



> Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion

acatech (Hrsg.)

acatech IMPULS

April 2016

Herausgeber:

acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, 2016

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 MünchenHauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 BerlinBrüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel
BelgienT +49 (0) 89 / 5 20 30 90
F +49 (0) 89 / 5 20 30 9-900T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 0
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11T +32 (0) 2 / 2 13 81 80
F +32 (0) 2 / 2 13 81 89E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de**Empfohlene Zitierweise:**acatech (Hrsg.): *Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion* (acatech IMPULS), München: Herbert Utz Verlag 2016.

ISSN: 2195-1829 / ISBN: 978-3-8316-4497-1

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH • 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Koordination: Dr. Christoph Egle

Redaktion: Dr. Patrick Pfister, Florian Süssenguth

Layout-Konzeption: acatech

Illustrationen (Seite 28, 29, 30 und 33): Konzept: kognito gestaltung, Berlin, Illustration: Hendrik Wittemeier

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Printed in EC

Herbert Utz Verlag GmbH, München

T +49 (0) 89 / 27 77 91 00

Internet: www.utzverlag.deDie Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.utzverlag.de

> DIE REIHE acatech IMPULS

In dieser acatech Reihe erscheinen Analysen und Denkanstöße zu Grundfragen der Technikwissenschaften sowie der wissenschaftsbasierten Politik und Gesellschaftsberatung. Die Impulse werden vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

INHALT

VORWORT	7
KURZFASSUNG	9
MITWIRKENDE	13
INTERVIEWPARTNERINNEN UND -PARTNER	15
1 EINLEITUNG	25
2 ANWENDUNGSFELDER	27
2.1 Gesundheit	27
2.2 Mobilität	28
2.3 Produktion	29
2.4 Zielbild einer positiven Gestaltung des Verhältnisses von Mensch und Maschine	31
3 TRENDS UND HERAUSFORDERUNGEN DER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG	33
3.1 Sensorik	34
3.2 Intelligente Systeme	36
3.3 Robotik und Augmented Reality	39
3.4 Sicherheit als Querschnittsanforderung	42
3.5 Deutschland im internationalen Vergleich	44
4 MARKTPOTENZIALE	45
4.1 Gesundheit	46
4.2 Mobilität	48
4.3 Produktion	49
4.4 Technologien	52
5 SOZIALE, ETHISCHE UND RECHTLICHE ASPEKTE	57
5.1 Akzeptanz	57
5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen, Standardisierung und informelle Erwartungen	60
5.3 Datennutzung und Datenschutz	62
5.4 Ausgestaltung guter Arbeit	63
6 FAZIT	65

7 ANHANG	67
7.1 Anwendungsbereich Gesundheit	67
7.2 Anwendungsbereich Mobilität & Logistik	73
7.3 Anwendungsbereich Produktion	80
LITERATUR	87
GLOSSAR	98

VORWORT

Kaum eine technologische Entwicklung verändert aktuell unser Leben, Arbeiten und Denken so sehr wie die Digitalisierung. Das erkennen wir auch an verschiedenen Maschinen und Geräten, die innerhalb von wenigen Jahren zu unseren selbstverständlichen Begleitern geworden sind. Über Smartphones halten wir unabhängig von Ort und Zeit zu einander Kontakt, intelligente Assistenzsysteme versorgen uns maßgeschneidert mit Informationen und Roboter entlasten uns am Arbeitsplatz und zunehmend auch im Haushalt. Gleichwohl stehen wir heute erst am Anfang dieser Entwicklung, die zu einer grundlegenden Transformation unseres Verhältnisses zu den uns umgebenden Maschinen führen wird. Im Mittelpunkt dieser Entwicklung muss der Nutzen der Maschinen für den Menschen und die Gesellschaft stehen.

Mit der vorliegenden Publikation möchten wir in erster Linie Aufmerksamkeit für das Thema Mensch-Maschine-Interaktion schaffen. Dafür werden die wichtigsten wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends zu diesem Thema zusammengefasst und wird ein Überblick über die damit verbundenen Innovationspotenziale und Herausforderungen gegeben. Wir haben die Einschätzungen und Informationen aus einer Vielzahl an

Hintergrundgesprächen und Experteninterviews zu einer detaillierten Darstellung der Trends und Fragestellungen verdichtet, die in den Augen führender Expertinnen und Experten die kommenden Jahre prägen werden.

