

# Systematische Entwicklung von Einheiten aus Power-Tools und anziehbaren Unterstützungssystemen

## Ansatz einer integrativen Entwicklung von Power-Tools und anziehbaren Unterstützungssystemen

**R. Weidner<sup>1)</sup>, S. Matthiesen<sup>2)</sup>, T. Bruchmüller<sup>2)</sup>, S. Mangold<sup>2)</sup>, J. P. Wulfsberg<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik  
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg  
Robert.Weidner@hsu-hh.de, Jens.Wulfsberg@hsu-hh.de

<sup>2)</sup> IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie,  
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe,  
sven.matthiesen@kit.edu, tim.bruchmueller@kit.edu, sebastian.mangold@kit.edu

### **Kurzzusammenfassung**

Power Tools und Systeme zur physischen Unterstützung werden heutzutage, und das obwohl sie im Einsatz eine starke Interaktion miteinander haben, in parallelen Entwicklungsprozessen unabhängig voneinander entwickelt. Das führt dazu, dass Unterstützungssystem und Power-Tool erst beim Anwender miteinander kombiniert werden und nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur systematischen Entwicklung entsprechender Einheiten der Systeme Power-Tool und Unterstützungssystem sowie die regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung vorgestellt. Abschließend werden Fallbeispiele aufgezeigt, an denen der praktische Nutzen und die Potentiale möglicher Funktionen durch die integrative Entwicklung beider Systeme verdeutlicht werden.

### **Abstract**

Even though their interaction is significant, wearable support systems as well as power tools are developed individually and independently from one another. Wearable support systems and power tools are currently combined by the user and are therefore not ideally suited for the interaction as well as for the intended tasks. In this contribution, an approach is introduced for the integrative development of wearable support systems and power tools by determining the interfaces of the control loops between both systems and the user. Subsequently, two example display the practical use and potential of integrative developed wearable support systems and power tools.

### **Stichworte**

Systematische Entwicklung, Einheit aus Power Tools und Unterstützungssystem, regelungstechnische Verknüpfung

## **1 Einleitung**

Trotz der Bestrebungen nach einem hohen Automatisierungsgrad in zahlreichen Industriebranchen nimmt auch der Mensch in zukünftigen Wertschöpfungsketten eine zentrale Rolle ein. Begründet ist dies in den besonderen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die gerade bei unstrukturierten oder heterogenen Arbeitsbedingungen in der Fertigung und Montage zur Geltung kommen. Bei entsprechenden Aufgaben kommen häufig Power-Tools zum Einsatz, mit denen bspw. die Herstellung von Bauteilverbindungen oder die Nachbearbeitung von Bauteilen unterstützt wird. Im Zuge des technischen Fortschrittes liegen immer höhere Anforderungen an den Menschen vor (u.a. durch die Produkt-Individualisierung), wodurch er zum limitierenden Faktor wird. Dies betrifft vor allem die Präzision des Arbeitens bei zeitgleichen hohen Bedienkräften durch bspw. Power-Tools. Erschwert wird dies durch häufig schwer zugänglichen oder in unergonomischer Position befindlicher Arbeitsbereiche (z.B. in und an großflächigen Strukturen oder in und über Kopfhöhe). Verstärkt wird dieses Spannungsfeld durch die demographische Entwicklung im Arbeitsleben und der steigenden Heterogenität der Belegschaft.

Um neue Möglichkeiten in der Produktion zu ermöglichen (bspw. präziseres und ergonomisch günstigeres Arbeiten bei höheren Prozesskräften, die für eine steigende Prozessqualität erforderlich sind) lassen sich körpergetragene Unterstützungssysteme, bspw. zur Kraftumleitung [1], [2], [3] oder zur Unterstützung kognitiver Strukturen (z.B. AR- und VR-Technologien, bspw. [4]) einsetzen. Hierbei kann es sich um Systeme mit unterschiedlichem Aufbau handeln, die vornehmlich in Interaktion mit dem Systemnutzer stehen, aber dennoch zumindest in der konzeptionellen Auslegung ohne Interaktion zum Power-Tool. Auch die Entwicklung der entsprechenden Systeme erfolgt klassisch getrennt. Erst im Einsatz werden die universell entwickelten Systeme miteinander über die Schnittstelle Mensch und selten mit direkter Schnittstelle gekoppelt. In einzelnen Fällen sind mechanische Schnittstellen vorgesehen, wenngleich auf Informations- und Energieschnittstellen gänzlich verzichtet wird. Neben der Universalität ist dies insbesondere darin begründet, dass Power Tools vornehmlich so gestaltet werden, dass die ihnen zugesetzten Aufgaben realisieren können und die Unterstützungssysteme die ergonomischen Arbeitsbedingungen verbessern.

