

---

# Geodäsie – Schlüsseldisziplin für die digitale Gesellschaft

Hansjörg KUTTERER

DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Karlsruhe ·  
hansjoerg.kutterer@dvw.de

## Zusammenfassung

Digitale Technologien halten zunehmend Einzug in unseren privaten und beruflichen Alltag. Zudem verändern mobile Technologien unser Kommunikationsverhalten ebenso wie unseren Zugang zu und Umgang mit Informationen jeglicher Art. Beides beeinflusst gleichermaßen Geschäfts- und Verwaltungsprozesse, die mehr und mehr vollständig digitalisiert werden und dadurch medienbruchfrei ablaufen können. Dadurch ändern sich auch unsere bisherigen Arbeitsweisen grundlegend und durchgreifend. Entsprechend wandelt sich unsere Gesellschaft dauerhaft in eine digitale Gesellschaft. In diesem Beitrag werden die Position und die Rolle der Geodäsie als Disziplin in diesem Transformationsprozess betrachtet. Es wird verdeutlicht, dass jegliche fachliche Weiterentwicklung diesen Entwicklungen Rechnung tragen muss. Dazu werden die Digitalisierung und der digitale Wandel beleuchtet und in den weiteren technologischen Fortschritt eingeordnet, der für die Geodäsie relevant ist. Für die Wissenschaft und die Verwaltung werden verschiedene Beispiele vorgestellt und behandelt, um aktuelle Entwicklungen aufzuzeigen.

## 1 Einführung

Die Geodäsie ist – nach einer gängigen Definition – die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche (HELMERT, 1880). Ein wesentliches Element geodätischen Handelns ist deshalb der professionelle Umgang mit Koordinaten und Koordinatensystemen jeglicher Art. In diesem Zuge trägt die Geodäsie maßgeblich dazu bei, auf unterschiedlichsten Skalen einen einheitlichen, übergreifenden, konsistenten Raum- und Zeitbezug zu definieren und zu realisieren; siehe z.B. KUTTERER ET AL. (2014, S.5f). Dadurch schafft sich die Geodäsie zum einen selbst ein tragfähiges Fundament, um ihre ureigenen Aufgaben in Bereichen wie der Ingenieurgeodäsie, der Photogrammetrie, der Positionierung und Navigation, dem Kartenwesen oder dem Landmanagement lösen zu können. Zum anderen unterstützt sie dadurch alle anderen Disziplinen, die für ihre Aufgaben und Anwendungen raumbezogene Informationen benötigen.

Unabhängig von der Geodäsie können Koordinaten und Koordinatensysteme jeglichen Informationen einen umfassenden Rahmen und eine durchgreifende Ordnung geben. Dadurch lassen sich Sachdaten unterschiedlichster Herkunft und Nutzung direkt und einfach miteinander vergleichen und verknüpfen. Dies wird durch das Beispiel digitaler Fotografien

deutlich, die räumliche – und ggf. in einer Abfolge auch zeitliche – Zusammenhänge zwischen Sachverhalten in aller Regel kompakter beschreiben und veranschaulichen, als dies mit geschriebenen oder gesprochenen Texten möglich ist. Ein zweites Beispiel sind handelsübliche Geoinformationssysteme, in denen unterschiedliche Sachinformationen auf Basis eines gemeinsamen Raumbezugs überlagert werden.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Zusammenspiel von Geodäsie und digitalem Wandel. Dabei sieht er sich in einer Linie mit der Betrachtung der Geodäsie im gesellschaftlichen Kontext (KUTTERER, 2018a). Er ist als Diskussionsbeitrag von einer übergeordneten Warte aus formuliert, wie dies von einem Verband wie dem DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement – vertreten werden kann. Dabei wird – auch aus Platzgründen – geodätisches Wissen in einer gewissen Breite vorausgesetzt, wie es im Zuge eines Geodäsiestudiums vermittelt oder durch einschlägige berufliche Erfahrung erworben wird. Der Begriff der Geodäsie wird dabei im weiteren Sinne verstanden und umfasst damit auch methodische Bereiche wie die Photogrammetrie oder die Geoinformatik.

Es geht im Folgenden nicht um die ausführliche Erörterung eines einzelnen wissenschaftlichen Sachverhalts oder die Erstellung eines Strategiepapiers, wie sich die Geodäsie in den digitalen Wandel einbringen sollte. So wird hier kein aktueller Blick auf die Bereitstellung eines globalen geodätischen Referenzsystems geworfen, da dies an anderer Stelle kompetent beschrieben wird; siehe z.B. SEITZ ET AL. (2017). Es werden auch nicht der Stand oder die Anwendung von Geoinformationssystemen betrachtet, die in vielen Fachrichtungen seit langem ein etablierter Gegenstand der akademischen Lehre und der beruflichen Praxis sind (BILL, 2016).

Vielmehr geht es um die Einordnung und Wertung der Leistungen der Geodäsie im Hinblick auf den digitalen Wandel im akademischen Bereich und in der Vermessungsverwaltung. Auch wenn sich beide Sektoren innerhalb der Geodäsie inhaltlich nahestehen, unterscheiden sich die jeweiligen Arbeiten im Hinblick auf Auftrag bzw. Zielsetzung sowie Aufgabenwahrnehmung. Die Wissenschaft ist auf Erkenntnisgewinn ausgerichtet und handelt auf Basis der Freiheit von Forschung und Lehre. Die Verwaltung hingegen erfüllt ihren gesetzlichen Auftrag und dient damit dem Gemeinwohl; ihre Aufgaben haben hoheitlichen Charakter.