Die vorliegende Studie ist die überarbeitete Fassung eines Papiers, das mit Mitgliedern der Bundesregierung diskutiert wurde. Sie erscheint als fünfter Band unserer Publikationsreihe „acatech IMPULS“. Die Publikationen dieser Reihe enthalten Analysen und Denkanstöße zu Grundfragen und Trends der Technikwissenschaften sowie der wissenschaftsbasierten Politik- und Gesellschaftsberatung. Sie richten sich an alle, die in den Technikwissenschaften oder der Politikberatung tätig sind oder sich mit der Reflexion über Technik und ihr Verhältnis zur Gesellschaft beschäftigen.

acatech dankt allen Mitwirkenden für ihr besonderes Engagement bei der Erstellung dieses IMPULSESES.



Prof. Dr. Henning Kagermann
acatech Präsident

KURZFASSUNG

Mensch und Maschine rücken enger zusammen

Der Mensch rückt in den Mittelpunkt der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI). Anstatt starre Vorgaben zu machen, passen sich lernfähige Maschinen zunehmend an die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen an. Die Interaktion mit Maschinen nähert sich derjenigen mit Menschen immer stärker an. Der Abstand zwischen Mensch und Maschine verringert sich, teilweise löst er sich ganz auf. Was wie ein Zukunftsszenario klingt, ist in manchen Bereichen schon Realität. Hörimplantate, am Körper getragene Sensoren und kollaborative Roboter stehen beispielhaft für eine Entwicklung, die erst am Anfang steht und in den kommenden Jahren deutlich an Bedeutung gewinnen wird.

Viele Expertinnen und Experten sehen in den aktuellen technologischen Entwicklungen, vor allem im Bereich der Künstlichen Intelligenz, und den innovativen Konzepten und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion eine starke transformative Kraft, die alle Bereiche des Lebens verändern wird. Nach dem Siegeszug der Smartphones und Tablets wird sich das Prinzip der App, komplexe Anwendungen intuitiv zu bedienen, immer weiter durchsetzen – ob im Krankenhaus, beim Autofahren oder in der Produktion.

Ziel dieser Studie ist es, die Aufmerksamkeit für diese Entwicklungen zu schärfen, die damit verbundenen Innovationspotenziale aufzuzeigen und ein positives Zielbild einer gelungenen Mensch-Maschine-Interaktion zu zeichnen (> Kapitel 2). Die Realisierung dieser Vision verlangt neben einer hohen Sensibilität für die sozialen Implikationen der hier diskutierten Technologien die Gewährung von Test- und Experimentierräumen in Wissenschaft und Wirtschaft, um die damit verbundenen Chancen nutzen zu können.

Trends und Herausforderungen der Technologieentwicklung

Die aktuellen Fortschritte bei den MMI-Technologien werden von vielen Expertinnen und Experten als exponentiell,

teilweise sogar explosionsartig beschrieben. Wesentliche Treiber sind Technologien in den Bereichen der Sensorik und Aktorik, aber auch der Datenübermittlung, der Informationsverarbeitung und schließlich der Intelligenzen Systeme (> Kapitel 3).

Um sich gezielt und flexibel auf ihre Nutzer und ihre Umwelt einstellen zu können, benötigen interaktive Maschinen Sensordaten, aus denen sie relevante Informationen gewinnen. Die Palette reicht hier von Kameras und Mikrofonen über Lage-, Bewegungs- und Beschleunigungssensoren bis hin zu Radar, Laser und Ultraschall. Eine Herausforderung für die Technologieentwicklung sind die Multimodalität der menschlichen Kommunikation (Kombination von Sprache, Blick, Gestik und Berührungen) und die Beherrschung der Prinzipien und der Dynamik menschlicher Konversationen, die nun auch Maschinen zunehmend beherrschen. Das Zusammenspiel verschiedener Sensoren in Echtzeit ist hierfür unerlässlich.