Eine gemeinsame Betrachtung während der Produktentwicklung kann zu besseren Power-Tools und Unterstützungssystemen sowie als Folge für bspw. produzierende Unternehmen führen. Dies kann sich auf vier Ebenen positiv auswirken:

- Gestaltung von optimierten und aufeinander abgestimmten System- und Power-Tool-Komponenten,
- Gestaltung von leistungsfähigeren Gesamtsystemen als Einheit aus Unterstützungssystem und Power-Tool,
- Interaktion zwischen Mensch und Technik sowie
- Einsatz in produzierenden Unternehmen.

Dieser Beitrag stellt aufbauend auf den einführenden Gedanken einen Ansatz für die systematische Entwicklung von Einheiten aus Power-Tool und anziehbarem Unterstützungssystem inklusive der regelungs- und steuerungstechnischen Verknüpfung dar.

## 2 Klassisches Entwicklungsvorgehen und Einsatzszenarien

Die Entwicklung technischer System erfolgt i.d.R. unter Zuhilfenahme methodischer Vorgehensweisen und Kreativitätstechniken. Diese Teilen die Phasen vereinfacht (unterscheidet sich je nach Vorgehen) in Klären der Aufgabestellung, Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen, Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen, Gliedern in realisierbare Strukturen, Gestalten der maßgebenden Module, Gestalten des gesamten Produkts, Ausarbeiten des gesamten Produkts und weitere Realisierung [5]. Diese Phasen werden heutzutage für Power-Tools und unterstützende Systeme getrennt voneinander durchlaufen. Erst im Einsatz kommt es über den Nutzer zu einer Kopplung. Schnittstellen zwischen Power-Tools und Unterstützungssystem sind i.d.R. nicht vorgesehen.

Power-Tools in diesem Kontext sind handgehaltene Geräte, die für gewöhnlich zum Trennen, Fügen und Beschichten eingesetzt werden. Im Rahmen der Entwicklung ist besonders von Interesse, dass die technischen Systeme die Aufgabe mit hoher Qualität ausführen können. Dazu verfolgt das IPEK – Institut für Produktentwicklung mit dem IPEK XiL-Ansatz [6] die ganzheitliche Validierung von Power-Tool Funktionalitäten unter Berücksichtigung des Anwenders [7] Werkstück [8] auf Gesamtsystemebene und auf Subsystemebene [9]. Aus Gründen der Anwendungsqualität werden Sensoren, bspw. zur Messung der Drehzahl und des Drehmoments, integriert [10]. Die Informationen werden gewöhnlich für die interne Regelung und Steuerung sowie für das Monitoring der Leistungsdaten herangezogen [10].