Allgemein betrachtet ist die Verortung von Objekten, Phänomenen oder Prozessen das zentrale Bindeglied zwischen allen in der Geodäsie beruflich Tätigen. Diese inhaltliche und methodische Kompetenz stellt einen wesentlichen zivilisatorischen Beitrag dar, da sowohl die öffentliche Daseinsvorsorge als auch das wirtschaftliche Handeln zentral vom „Wissen um das Wo“ abhängen. Ein unmittelbar einleuchtendes Beispiel ist die Bewertung des Zugangs zu Grundvoraussetzungen des täglichen Lebens wie z.B. Nahrung, Bildung oder Transport, wie dies im Rahmen der Agenda 2030 der Vereinten Nationen zum Bemessen und Erreichen der sogenannten Nachhaltigkeitsziele benötigt wird (UN, 2015).

Aufgrund der hohen Komplexität und des beschränkten Rahmens ist es nicht möglich, das hier gewählte Thema erschöpfend zu behandeln. Deshalb ist dieser Beitrag skizzenartig so angelegt, dass zunächst der Wandel angesprochen wird, dem die Geodäsie insgesamt unterliegt. Anschließend werden die wesentlichen Perspektiven in Einzelabschnitten aufgezeigt und an Beispielen aus der Geodäsie veranschaulicht und diskutiert. Schließlich wird die

Geodäsie im Kontext des digitalen Wandels dahingehend betrachtet, wo sie in Wissenschaft und Verwaltung wesentliche, originäre Beiträge liefert.

## 2 Wandel in der Geodäsie

Die Veränderungen, mit denen sich die Geodäsie fachlich und strategisch befassen muss und in den vergangenen Jahrzehnten zu befassen hatte, gehen über die Digitalisierung und die daraus resultierenden Erfordernisse und Möglichkeiten deutlich hinaus. Tatsächlich haben insbesondere die rasanten Fortschritte in den Satellitentechnologien, den Lasertechnologien, den Visualisierungstechnologien und den Informations- und Kommunikationstechnologien bahnbrechende Fortschritte mit sich gebracht. Weitere revolutionäre Entwicklungen sind in den Quantentechnologien zu erwarten, wie z.B. die Ableitung von Differenzen im Gravitationspotential der Erde aus dem Vergleich sogenannter optischer Uhren als wichtiger Schritt hin zur Definition und Realisierung eines weltweit einheitlichen Höhenreferenzsystems (FLURY, 2017). Weitergehende Ausführungen hierzu finden sich in KUTTERER (2017) und KUTTERER (2018a).

Eine diesen Technologien gemeinsame, wesentliche Neuerung ist die immens gewachsene Datenfülle, die für die weitergehende Bearbeitung, Analyse und Nutzung in recht kurzer Zeit (bis hin zu Echtzeit) zur Verfügung steht. Die zentrale Chance liegt im deutlich höheren Detailgrad der erhaltenen Informationen, zum einen in der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung und zum anderen in der gewachsenen inhaltlichen Fülle. Die damit verbundene Herausforderung liegt im effizienten und effektiven Umgang mit dem Umfang und dem semantischen Gehalt der erfassten Datenmengen. Die Arbeiten in der Geodäsie wachsen in diesem Zuge auch enger mit denen in anderen Disziplinen zusammen. Dies gilt beispielsweise bei Verwaltungsaufgaben zum Auf- und Ausbau von Geodateninfrastrukturen ebenso wie für die Analyse und Interpretation von Forschungsdaten, die aus geodätischen Beobachtungsinfrastrukturen erhalten werden.

Infolgedessen war in den vergangenen Jahrzehnten ein umfassender Paradigmenwechsel in der geodätischen Methodenlehre festzustellen, der über ein reines „Digital anstelle von Analog“ hinausgeht. Weitere fachliche Transformationen ergeben sich beispielsweise als

- manuell            ⇨        automatisiert    (⇨ autonom)
- genähert           ⇨        streng            (⇨ heuristisch)
- 2D + 1D            ⇨        3D
- getrennt            ⇨        integriert
- Objekt              ⇨        System
- Insellösungen      ⇨        Infrastrukturen

In den beiden erstgenannten Punkten spiegeln sich vor allem die deutlich höheren Rechenkapazitäten wider, die zur Verfügung stehen. Derzeit wird nicht zuletzt aus Effizienzgründen auf einen hohen Automatisierungsgrad Wert gelegt. Unter Einsatz von Algorithmen aus der sogenannten Künstlichen Intelligenz ist hier ein verstärkter Übergang zu autonomen Verfahren zu erwarten. Viele Verfahren, die früher lediglich mit einer recht groben Näherung gelöst werden konnten, z.B. mit diagonalen anstelle von vollbesetzten Varianz-Kovarianz-Matrizen, können heute streng gerechnet werden. Je nach Aufgabenstellung erfordert aber eine ggf. hohe Modellkomplexität die Verwendung sogenannter heuristischer Algo-

rithmen, um eine Lösung in endlicher, d.h. akzeptabler Zeit zu erzeugen (siehe hierzu Abschnitt 5 bzw. VON GÖSSELN, 2017).

Die heute primär eingesetzten Beobachtungstechnologien sind sowohl bei lokalen als auch bei globalen Vermessungen dreidimensional (3D), sodass eine Trennung zwischen Lage (2D) und Höhe (1D) erst nach einer strengen Rechnung in 3D erfolgt, um im Anschauungsraum weiterarbeiten zu können.