Intelligente Systeme sind in der Lage, Wahrnehmung, Steuerung und Lernverhalten in einem geschlossenen Regelkreis zu realisieren. Diese Systeme können sich durch ihre Interaktion mit ihrer Umwelt und ihren Nutzern selbst weiterentwickeln, indem sie zum Beispiel selbstständig Bilder, Sprache oder Sensordaten verarbeiten, mit vorhandenem Wissen verknüpfen und daraus lernen. Diese Fähigkeit werden sowohl Maschinen in der realen Welt zunehmend besitzen als auch Software-Agenten – sogenannte Softbots – im virtuellen Raum. Das Maschinelle Lernen hat bereits viele Einsatzgebiete der Sprachverarbeitung, Bild- und Objekterkennung revolutioniert und wird noch erheblich an Bedeutung gewinnen.

Ein wichtiger Trend im Bereich der Robotik ist die adaptive Kraft- und Bewegungsregelung. Die klassischen Stärken von Robotern wie Kraft, Präzision und Wiederholgenauigkeit werden somit ergänzt durch die Fähigkeit, auch Gegenstände mit unbekanntem Eigenschaften greifen und bearbeiten

zu können. Dies erfordert unter anderem nachgiebige Antriebe und hochsensible Gelenk- und Drehmomentsensoren. Diese Entwicklung ist vor allem für das Wachstumsfeld der Servicerobotik von hoher Bedeutung, deren Umfeld (zum Beispiel Haushalt) im Gegensatz zum Einsatzfeld klassischer Industrieroboter wenig strukturiert ist.

Marktpotenziale

Die genannten technologischen Entwicklungen treffen bereits heute in vielen Anwendungsfeldern auf eine große Nachfrage. Weltweit werden für das Marktvolumen von MMI-Technologien hohe, meist zweistellige Wachstumsraten prognostiziert, die nach Einschätzung der Expertinnen und Experten mit deutlichen Verschiebungen von bestehenden Wertschöpfungsketten und Branchengrenzen einhergehen werden (> Kapitel 4). Aufgrund einer relativen Schwäche deutscher Produkte bei Gebrauchstauglichkeit (Usability) und Nutzererlebnis (User Experience) wird hier teilweise auch ein Bedrohungspotenzial für den Wirtschaftsstandort Deutschland gesehen.

Ein Wachstumsmarkt ist der Gesundheitssektor, der in Deutschland mehr als zehn Prozent zur Bruttowertschöpfung beiträgt. Ein wichtiges Feld für vor allem digitale Anwendungen und Produkte ist der mobile Health-Bereich. Dessen Marktvolumen beträgt in Deutschland aktuell 6,5 Milliarden Euro, wobei jährliche zweistellige Wachstumsraten prognostiziert werden. Darüber hinaus werden im deutschen Gesundheitswesen regelmäßig enorme Einsparpotenziale identifiziert, die durch Digitalisierung und innovative MMI-Anwendungen gehoben werden könnten (unter anderem elektronische Gesundheitsakte). Ein bedeutsames Marktpotenzial wird auch Wearables zugesprochen. Diese sind bislang überwiegend als Lifestyle-Produkte verbreitet (zum Beispiel Fitnessarmbänder), perspektivisch sind hier aber weiter gehende Funktionalitäten mit hohem diagnostischem und therapeutischem Nutzen zu erwarten.

Im Bereich der Mobilität ist die Entwicklung und schrittweise Einführung des automatisierten Straßenverkehrs der aktuell wichtigste Trend. Beim assistierten Fahren sind deutsche Anbieter Technologieführer und Leitanbieter, weshalb hier besonders große Chancen für den Standort Deutschland liegen, zumal hier für die kommenden 15 Jahre hohe Wachstumsraten prognostiziert werden. Ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial in Höhe von 270 Milliarden Euro bis zum Jahr 2025 wird für Deutschland im Kontext der Umstellung auf Industrie 4.0 erwartet. Dabei spielen MMI-Technologien und Anwendungen eine zentrale Rolle. Die Digitalisierung der Produktion geht mit einem zunehmenden Einsatz von Robotern einher, sodass sich das Weltmarktvolumen hier in den nächsten zehn Jahren mehr als verdoppeln wird. Die größten Wertschöpfungspotenziale der Robotik werden wiederum im Fahrzeugbau und damit einer für Deutschland besonders wichtigen Branche erwartet.