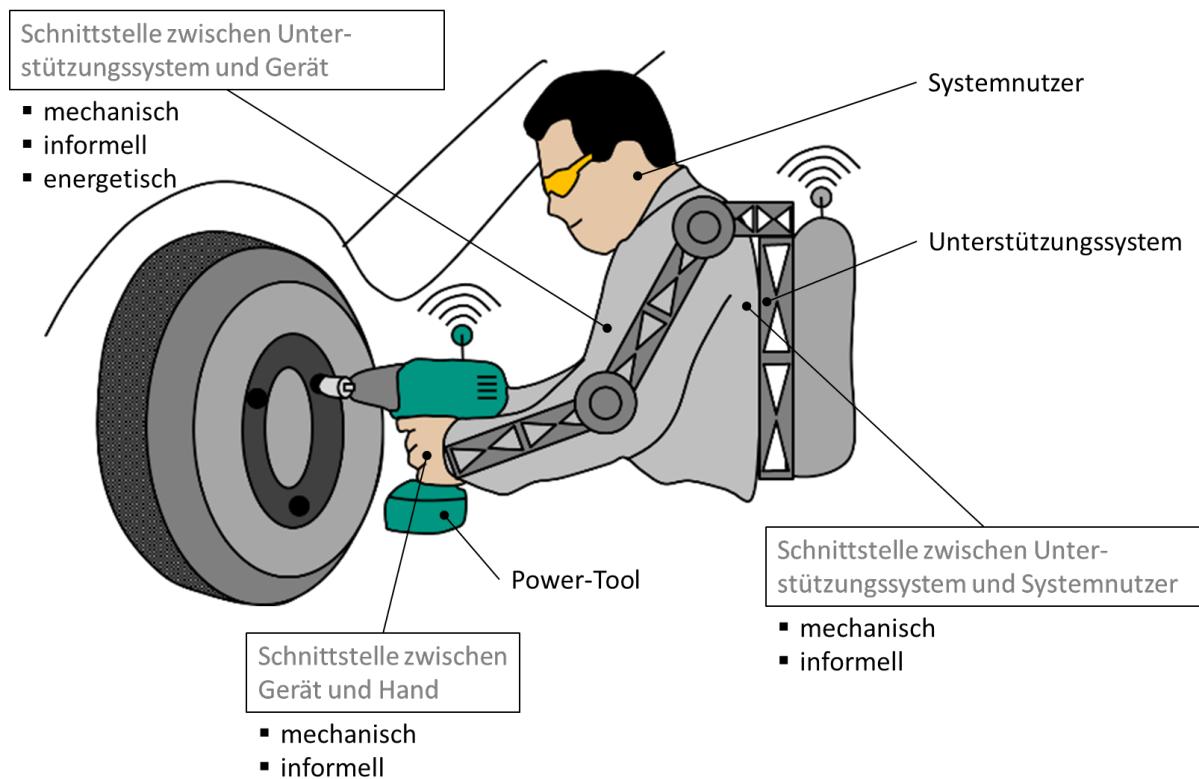
Unterstützungssysteme werden klassischerweise eingesetzt, um den Nutzer bei unergonomischen oder qualitätskritischen Aufgaben zu unterstützen (vgl. z.B. [1], [2], [11]). Sie können unterschiedlich aufgebaut sein, um zum einen eine physische Unterstützung und zum anderen die Unterstützung kognitiver Strukturen zu realisieren. Je nach Funktionsweise benötigen entsprechende Systeme Sensoren zur Intentions- und Situationserkennung. Einsatz finden können hier bspw. kinematische und EMG-Sensoren, die in das System oder die Schnittstelle zum Nutzer integriert sind [12]. Die Sensorwerte lassen sich zur Adaption des Systemverhaltens heranziehen.

Beide Systeme, Power-Tools und Unterstützungssysteme, verfügen über interne Sensoren zur Messung interner Zustände. Die parallele, entkoppelte Entwicklung führt u.a. dazu, dass Power-Tool und Unterstützungssystem im späteren Gebrauch bis auf mechanische Schnittstellen keine weiteren Informationen und Leistungen miteinander austauschen. Aus Sicht der Autoren ist es bisher nicht möglich, Power-Tool und Unterstützungssystem in einer Weise miteinander zu koppeln, dass beide technischen Teilsysteme miteinander kommunizieren und gegebenenfalls Leistung in einer Weise austauschen, dass eine Verbesserung des Arbeitsprozesses und ein Anwenderschutz vor Überlast erreicht wird.

## 3 Integriertes Entwicklungsvorgehen

Da im Einsatz, bspw. in der industriellen Produktion und im Baugewerbe, Power-Tool und Unterstützungssystem mit dem Systemnutzer eine Einheit bilden, ist diese Einheit auch im Entwicklungsprozess bevorzugt gemeinsam zu betrachten. Eine beispielhafte Einheit mit Power-Tool und technischem System zur physischen Unterstützung ist in Abbildung 1 mit den drei zentralen Schnittstellen skizziert. Betrachtet wird hierbei ein Systemnutzer, der eine Arbeitsaufgabe in einer Umgebung ausführt. Die technischen Systeme besitzen bevorzugt

Schnittstellen auf Seiten der Hardware (mechanisch und energetisch) und auf Seiten der Software zum Austausch von Informationen.



