, N. Ramzan, C.s Grecos und F. Vogt: EmotionBike: a study of provoking emotions in cycling exergames. International Conference on Entertainment Computing, S. 155-168, 2015.
- [Mue16] L. Müller, A. Bernin, S. Ghose, W. Gozdzielewski, Q. Wang, C. Grecos, K. von Luck und F. Vogt: Physiological data analysis for an emotional provoking exergame. IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), S. 1-8, 2016.
- [Mue17a] L. Müller, A. Bernin, K. von Luck, A. Kamenz, S. Ghose, Q. Wang, C. Grecos und F. Vogt: Enhancing Exercise Experience with Individual Multi-Emotion Provoking Game Elements, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 2017, S. 1-8, 2017.
- [Mue17b] L. Müller, A. Bernin, K. von Luck, A. Kamenz, S. Ghose, Q. Wang, C. Grecos und F. Vogt: Emotional Journey for an Emotion Provoking Cycling Exergame, IEEE 4th Intl. Conference on Soft Computing & Machine Intelligence (ISCMi 2017), S. 104-108, 2017.
- [Nab13] B. Naber, A. Lungfiel, P. Nickel und M. Huelke: Human Factors zu Robotergeschwindigkeit und -distanz in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung (421-424). Dortmund: GfA-Press. (ISBN 3-978-3-936804-14-0), 2013.
- [Pue11] A. M. von der Pütten, N. C. Krämer, C. Becker-Asano und H. Ishiguro: An android in the _eld. In Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction, HRI '11, S. 283-284, New York, NY, USA, 2011.

- [Ruh14a] J. Ruhnke und B. Bettzüge: Ein Roboterhund mit kognitiven Fähigkeiten, An autonomous quadruped rough-terrain robot to explore hazardous areas. In: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 427-436, 2014.
- [Ruh14b] J. Ruhnke: Ein vierbeiniger Roboter für unebenes Gelände. Hamburg, Germany: HAW-Hamburg, Master-Thesis, 2014.
- [Shi12] T. Shibata: Therapeutic Seal Robot as Biofeedback Medical Device: Qualitative and Quantitative Evaluations of Robot Therapy in Dementia Care. In: Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 8, S. 2527-2538, Aug. 2012.

Autorenverzeichnis

Andrea Altepost	RWTH Universität Aachen Institut für Textiltechnik, Lehrstuhl für Textilmaschinenbau
Michael S. Andersen	Universität Aalborg Department of Materials and Production
Carmen Aringer Walch	Technische Universität München Lehrstuhl für Ergonomie
Nils Backhaus	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Human Factors, Ergonomie
Thomas Bauernhansl	Fraunhofer IPA Abteilung Biomechanische Systeme
Martin Baumann	Universität Ulm Human Factors Department
Mohamad Bdiwi	Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Abteilung Robotertechnik
Gregor Behnke	Universität Ulm Institut für künstliche Intelligenz
Martin Bellanova	PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Pascal Bercher	Universität Ulm Institut für künstliche Intelligenz
A. Bernin	PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Stefan Besserer	Technische Universität München Lehrstuhl für Ergonomie
Andreas Bischof	Technische Universität Chemnitz Professur Medieninformatik
Sunsanne Biundo	Universität Ulm Institut für Künstliche Intelligenz
Gabriele Bleser	Technische Universität Kaiserslautern AG wearHEALTH, Fachbereich Informatik
Ivo Boblan	Beuth Hochschule für Technik Berlin Robotik und Bionik, physikalische Technik und Medizinphysik
Max Böhme	Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Kim Broscheid	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Bereich Sportwissenschaft
Kirsten Brukamp	Evangelische Hochschule Ludwigsburg

Chien-Hsi Chen	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Bereich Sportwissenschaft
Philipp Dehmel	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie
Jochen Deuse	Technische Universität Dortmund Institut für Produktionssysteme
Nadine Diefenbach	RWTH Universität Aachen Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie
Dominik Diensthuber	National University of Singapore Division of Industrial Design
Jana Deisner	Technische Universität Berlin Institut für Soziologie
Paul Eichler	Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Abteilung Robotertechnik
Kai Essig	Mediablix-IIT GmbH, Bielefeld Rhein-Waal Universität für angewandte Wissenschaft Campus Kamp-Lintfort Universität Bielefeld Center of Excellence - Cognitive Interaction Technology (CITEC)
Corinna A. Faust-Christmann	Technische Universität Kaiserslautern AG wearHEALTH, Fachbereich Informatik
Mauritz Fethke	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik
Annika Fohn	RWTH Universität Aachen Institut für Soziologie, Lehrstuhl Technik- und Organisationssoziologie
Jörg Franke	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Miriam Funk	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Human Factors, Ergonomie
Nadine Gerhardt	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Institut für Controlling
Paul Glogowski	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Produktionssysteme
Robert Goehlich	Airbus Fertigungstechnik
Sigrun Goll	Hochschule Hannover Fakultät V (DGS)