Multisensorsysteme und -netze führen immer mehr zu einer integrierten Betrachtung von geodätischen Aufgaben und Arbeiten. Ein Beispiel hierfür ist die durchgängig konsistente Berechnung der drei Bestandteile eines globalen geodätischen Referenzrahmens (zälestischer Referenzrahmen, terrestrischer Referenzrahmen und Erdorientierungsparameter) anhand aller dazu geeigneter Beobachtungstechnologien wie z.B. Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR) und Global Navigation Satellite Systems (GNSS); siehe z.B. KUTTERER (2017).

Analog werden Einzelobjekte verstärkt in einen Systemzusammenhang gestellt. Anschaulich wird dies durch die Geodäsie als eine messende Teildisziplin in der Erforschung von Prozessen des Systems Erde (AWANGE & KIEMA, 2019). Durch Uminterpretation von Störeffekten, z.B. die atmosphärische Laufzeitverzögerung bei GNSS, als geowissenschaftlich relevante Signale erweist sich die früher recht umfassende geodätische Fehlertheorie als relevante Grundlage, z.B. für die Bestimmung des instantanen Wasserdampfgehalts in der Troposphäre.

Um geodätische Leistungen dauerhaft erbringen zu können, haben sich in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend Mehrzweck-Infrastrukturen etabliert. Ein Beispiel sind die GNSS, insbesondere auch mit Blick auf am Boden verfügbare Komponenten wie z.B. der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS der deutschen Landesvermessungsbehörden ([www.sapos.de](http://www.sapos.de)). Durch deren Bereitstellung kann die Bestimmung der eigenen Position einfach bei Bedarf erfolgen. Für die hochgenaue Anwendung können SAPOS-Daten genutzt werden, wodurch sich der eigene Pool an Empfängern deutlich reduzieren kann. Ein zweites Beispiel ist das europäische Satellitensystem COPERNICUS für die Fernerkundung ([www.copernicus.org](http://www.copernicus.org)), das den Übergang von Einzelmissionen hin zu einer Infrastruktur markiert. Wie bei den GNSS liegt hier der Nutzen in der beabsichtigten dauerhaften Verfügbarkeit bei gleichzeitiger Open-Data-Politik für alle Nutzer.

### 3 Digitalisierung – eine Begriffsbildung

Der seit gut einem Jahrzehnt spürbar stattfindende digitale Wandel durchdringt alle gesellschaftlichen Bereiche und verändert zunehmend auch unsere Berufswelt. Eng mit dem digitalen Wandel verbunden ist der Begriff der Digitalisierung, der verschiedene Ausprägungen und Bedeutungen besitzt. Zur Verdeutlichung greifen die nachfolgenden Ausführungen aktuelle Entwicklungen in der Geodäsie auf.

Grundlegend versteht man unter dem Begriff „Digitalisierung“ rein technisch eine Analog-Digital-Wandlung (A/D-Wandlung) wie die Eingabe eines handschriftlichen Textes in einen Computer, insbesondere aber die unmittelbare Aufzeichnung realer Gegebenheiten mit einem digitalen Erfassungssystem. Somit ist eine Analog-Digital-Wandlung bzw. direkte digitale Erfassung die zentrale Voraussetzung für jegliche digitale Anwendung. Als solche

wird sie hier nicht weiter ausgeführt und diskutiert, sondern nur kurz veranschaulicht. Ein typisches Beispiel sind digitale Bildaufnahmen, wie sie mit terrestrischen sowie flugzeug- oder satellitengebundenen Kamerasystemen erzeugt werden.

Damit führt eine Digitalisierung in diesem Sinne, in der Regel nach einer Aufbereitung und Auswertung der erfassten bzw. erhaltenen Daten, zu einer digitalen Repräsentation – einem „digitalen Zwilling“ – einer realen Gegebenheit, d.h. eines Objekts, eines Sachverhaltes, eines Systems oder eines Prozesses. Dazu ist primär die entsprechende dreidimensionale Geometrie in einem einheitlichen Koordinatensystem zu realisieren. Dies kann wie bei einem industriellen Fertigungsstück oder einem dreidimensionalen Gelände- oder Oberflächenmodell bereits das Ziel der Arbeiten sein. Dazu wird z.B. im Falle von digitalen Bildaufnahmen die dreidimensionale Geometrie mit den bekannten Verfahren der Photogrammetrie berechnet (LUHMANN, 2018). Sind im Falle von terrestrischen Laserscans im statischen Modus dreidimensionale Punktwolken von unterschiedlichen Standpunkten aus beobachtet, so werden diese durch die Verfahren der Registrierung bzw. Georeferenzierung konsistent zusammengefügt. Die so erhaltene Punktwolke kann dann in ein kontinuierliches Modell überführt werden. Im Falle einer mobilen Erfassung ist eine einheitliche Georeferenzierung bereits Bestandteil des Messverfahrens (KUTTERER, 2010). Aufbauend auf der rein geometrischen Repräsentation können für die jeweilige Anwendung Sachdaten im Sinne von Points of Interest oder physikalische Größen wie zum Schwerefeld der Erde überlagert werden.