**Abbildung 1:** Schnittstellen einer Einheit aus Systemnutzer, Unterstützungssystem und Power-Tool

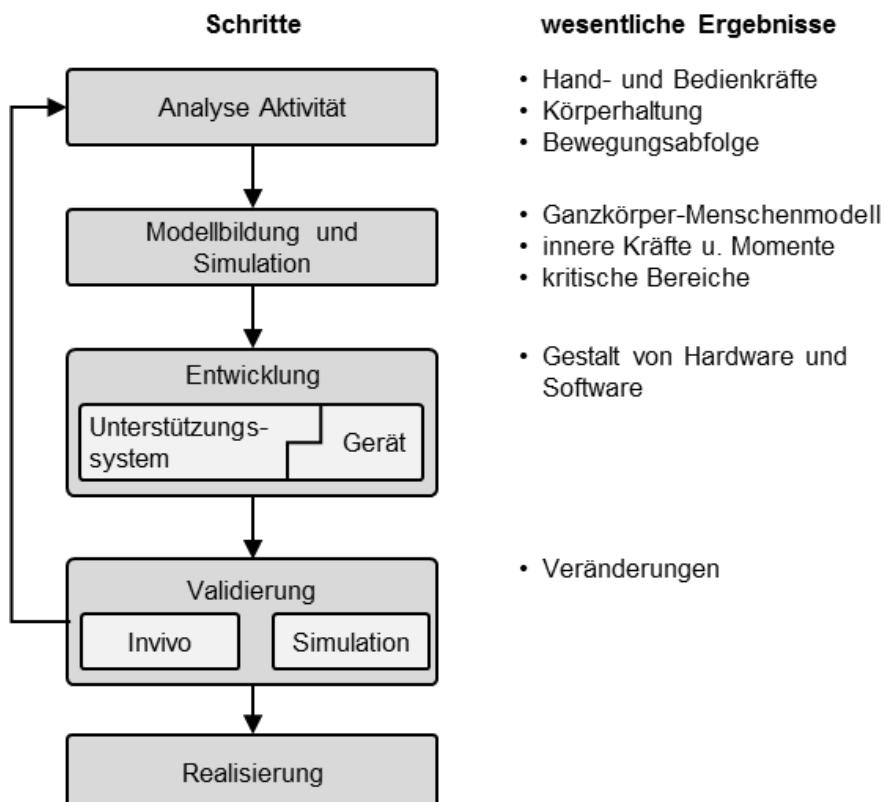
Aufgrund der starken Interaktion von Power-Tool und Unterstützungssystem in einem hybriden System sind diese auch im Entwicklungsprozess als Integrativ zu betrachten. Im Mittelpunkt hierbei sollte stets der Mensch mit seinen individuellen Voraussetzungen stehen. Abbildung 2 fasst ein Entwicklungsvorgehen für Einheiten aus Power-Tool und Unterstützungssystem in einem hybriden System mit dem Menschen zusammen. Hierbei handelt es sich um sechs zentrale Schritte, die insofern erforderlich iterativ durchgeführt werden sollten.

Ausgangspunkt der Entwicklung ist eine Analyse der Aktivität im Anwendungskontext. Hierbei können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen, z.B. biomechanische Analysen, Befragungen und Beobachtungen. Zentrale Ergebnisse sind Hand- und Bedienkräfte, Körperhaltung (Gelenkposition, -geschwindigkeit und -beschleunigung) und Bewegungsfolge, die als Ausgangsgrößen die Grundlage für die Entwicklung genutzt werden.

Darauf aufbauend geht es im zweiten Schritt um die Modellierung und Simulation des Menschen und der Aufgabe im Anwendungskontext. Mit Hilfe eines Ganzkörper-Menschenmodell lassen sich auf diese Weise innere Kräfte und Momente berechnen sowie darauf aufbauend kritische Bereiche als Ansatzpunkt für die Entwicklung ableiten.