Sebastian Gratz-Kelly	Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik GmbH (ZEMA)
Kastriote Gutiq	Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Institut für Produkt- und Produktionsmanagement
Rüdiger Haas	Hochschule Karlsruhe Institute of Materials and Processes, Technik und Wirtschaft
Jan Haase	Universität Lübeck Institut für Technische Informatik
Roman Hackbart	Würth Elektronik GmbH & Co. KG
Holger Hagen	Hochschule Hannover Fakultät V (DGS)
Karola Hagner	Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz
Astrid Haibel	Beuth Hochschule für Technik Berlin Robotik und Bionik, physikalische Technik und Medizinphysik
Veronika Hämmerle	Fachhochschule St. Gallen IKOA
Matthias Hartwig	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Human Factors, Ergonomie
Steffen Hau	Universität des Saarlandes Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme
Sonja Haug	Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung
Ralph Hensel	Audi AG Industrial Engineering Methoden
Jannis Hergesell	Technische Universität Berlin Institut für Soziologie
Marc Hesse	Universität Bielefeld AG Kognitronik & Sensorik, CITEC
Daniel Höller	Universität Ulm Institut für künstliche Intelligenz
Ilona Horwath	Universität Paderborn Fakultät für Maschinenbau, Technik & Diversity
Christian Huber	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Institut für Controlling und Unternehmensrechnung
Alfred Hypki	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Produktionssysteme

Randolf Isenberg	Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg Institut für Produkt- und Produktionsmanagement
Thomas Jacobsen	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie
Jens Jäkel	Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Juliane Jarke	Universität Bremen ifib/ZeMKI
Maja Jeretin-Kopf	Hochschule Karlsruhe Institute of Materials and Processes, Technik und Wirtschaft
Thomas Jungeblut	Universität Bielefeld AG Kognitronik & Sensorik, CITEC
Jonas Klabunde	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik
Marco Knittel	Technische Universität Dortmund Institut für Produktionssysteme
Aleksandar Kostadinov	National University of Singapore Division of Industrial Design
Jan Kostelnik	Würth Elektronik GmbH & Co. KG
André Frank Krause	Mediablix-IIT GmbH, Bielefeld
Dieter Krause	Technische Universität Hamburg Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Ingo Krohne	Airbus Innovation & Development Manufacturing Technologies
Jörg Krüger	Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
Bernd Kuhlenkötter	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Produktionssysteme
Janine Kupfernagel	Beuth Hochschule für Technik Berlin Robotik und Bionik, physikalische Technik und Medizinphysik
Jan Kuschan	Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
Sascha Lang	Hochschule Hof Institut für Informationssysteme
Klaus-Dieter Lang	Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)
Martin Lauer-Schmaltz	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

Alexei Laukart	evenCARE
Stephanie Lehmann	Fachhochschule St. Gallen IKOA
Benedikt Leichtmann	RWTH Universität Aachen Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft
Jacqueline Lemm	RWTH Universität Aachen Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie
Kai Lemmerz	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Produktionssysteme
Christine Linnenberg	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Professur für Fertigungstechnik
Arne Maibaum	Technische Universität Berlin Institut für Soziologie
Kristina Mattern	evenCARE
Jochen Mayer	Technische Universität Kaiserslautern Fachbereich Sozialwissenschaften, Center for Cognitive Science
Antonia Meissner	YOUSE GmbH
Sabina Misoch	Fachhochschule St. Gallen IKOA
Paul Motzki	Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik GmbH
Jens Müller	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Professur für Regelungstechnik
Larissa Müller	PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Ralf Müller-Polyzou	Leuphana Universität Lüneburg Institute für Produkt- und Prozessinnovation PPI
Verena Nitsch	RWTH Universität Aachen Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft
Michel Nitschke	Hochschule Hannover Fakultät V (DGS)
Fabian Ong	National University of Singapore Division of Industrial Design
Bernward Otten	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik

Andre Overkamp	ContiTech Elastomerbeschichtung GmbH
Kristin Paetzold	Universität der Bundeswehr München Institut für Technische Produktentwicklung
Cora Pauli	Fachhochschule St. Gallen IKOA
Uwe Pfenning	Universität Stuttgart Institut für Sozialwissenschaften
Valentin Plenk	Hochschule Hof Institut für Informationssysteme
Bastian Pokorni	Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO Stuttgart
John Rasmussen	Universität Aalborg Department of Materials and Production
Michael Rehe	Leibniz Universität Hannover Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
Sebastian Reitelshöfer	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Fabian Rimmele	
Gianluca Rizzello	Universität des Saarlandes Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) GmbH
Christiane Rudlof	Hochschule Hannover Zentrum für Lehre und Beratung
Jan Ruhnke	PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Moritz-Henning Rutsch	Airbus Airbus Medical
Olga Sankowski	Technische Universität Hamburg Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Thomas Schack	Universität Bielefeld Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC) Universität Bielefeld Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaften
Lutz Schega	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Bereich Sportwissenschaft
Ellen Scheithauer	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

Lena Schell-Majoor	Hamburg Centre of Aviation Training-Lab (HCAT+) e. V.
Tobias Scheytt	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Institut für Controlling und Unternehmensrechnung
Daniela Schlindwein	Hochschule Hannover Fakultät V (DGS)
Henning Schmidt	Fraunhofer Institut Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
Urs Schneider	Fraunhofer IPA Abteilung Biomechanische Systeme
Felix Schroeter	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik
Ulrike Scorna	Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung
Stefan Seelecke	Universität des Saarlandes Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik GmbH
Stefan Sesselmann	Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden Professur für innovative Konzepte und Technologien in der Gesundheitsversorgung
Julian Seßner	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Simone Filomena	Universität des Saarlandes Lehrstuhl für intelligente Materialsysteme Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik GmbH
Jan Spilski	Technische Universität Kaiserslautern Fachbereich Sozialwissenschaften, Center for Cognitive Science
Daniela Sprengel	Leibniz Universität Hannover Lehrstuhl für Strafrecht, Strafprozessrecht, Strafrechtsvergleichung und Rechtsphilosophie
Benjamin Stangl	Technische Universität Wien Institut für Architekturwissenschaften Fachbereich Architekturtheorie
Benjamin Steinhilber	Universitätsklinikum Tübingen Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung
Sebastian Stoutz	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Bereich Sportwissenschaft

Benjamin Streng	Universität Bielefeld Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC) AG Neurokognition und Bewegung
Niklas Stüver	RWTH Aachen University Institut für Soziologie, Lehrstuhl Technik- und Organisationssoziologie
Raman Tandon	Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe
Jan Taubert	Leibniz Universität Hannover Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
Joahannes Terhechte	Universität Paderborn Fakultät für Maschinenbau, Technik & Diversity
Axel Thallemer	National University of Singapore Division of Industrial Design
NeleTornow	
Mark Tröster	Fraunhofer IPA Abteilung Biomechanische Systeme
Angelika Trübswetter	YOUSE GmbH
René Viero	Technische Universität Berlin
Ludwig Vogel	Universität Bielefeld Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC) AG Neurokognition und Bewegung
Anne Wallisch	Universität der Bundeswehr München Institut für Technische Produktentwicklung
Karsten Weber	Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung
Robert Weidner	Helmut-Schmidt-Universität Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Professur für Fertigungstechnik
Felix Weiske	Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Andreas Werner	Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe Flugphysiologie Diagnostik und Forschung
Christian Wiesmüller	Pädagogische Hochschule Karlsruhe Technische Bildung
Lena Winkler	Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Abteilung Robotertechnik
Leoni Winter	Justus-Liebig-Universität Gießen

Jens Peter Wulfsberg	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik
Zhejun Yao	Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Laboratorium Fertigungstechnik
In Seong Yoo	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Johannes Zentner	Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Nenja Ziesen	RWTH Aachen University Institut für Soziologie, Lehrstuhl Technik- und Organisationssoziologie
Bernd Zirkler	Westfälische Hochschule Zwickau (WHZ) Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen/Controlling

Laboratorium Fertigungstechnik und
Professur für Fertigungstechnik
Forschernachwuchsgruppe smartASSIST