## 4 Digitale Repräsentation und digitaler Zwilling

Eine digitale Repräsentation kann aber auch zum Zwecke der möglichen, ggf. skalierten Reproduktion der originären, analogen Gegebenheit erfolgen. Ein naheliegendes, greifbares Beispiel hierfür ist der 3D-Druck; siehe z.B. das Stadtmodell Hamburg (HAMBURG, 2018). Ein weiteres Beispiel ist die detaillierte geometrische Erfassung eines Bauwerks zur gesicherten Dokumentation, um bei Schaden oder Verlust dessen Urzustand wiederherstellen zu können oder den Fortschritt bei einem Bauvorhaben zu erfassen. An dieser Stelle setzt auch das Building Information Modelling (BIM) an, welches den gesamten Bauprozess von der Planung bis zum Rückbau digital erfasst. Ein aktuelles Kompendium zu BIM mit direktem Bezug zur geodätischen Praxis ist der „Leitfaden BIM und Geodäsie“ (DVW & RUNDER TISCH GIS, 2018). Auf Basis einer digitalen Reproduktion können ggf. auch unterschiedliche Zustände oder Abläufe simuliert oder analysiert werden, z.B. für Planungszwecke im Landmanagement.

Gerade in diesem Bereich sind auch sämtliche Verfahren der geodätischen Erdsystemwissenschaft anzusiedeln. Die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) betreibt seit den 1990er Jahren verschiedene wissenschaftliche Dienste, in denen die Beobachtungen der geodätischen Weltraumverfahren gesammelt, aufbereitet, prozessiert und daraus abgeleitete Produkte für die weitere Nutzung als Open Data zur Verfügung gestellt sowie archiviert werden. Ein Beispiel ist der International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), der für international in hohem Maße bedeutsame Produkte wie den International Terrestrial Reference Frame (ITRF) oder die Zeitreihen der Erdrotationsparameter (ERP) verantwortlich ist; siehe hierzu z.B. [www.iers.org](http://www.iers.org). Ein weiteres herausragendes Beispiel ist der International GNSS Service (IGS), welcher zentrale Datensätze für die Nutzung von

globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS) wie Orbitparameter zur Verfügung stellt ([www.igs.org](http://www.igs.org)).

Im Sinne der Digitalisierung werden bei allen diesen Arbeiten digitale Datenströme zusammengeführt und in Anwendung gebracht, die an verteilten Stellen erhoben und verarbeitet werden. Dieser Gedanke manifestiert sich insbesondere im Global Geodetic Observing System (GGOS) der IAG ([www.ggos.org](http://www.ggos.org)). Ziel von GGOS ist es, unser Verständnis für das dynamische System Erde durch die Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Veränderungen voranzubringen. Dazu stellt GGOS alle erforderlichen Beobachtungen bereit, die benötigt werden, die Veränderungen der Form, der Rotation und der Massenverteilung der Erde zu erfassen, abzubilden und zu verstehen. Darüber hinaus liefert GGOS den globalen geodätischen Referenzrahmen, der erforderlich ist, um die Schlüsselprozesse des globalen Wandels zu erfassen und konsistent im interdisziplinären Zusammenspiel zum Nutzen von Wissenschaft und Gesellschaft zu interpretieren (KUTTERER, 2017).

GGOS ist der Beitrag der IAG zum Global Earth Observing System of Systems (GEOSS) der zwischenstaatlichen Group on Earth Observation (GEO); siehe hierzu [www.earthobservations.org](http://www.earthobservations.org) und [www.earthobservations.org/geoss.php](http://www.earthobservations.org/geoss.php). In GEOSS laufen die digitalen Produkte und Dienste der beteiligten Organisation zusammen und stellen damit eine supranationale Infrastruktur für digitale Geodaten dar. Die genannten Webseiten bieten sowohl die erforderlichen Informationen für den Zugang zu den Daten und die Konditionen zu deren Nutzung als auch relevante Tätigkeitsfelder (Societal Benefit Areas) und Anwendungsbeispiele.

Das Fernerkundungssatellitensystem COPERNICUS ([www.copernicus.eu](http://www.copernicus.eu)) ist ein zentraler europäischer Beitrag zu GEOSS. COPERNICUS ist seinerseits wiederum eng verbunden mit der INSPIRE-Direktive der Europäischen Union ([inspire.ec.europa.eu](http://inspire.ec.europa.eu)), die über die sogenannten Geodatenzugangsgesetze die Grundlage für die nationalen Geodateninfrastrukturen wie die GDI-DE ([www.geoportal.de/DE/GDI-DE](http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE)) ist. Die in den genannten Beobachtungs- und Dateninfrastrukturen erfassten, verarbeiteten, bereitgestellten und archivierten Informationen sind aufgrund des immanenten geodätischen Raumbezugs allesamt digitale Geoinformationen. Digitale Geoinformationen, bereitgestellt über digitale Infrastrukturen, sind damit aus fachlicher Sicht ein wesentliches Element im Kontext des digitalen Wandels.

## 5 Digitale Arbeitsprozesse

Ein wesentliches Merkmal des digitalen Wandels ist die Möglichkeit, digitale Informationen bzw. digitale Repräsentationen im vorangehend beschriebenen Sinne dynamisch miteinander vernetzen zu können. Dabei wird der Nutzer selbst zentraler Teil eines Prozesses zur Problemlösung bzw. Wertschöpfung. Als erstes Beispiel in diesem Zusammenhang soll die Ortssuche mittels eines Navigationssystems dienen, wie dieses in Automobilen eingebaut sein kann oder als mobiles Spezialgerät zur Verfügung steht. Die Informationsvernetzung besteht zum einen in der direkten Verknüpfung einer digitalen Karte mit einem Satellitenpositionierungssystem. Dadurch ist es möglich, unter Einbeziehung des Nutzers einen Regelkreis aufzubauen, der es gestattet, von einem gegebenen Ausgangspunkt hin zu dem gesuchten Zielpunkt zu gelangen. Man kann dies im oben beschriebenen Sinne insbesondere als Problemlösung betrachten. Ergänzt man zum anderen die digitale Karte um weiterge-

hende Navigationsdaten wie Points of Interest (Supermärkte, Museen, Parkplätze) und deren Öffnungszeiten, dann geht die Erfüllung der Aufgabe über eine reine Problemlösung hinaus. Vielmehr ist das Erreichen des Ziels mit einer Wertschöpfung sowohl für den Kunden als auch für den Anbieter verbunden.