Die Entwicklung von Unterstützungssystem und Power-Tool, wenn gleich es immer noch zwei Teilsysteme sind, erfolgt in enger Zusammenarbeit, da auch sie – und eben nicht nur jeweils auf den Menschen – aufeinander abgestimmt sein müssen.

Im Anschluss erfolgt die Validierung entweder auf Basis von Simulationsmodellen (Kopplung des Ganzkörper-Menschenmodells mit dem Modell des Unterstützungssystems und Power-Tool) oder Invivo im Anwendungskontext (i.d.R. zunächst in einer Laborumgebung), bevor iterativ optimiert wird. Hierbei ist wieder die Analyse der unterstützten Aktivität als Ausgangsbasis zu betrachten.



**Abbildung 2:** Entwicklungsvorgehen von Einheiten aus Power-Tool und Unterstützungs-  
system inkl. wesentliche Ergebnisse

#### 4 Integrativer Regelkreis

In neuartigen handgehaltenen Power Tools und adaptierbaren Unterstützungssystemen ist i.d.R. eine Sensorik integriert. Bei Geräten wie Power Tools sind dies bspw. Drehzahl- und Drehmomentsensoren, die vornehmlich zur Motorregelung verwendet werden. Bei körpergetragene Unterstützungssysteme werden je nach Gestaltung und Anwendungskontext (in manchen Fällen aber auch garnicht) bspw. Winkelencoder, Kraftsensoren, EMG-Sensoren und Beschleunigungssensoren für die Regelung und Steuerung kinematischer Elemente verwendet.

In der Entwicklung beider Systeme wird es insbesondere darum gehen, die geeigneten Messgrößen in Power-Tool und Unterstützungssystem zu identifizieren die es ermöglichen, das Unterstützungssystem zum Beginn des Arbeitsprozesses so zu aktivieren, dass der Anwender überlastungssichere Unterstützung erfährt und am Ende des Arbeitsprozesses in einer Weise inaktiv wird, dass eine Beeinträchtigung des Anwenders bei Nichtbedarf möglichst vermieden wird.

Dazu müssen die Sensoren am Ort des Geschehens (im Power-Tool und Unterstützungssystem) ausgelesen und durch eine geeignete Schnittstelle an einer Stelle zentral erfasst und ausgewertet werden. Basierend auf einem implementierten Regleralgorithmus können Aktuatoren am Unterstützungssystem die überlastsichere Unterstützung, durch z.B. sperren von Freiheitsgraden, einleiten.

Abbildung 3 skizziert grob die regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung des Systemnutzers mit der technischen Einheit, bestehend aus technischem Unterstützungssystem und Power Tool, sowie der Kontexteinbindung in einer Aufgabe, die bspw. aus einer Produktionsaufgabe resultieren kann.