Derartige Vernetzungen mit Interaktionsmöglichkeiten im Hinblick auf Nutzerinteressen sowie Rückkopplungsoptionen zwecks Steuerung und Regelung von Abläufen sind heute elementarer Bestandteil verschiedenster Geschäftsmodelle und damit von digital im Internet abgebildeten Geschäftsprozessen. Buchungs- oder Vergleichsportale sind anschauliche Beispiele.

Die Digitalisierung von Geschäftsprozessen (oder Workflows) geht mit der unmittelbaren Einbindung und Interaktion aller Beteiligten über das in den vorangehenden Abschnitten bereits Beschriebene hinaus. Durch sie vereinfacht sich die Abwicklung von Käufen, Vermietungen oder weiteren Geschäften erheblich. Das lässt sich in den Bereich der Geodäsie übertragen. Ein bereits realisiertes Beispiel hierfür ist die Modellierung von ingenieurgeodätischen Messprozessen auf dem Rechner mit Hilfe von Petri-Netzen. Gegenstand dieser Aufgabenstellung ist die Optimierung der Effizienz der ingenieurgeodätischen Arbeiten im Sinne einer Aufwandsminimierung – gemessen entweder in entstehenden Kosten oder benötigter Zeit. Die in diesem Sinne optimalen Messprozesse lassen sich auf heuristischem Wege mit Hilfe von genetischen Algorithmen ermitteln (VON GÖSSELN, 2017).

Mit Blick auf die Messpraxis repräsentiert diese Aufgabenstellung eine Weiterentwicklung der Wirtschaftlichkeitsoptimierung geodätischer Netze. Zum einen lässt sich dabei für eine gegebene Messaufgabe, das verfügbare Instrumentarium und einen spezifizierten Messtrupp der effizienteste Ablaufplan ermitteln. Zum anderen ist es leicht einzusehen, dass mittels Nutzerinteraktion in Echtzeit bei Störungen des Messablaufs die dann gegebene optimale Alternative ermittelt werden kann.

## **6 Digitaler Wandel auf Basis integrierter Komponenten**

Der digitale Wandel beruht darauf, dass reale Gegebenheiten wie Objekte, Sachverhalte, Systeme oder Prozesse vollständig digitalisiert sind, d.h. in einer digitalen Form zur Verfügung stehen. Der mit ihm verbundene Transformationsprozess schreitet aus verschiedenen Gründen stetig voran. Zum einen bietet der allgemeine technologische Fortschritt elementare Grundlagen, wie dies in Abschnitt 2 gezeigt wurde. Zudem nehmen wirtschaftliche Interessen in Richtung von Geschäftsmodellen in einem digitalen Markt weiter zu, zumal dies von politischer Seite gefordert, begleitet und unterstützt wird. Ein Beispiel sind hier die Maßnahmen zum digitalen Binnenmarkt auf europäischer Ebene ([ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market.de](http://ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market.de)). Ein weiteres Beispiel mit Wirtschaftsbezug ist die in Abschnitt 5 beschriebene Effizienzsteigerung von Arbeitsprozessen bzw. deren mögliche Neukonzeption bei ausschließlicher Betrachtung originär digitaler Denkansätze. Des Weiteren ändern sich die gesellschaftlichen Anforderungen dahingehend, dass eine größere Transparenz im Verwaltungshandeln eingefordert wird und eine weitreichendere Partizipation der Bürgerinnen und Bürger ermöglicht wird.

Allen genannten Themen ist gemeinsam, dass ein einfacher und verlässlicher Zugang zur neu geschaffenen digitalen Welt erforderlich ist. Dies betrifft zum einen die hierfür erforderlichen

derliche Technologie. Zum anderen aber müssen wirtschaftliche und rechtliche Voraussetzungen erfüllt sein z.B. im Hinblick auf den Erwerb der technischen Geräte, die Erklärung des Einverständnisses mit den geltenden Nutzungskonditionen oder die Entrichtung einer Nutzungsgebühr. Zudem müssen entsprechende Fertigkeiten auf Basis eines hinreichenden Verständnisses vorliegen, um die geschaffenen Möglichkeiten nutzen zu können. Tatsächlich ist eine gerechte Lösung der Zugangsfrage, auch vor dem Hintergrund der sogenannten digitalen Kluft, entscheidend für die Wirksamkeit des digitalen Wandels.

Der im Alltag etablierte Zugang zur beschriebenen digitalen Welt war bis vor kurzem vor allem der Weg ins World Wide Web unter Nutzung eines Personal Computers mit Zugang zum Internet. Mit dem Aufkommen der Smartphones und Tablet Computer hat sich dieser Zugang deutlich verändert. Diese Geräte führen miniaturisiert und integriert Mobilfunk, Internetzugang, digitale Fotografie und weitere Funktionalitäten zusammen und machen dies über vielfältige Anwendungsprogramme nutzbar. Der Zugang ist nun ubiquitär möglich, solange hinreichend Batterieleistung vorhanden ist und bei Online-Anwendungen ein Mobilfunkempfang gegeben ist.

Die dabei entwickelten Fertigkeiten und die daraus resultierende Erwartungshaltung ist geeignet, auch die Geodäsie nachdrücklich und nachhaltig zu modifizieren. Als Beispiel sei auf den geodätischen Raumbezug verwiesen, der vor nicht allzu langer Zeit noch ausschließlich über vermarktete trigonometrische Punkte und später über Echtzeitpositionierungsdienste auf GNSS-Basis realisiert und bereitgestellt wurde. In beiden Fällen war (und ist noch) aufwändige, hochwertige Spezialtechnologie sowie einschlägiges Expertenwissen zur qualifizierten Nutzung notwendig. Gedanken zur Zukunft des geodätischen Raumbezugs finden sich bei KUTTERER (2018b).

Ein zweites Beispiel aus der Geodäsie in diesem Kontext sind das digitale Nivellement und die sogenannten Robot-Tachymeter. In beiden Fällen führen digitale technologische Lösungen dazu, dass der Mensch faktisch nur noch die Messaufgabe als solche konzipiert, den eigentlichen Messprozess lediglich durch Transport und Aufbau des Instrumentariums unterstützt und schließlich – bei Routineauswertungen – die fertigen Ergebnisse entgegennimmt. Der Datenfluss lässt sich dabei unter Nutzung mobiler Kommunikations- und Speichertechnologien medienbruchfrei gestalten.

## 7 Geodäsie und digitaler Wandel

In den vorangehenden Abschnitten wurde verdeutlicht, dass der digitale Wandel nicht der einzige Transformationsprozess ist, in dem sich die Geodäsie heute befindet. Darauf aufbauend wurde zum einen an einer Reihe von Beispielen aufgezeigt, an welchen Stellen die Geodäsie den digitalen Wandel aufgenommen und in fachlicher Hinsicht mitgestaltet hat. Zum anderen war bereits zu erkennen, dass viele Ergebnisse und Leistungen der Geodäsie wesentliche Voraussetzungen für den digitalen Wandel sind. Dies soll in diesem Abschnitt aufgegriffen und noch stärker verdeutlicht werden, um die These der Geodäsie als Schlüsseldisziplin in diesem Kontext zu unterstreichen.

Dazu soll der digitale Wandel zunächst als Megatrend charakterisiert werden, um seine gesellschaftliche Bedeutung einzustufen. Unter einem Megatrend versteht man einen dekadischen Trend mit großem und epochalem Charakter. Erkennbar wird er durch seinen Impact,



da er nicht nur einzelne Segmente des sozialen Lebens und der Wirtschaft betrifft, sondern ganze Gesellschaften umwandelt (HORX, 2011). Aktuell benannte Megatrends sind z.B. die Konnektivität als dauerhafte kommunikative Vernetzung mit digitalen Medien, die Mobilität im Sinne einer zunehmenden Ortsunabhängigkeit, die Individualisierung als Ausdruck der Verfügbarkeit und Nutzung von immer mehr Optionen ohne unmittelbare Gruppenvorgaben, die Globalisierung im Sinne immer stärker spürbarer und wirksamer weltweiter Zusammenhänge, das New Work im Hinblick auf neue Beschäftigungsmodelle und Arbeitsprozesse sowie die Neo-Ökologie mit einem erweiterten und intensiver betonten Begriff von Nachhaltigkeit, Achtsamkeit und Widerstandsfähigkeit. Alternative Nennungen und Definitionen lassen sich schnell im Internet recherchieren. Betrachtet man die eben gegebene Charakterisierung, so sieht man, dass sich auch die Digitalisierung als Megatrend verstehen lässt. Die wachsende gesellschaftliche Akzeptanz der Digitalisierung, ausgedrückt durch die zunehmende Nutzung ihrer Möglichkeiten, bedingt und befördert gleichermaßen den digitalen Wandel unseres privaten und beruflichen Alltags.

Bereits vor Beginn des digitalen Wandels im eigentlichen Sinne hat die Geodäsie mit ihren vielfältigen Aufgaben die Chancen im Zuge und im Nachgang der dritten industriellen Revolution durch Mikroelektronik und Computer genutzt. Digitale Datenbestände aller Art und darauf aufbauende digitale Services prägen bereits seit langem die Aufgabenfelder der Geodäsie. Digitale Kaufpreissammlungen, digitale Liegenschaftskataster und digitale geotopographische Vektordaten sind bekannte Beispiele. Die Geodäsie ist verfügt damit über umfassende methodische und Anwendungserfahrungen, um auch im jetzt ablaufenden digitalen Wandel nicht nur zu bestehen, sondern diesen wesentlich mitgestalten zu können. Neben den technologischen und administrativen Möglichkeiten werden insbesondere der wirtschaftliche und der gesellschaftliche Druck dafür sorgen, dass der digitale Wandel stetig weitergeht und sich seine Vorteile unter der Prämisse des „digital first“ durchsetzen werden.