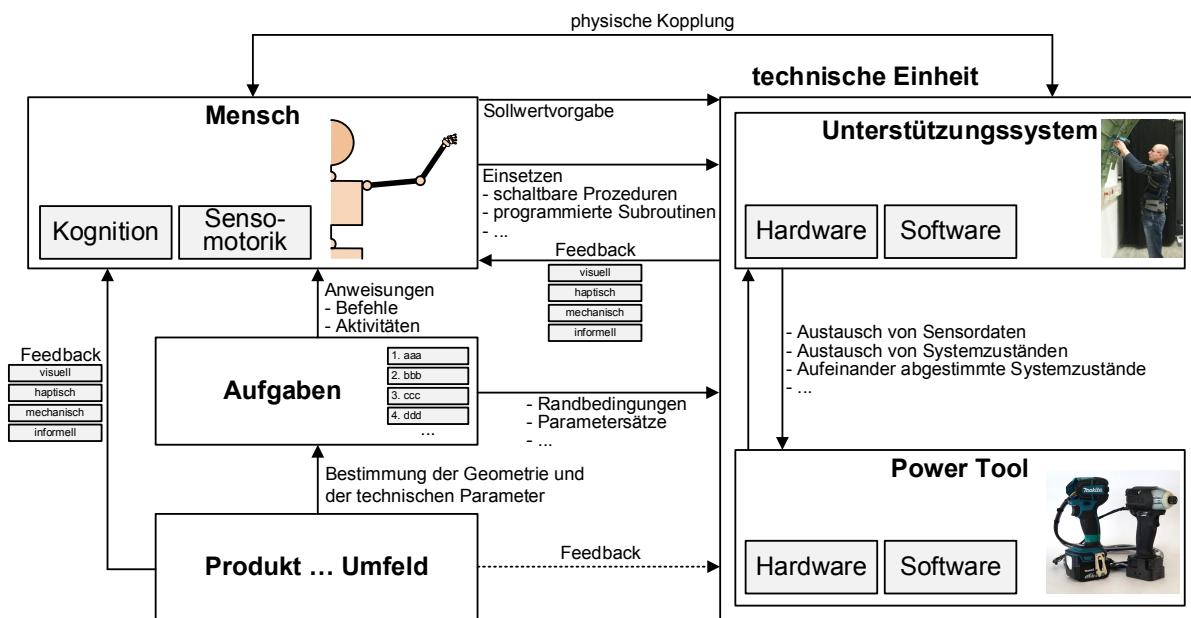


Abbildung 3: Regelungs- und steuerungstechnische Verknüpfung

## 5 Fallbeispiele

Abschließend werden zwei Fallbeispiele aufgezeigt, mit denen die Notwendigkeit der gemeinsamen Betrachtung von Power-Tools und Unterstützungssystem als Einheit in Verbindung mit dem Nutzer im Rahmen der Entwicklung und im Einsatz deutlich wird.

### Fallbeispiel 1: Ergonomische Gestaltung

Für den Einsatz von Power-Tools ist naheliegend, dass die Nutzerschnittstelle (insbesondere der Griff) entsprechend ergonomisch zu gestalten ist. Darüber hinaus spielt das Gewicht eine wichtige Rolle. Besonderes bei schweren Power-Tools oder bei Power-Tools, die in ergonomisch ungünstigen Arbeitspositionen zur Anwendung kommen ist zudem ratsam die Kraftleitung über die oberen Extremitäten und weitere Körperteile des Nutzers detailliert zu betrachten. An dieser Stelle können technische Systeme zur physischen Unterstützung zum Einsatz kommen, um das Gewicht bzw. ein Teil des Gewichts des Power-Tools sowie Prozesskräfte (Bedien- und Haltekräfte) gezielt um für den Menschen kritische Bereiche herumzuleiten.

### **Fallbeispiel 2: Aufgabenangepasste Systemparametrisierung**

Power-Tool und Unterstützungssysteme lassen sich je nach Variante durch vorgesehene Einstellmöglichkeiten einzeln an die jeweilige Aufgabe anpassen. Bspw. sei hier genannt, dass sich das maximale Drehmoment bei Akkuschraubern und der Unterstützungsgrad bei Unterstützungssystemen anpassen lassen. Hier erfolgt die Anpassung jedoch vollkommen getrennt voneinander. Power-Tools und Unterstützungssystem verwenden eigene Sensoren. Speziell die Sensorwerte der Power-Tools können jedoch wertvolle Eingangsgrößen für die Adaption körpergetragener Unterstützungssysteme darstellen. Beispiele hier sind:

- Power-Tool-Drehmoment zur gezielten Unterstützung in Form von aufgabenabhängigen Gegenkräften und Anpassung der Systemsteifigkeit,
- Nutzen des Informationen des Rückschlagimpulses (Stärke und Zeitpunkt) zur gezielten Einstellung der Systemsteifigkeit bzw. -nachgiebigkeit sowie
- Power-Tool-Bewegung zur gezielten Adaption der Trajektorie von Unterstützungssystemen (möglicherweise ergänzt durch haptisches Feedback).