Die Rolle der Geodäsie als Schlüsseldisziplin des digitalen Wandels soll nun an zwei zentralen Sektoren, der öffentlichen Verwaltung und der Wissenschaft, dargelegt werden. Nach aktuellem Selbstverständnis agiert die Verwaltung im Rahmen ihrer gesetzlichen Kompetenzen als Dienstleister für Geodaten und Raumbezug sowie als Bereitsteller (Provider) von entsprechender Infrastruktur. Ersteres zeigt sich in digitalen Produkten und Webservices auf Basis von Geodaten wie z.B. digitalen Karten oder Orthofotos. Letzteres spiegelt sich in öffentlichen Satellitenpositionierungsdiensten und Geodateninfrastrukturen wider.

Zunehmend werden mit Nutzern im behördlichen Bereich effektive Lösungen für unterschiedlichste Aufgaben im digitalen Kontext erarbeitet und realisiert. Damit werden amtliche Geoinformationen noch stärker als bisher zu Schlüsselinformationen im staatlichen Handeln; siehe z.B. die Webseiten des Interministeriellen Ausschusses für Geoinformationswesen ([www.imagi.de](http://www.imagi.de)) in Deutschland und die dort enthaltenen Geofortschrittsberichte oder den Auftritt der GDI-DE (siehe Abschnitt 4 dieses Beitrags) und die dort verfügbare Nationale Geoinformationsstrategie für Deutschland.

Ein Beispiel in dieser Hinsicht sind georeferenzierte Register als Grundlagen für einen künftigen Zensus. Ein weiteres Beispiel ist die schnelle und bedarfsgerechte, aber stets einheitliche und aktuelle Bereitstellung von Kartengraphiken auf Basis qualitätsgesicherter, amtlicher Geodatenbestände für vielfältige Anwendungen. Dies betrifft so unterschiedliche Bereiche wie die öffentliche Sicherheit, den Katastrophenschutz, den Umweltschutz, die

Statistik, das Gesundheitswesen, die Landwirtschaft sowie den gesellschaftlichen Zusammenhalt. Gerade in derart sensiblen Bereichen ist es wichtig, frei von Partikularinteressen agieren zu können.

Die mit dieser Entwicklung verbundenen Voraussetzungen sind zum einen eine digitale Inventur des heutigen Angebots der öffentlichen Verwaltung entsprechend des oben benannten „digital first“. Zum anderen ist mit Blick auf die föderale Organisation des Vermessungs- und Geoinformationswesens in Deutschland eine ressort- und ebenenübergreifend höhere Kohärenz im Planen und Handeln der Verwaltungen im Rahmen ihrer jeweiligen Zuständigkeiten erforderlich, stets im Bewusstsein der gemeinsamen Verpflichtung für das Gemeinwohl. Im Hinblick auf das komplexe Gefüge der zu beteiligenden Partner ist darauf zu achten, dass die eingesetzten Technologien möglichst effizient und effektiv genutzt werden.

Nach der Verwaltung soll nun die geodätische Wissenschaft im Hinblick auf ihre Schlüssel-funktion betrachtet werden. Hier sind vor allem die Ausführungen in Abschnitt 4 zur digitalen Repräsentation noch einmal zu beachten. Zunehmend gewinnen auch in der Forschung digitale Infrastrukturen an Bedeutung, auch im Hinblick auf die Analyse und Interpretation der dadurch erhaltenen vernetzten Datenströme. Im Anspruch des GGOS wird deutlich, dass sich die Geodäsie auch wissenschaftlich als die Disziplin betrachtet, die über einen adäquat definierten und realisierten Raumbezug komplexen Fragestellungen eine Ordnung und ein Gerüst gibt, in dem Phänomene und Prozesse konsistent kombinierbar und damit vergleichbar werden. Belastbare Aussagen zu Variationen und zum Anstieg des globalen Meeresspiegels sind z.B. nur dann möglich, wenn ein eindeutiger, reproduzierbarer Nullpunkt und eine physikalisch bedeutsame Höhenskala zur Verfügung stehen. Das ist zum einen eine infrastrukturelle und zum anderen eine wissenschaftliche Aufgabe, die theoretische Arbeiten und international akzeptierte Konventionen zu einem Welthöhensystem bedingt; siehe hierzu IAG (2017, S. 1).

Die Chancen für die Wissenschaft im digitalen Wandel durch die geodätischen Beiträge liegen in den umfassenderen, gehaltvolleren und vielseitigeren Datensätzen, die mittels geodätischer Sensorik erhalten und mit entsprechend detaillierten Daten und Modellen anderer Fachrichtungen kombiniert werden können. Ein aktuelles Beispiel ist die Schwerefeldmission GRACE-FO ([gracefo.jpl.nasa.gov](http://gracefo.jpl.nasa.gov)), die einen noch genaueren Einblick in Massenverlagerungen im System Erde liefern soll. Durch den einheitlichen Raumbezug und durch die weiterentwickelten bzw. innovativen geodätischen Verfahren und Sensoren können Prozesse im System Erde zwecks besserem Verständnis vermehrt im Zusammenhang erfasst und simuliert werden. Auf diese Weise lassen sich treffendere Prognosen entwickeln, wodurch die gesellschaftliche Relevanz der wissenschaftlichen Arbeiten zum System Erde noch weiter zunehmen wird.

Die Herausforderungen, die im interdisziplinären Zusammenspiel zu lösen sind, bestehen zunächst in einer möglichst effektiven und effizienten Handhabung der heutigen und künftigen Datenfülle. Dabei können sowohl Methoden der sogenannten Künstlichen Intelligenz als auch adäquate Visualisierungsverfahren adaptiert und weiterentwickelt werden. Zur Sicherung und Steigerung der Qualität sind hierbei geodätische Kernthemen wissenschaftlich zu bearbeiten, insbesondere zur Unsicherheit von Daten und Modellen sowie zur Integrität der eingesetzten Systeme.

## 8 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde deutlich, in welchem Umfang und an welchen Stellen die Geodäsie den digitalen Wandel bereits aufgenommen und im Hinblick auf ihre Aufgabenbereiche mitgestaltet hat. Dies gilt für alle angesprochenen Sichtweisen auf die Digitalisierung und den digitalen Wandel: digitale Repräsentation, digitale Arbeitsprozesse, integrierte Komponenten. Viele Ergebnisse und Leistungen der Geodäsie wie der ubiquitäre, nutzergerechte, digitale Zugang zu einem einheitlichen Raumbezug hoher Qualität sind sogar zentrale, wesentliche Voraussetzungen für den Erfolg des digitalen Wandels. Ein Blick auf die vergangene Dekade zeigt, dass viele der heutigen Errungenschaften weder prädiziert noch antizipiert wurden bzw. werden konnten. Nur wenige Experten hätten die heute überall sichtbaren Implikationen des ersten iPhones und seiner Nachfolger angemessen vorhersagen können. Das hat nicht zuletzt damit zu tun, dass der digitale Wandel einen Bewusstseinswandel – eine neue Denkweise – erfordert, um nicht alleine analoge Konzepte im Sinne einer A/D-Wandlung in die digitale Welt zu übertragen, sondern jegliche Anwendung von Anfang an adäquat digital zu konzipieren. Der hierfür erforderlich kreative Prozess ist eine herausragende Aufgabe der nächsten Dekade.

## Literatur

- AWANGE, J. & KIEMA, J. (2019): Environmental Geoinformatics. Springer, Berlin.
- BILL, R. (2005): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Wichmann, Heidelberg.
- DVW & RUNDER TISCH GIS (2018): Leitfaden BIM und Geodäsie. [www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2018/11\\_DVW-Merkblatt\\_LeitfadenGeodäsieundBIM\\_2018.pdf](http://www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2018/11_DVW-Merkblatt_LeitfadenGeodäsieundBIM_2018.pdf), zuletzt besucht am 06.12.2018.
- VON GÖSSELN, I. (2017): Simulationsbasierte Effizienzoptimierung von Messprozessen am Beispiel der tachymetrischen Netzmessung. Deutsche Geodätische Kommission, C 800, München.
- FLURY, J. (2017): Neue Sensorik für die Schwerefeldbestimmung und relativistische Geodäsie. In: RUMMEL, R. (Hrsg.): Erdmessung und Satellitengeodäsie. Springer, Berlin, 423-442.
- HAMBURG (2018): Dauerausstellung Stadtmodell Hamburg. [www.hamburg.de/stadtmodell](http://www.hamburg.de/stadtmodell), zuletzt besucht am 06.12.2018.
- HELMERT, F. R. (1880): Die mathematischen und physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie. Teubner, Leipzig.
- HORX, M. (2011): Das Megatrend-Prinzip – Wie die Welt von morgen entsteht. Deutsche Verlagsanstalt, München.
- IAG (2015): IAG Resolutions at the XXVI IUGG General Assembly 2015. [ag.dgfi.tum.de/fileadmin/handbook/handbook\\_2016/209\\_IAG\\_Resolutions.pdf](http://ag.dgfi.tum.de/fileadmin/handbook/handbook_2016/209_IAG_Resolutions.pdf), zuletzt besucht am 08.12.2018.
- KUTTERER, H. (2010): Mobile Mapping. In: VOSSELMAN, G. & MAAS, H.-G. (Eds.): Airborne and Terrestrial Laser Scanning. CRC Press, Whittles Publishing, Dunbeath, UK.

- KUTTERER, H., BRUNNER R. & SCHILCHER, M. (2014): Geoinformationen im globalisierten 21. Jahrhundert und im nationalen Kontext. In: KUMMER, K., KÖTTER, T. & EICHHORN, A. (Hrsg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen. Wichmann, Berlin, 3-64.
- KUTTERER, H. (2017): Globales Geodätisches Beobachtungssystem. In: RUMMEL, R. (Hrsg.): Erdmessung und Satellitengeodäsie. Springer, Berlin, 401-421.
- KUTTERER, H. (2018a): Geodäsie im gesellschaftlichen Kontext. In: HECK, A., SEITZ, K., GROMBEIN, T., MAYER, M., STÖVHASE, J.-M., SUMAYA, H., WAMPACH, M., WESTERHAUS, M., DALHEIMER, L. & SENGER, P. (Hrsg.): (Schw)ehre, wem (Schw)Ehre gebührt. KIT Scientific Publishing, Schriftenreihe Geodäsie und Geoinformatik 2018-1, 163-169.
- KUTTERER, H. (2018b): Die Zukunft des Raumbezugs – Strategische Handlungsfelder aus der Sicht des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. In: Festschrift 200 Jahre Landesvermessung Baden-Württemberg. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Stuttgart, 171-174.
- LUHMANN, T. (2018): Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen – Methoden – Beispiele. Wichmann, Heidelberg.
- SEITZ, M., ANGERMANN, D., BLOBFELD, M. (2017): Geometrische Referenzsysteme. In: RUMMEL, R. (Hrsg.): Erdmessung und Satellitengeodäsie. Springer Spektrum, Berlin, 401-421.
- UN (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung [www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf](http://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf), zuletzt besucht am 04.12.2018.