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass eine integrierte Betrachtung zu Vorteilen führen kann. Zentral sind hierbei:

- individuelle Konfiguration von Einheiten aus Geräten und Unterstützungssystemen (Baukasten),
- kostengünstige Lösungen durch z.B. Mehrfachverwendung von Sensoren,
- bessere Sensorwerte als Sollwertvorgabe für Unterstützungssystem aufgrund Sensorik im Werkzeug und besseres Verständnis der Einheit sowie
- Situationserkennung in Echtzeit durch Nutzung der Sensordaten von Werkzeugen.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Heutzutage werden Power Tools, und Unterstützungssysteme, z.B. zur physischen Unterstützung von Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, obwohl sie im Einsatz zusammen eingesetzt werden, i.d.R. getrennt voneinander entwickelt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wurde ein Ansatz für ein integriertes Entwicklungsvorgehen für derartige hybride Systeme vorgestellt, mit dessen Hilfe eine zielgerichtete Entwicklung kostengünstigere und leistungsstarker Einheiten ermöglicht werden kann und die regelungstechnische Verknüpfung beschrieben. Abschließend wurden Fallbeispiele beschrieben.

## **7 Literaturverzeichnis**

- [1] R. Weidner, A. Argubi-Wollesen, C. Berger, B. Otten, Z. Yao und J. P. Wulfsberg, Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe, Für: 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, S. 1 - 6, 2016.
- [2] R. Weidner, T. Meyer, A. Argubi-Wollesen und J. P. Wulfsberg, Modular and wearable support system for industrial production, Applied Mechanics & Materials, Vol. 840, S. 123 - 131, 2016.
- [3] M. Bohla, R. Weidner, R. Isenberg, R. A. Goehlich und I. V. L. Krohne, Wearable Support Systems and Human-Robot Collaboration in the Industry 4.0 Production, In:

Proceedings of the 33rd International Manufacturing Conference, Ireland, September 2016.

- [4] M. Saggiomo, M. Löhrer, D. Kerpen, J. Lemm und Y.-S. Gloy, Human- and task-centered assistance systems in production processes for the textile industry: determination of operator-critical weaving machine components for AR-prototype development, 49th Hawaii International Conference on System Science (HICSS), 2016 : 5 - 8 Jan. 2016, Kauai, Hawaii. - Piscataway, NJ : IEEE, 2016, S.560-568, Datei: 5670a560.pdf, doi:10.1109/HICSS.2016.76.
- [5] V. D. Ingenieure, „VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte,“ Beuth Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [6] A. Albers, M. Behrendt, S. Klingler und K. Matros, „Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess,“ in *Handbuch Produktentwicklung*, Carl Hanser Verlag, 2016.
- [7] S. Matthiesen, S. Mangold, T. Bruchmüller und A. Marko, „Der Mensch als zentrales Teilsystem in Wechselwirkung mit handgehaltenen Geräten – Ein problemorientierter Ansatz zur Untersuchung dieser Schnittstelle,“ in *Beiträge zum 25. DfX-Symposium*, 2014.
- [8] S. Matthiesen, T. Bruchmüller, P. Grauberger und A. Wettstein, „Modellunterstützte Reduktion von Störgrößen in einem Messsystem zur Erfassung der Geräte-Werkstück-Wechselwirkungen,“ in *26. DfX-Symposium*, Herrsching, Deutschland, 2015.
- [9] S. Matthiesen, T. Gwosch, T. Schäfer, P. Dültgen, C. Pelshenke und H.-J. Gittel, „Experimentelle Ermittlung von Bauteilbelastungen eines Power Tool Antriebsstrangs durch indirektes Messen in realitätsnahen Anwendungen als ein Baustein in der Teilsystemvalidierung,“ *Forschung im Ingenieurwesen*, 2016.
- [10] H.-D. Stölting, *Handbuch elektrische Kleinantriebe*, München : Hanser Verlag, 2011.
- [11] R. Weidner, Z. Yao, J. P. Wulfsberg, R. A. Goehlich und S. Mehler, Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie, In: Band zur ersten Transdisziplinären Konferenz „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“, S. 347 - 358, 2014.
- [12] Z. Yao, W. Weidner, R. Weidner und J. Wulfsberg, Human Hybrid Robot, Next-generation Sup-port Technology for Manual Tasks: Challenges, Perspectives and Economic Implications, SAE Technical Paper 2015-01-2601, 2015, doi: 10.4271/2015-01-2601.