Soziale, ethische und rechtliche Implikationen

Eine positive Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion ist kein Selbstläufer, sondern eine gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe. Obwohl viele Produkte aktuell eine große Nachfrage hervorrufen, gibt es auch Vorbehalte und Ängste gegenüber bestimmten MMI-Technologien (> Kapitel 5).

Die Akzeptanz dieser Anwendungen kann nicht von außen erzeugt werden, sondern muss sich allmählich einstellen. Dafür ist ein positives oder gar begeisterndes Nutzungserlebnis von großer Bedeutung. Der Unterhaltungssektor und Lifestyle-Produkte sind als Anlässe des ersten Kontakts mit entsprechenden Anwendungen in ihrer Bedeutung für die Akzeptanz und Verbreitung dieser Technologien nicht zu unterschätzen. Besonders die frühe Einbeziehung von Nutzern in Design und Entwicklung entsprechender Produkte trägt dazu bei, diese Anwendungen menschengerecht zu gestalten und ihre Verbreitung zu unterstützen.

Es ist somit dem Ansatz einer integrierten Forschung zu folgen, die ethische, soziale und rechtliche Aspekte gleichrangig zu wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Fragen in den Blick nimmt. Dies nicht zuletzt deshalb, weil in allen hier thematisierten Anwendungsfeldern durch neue MMI-Technologien viele Unfälle, Verletzungen und Todesfälle vermieden werden können, es aber auch wahrscheinlich ist, dass einige Menschen erst dadurch zu Schaden kommen. Gerade für die Gestaltung autonomer Systeme, die flexibel auf unvorhergesehene Situationen reagieren können müssen, sind perspektivisch Fragen des richtigen Verhaltens und der Auflösung von ethischen Dilemmasituationen zu klären. Dies gilt schon heute bei der Ausgestaltung von Assistenz- und Expertensystemen.

Neben Rechts- und Haftungsfragen werden durch MMI-Technologien auch Themen der Datensicherheit und des Datenschutzes virulent, da diese Technologien oft auf der Sammlung und Vernetzung von personenbezogenen Daten beruhen. Zwar sind auf dieser Grundlage viele nutzenstiftende Angebote und innovative Geschäftsmodelle möglich. Deren Erfolg setzt jedoch eine gesellschaftliche Übereinkunft über die Grenzen der Erhebung, Weitergabe und Verwendung dieser Daten voraus. Viele Expertinnen und Experten erhoffen sich in diesem Kontext, dass insbesondere in Deutschland sogenannte

Privacy-by-Design-Lösungen entwickelt werden, um aus den hierzulande hohen Datenschutzstandards einen Wettbewerbsvorteil zu formen und gleichzeitig Nutzungspotenziale nicht zu behindern.

In der Arbeitswelt gehen mit den hier beschriebenen Technologien große Hoffnungen auf eine bessere Ergonomie am Arbeitsplatz und eine gesteigerte Produktivität einher, aber auch Befürchtungen eines Kontrollverlusts über Arbeitsabläufe und Ängste vor Arbeitsplatzverlusten. Im betrieblichen Kontext ist es daher unerlässlich, die Vielfalt der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer mit ihren spezifischen Kompetenzen und Bedürfnissen zum Ausgangspunkt der partnerschaftlichen Ausgestaltung des Einsatzes der MMI zu machen.

Fazit

Als Kernbefund der vorgenommenen Analysen von Bedarfsweldern, Technologien und ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen ist festzuhalten, dass Deutschland über eine gute Ausgangsposition verfügt, an den globalen Entwicklungen im Bereich MMI erfolgreich teilzuhaben. Die in Deutschland vorhandenen Kompetenzen können allerdings besser vernetzt werden und es sollte mehr Frei- und Experimentierräume geben, um Forschungsergebnisse schneller in erfolgreiche Innovationen zu überführen.

MITWIRKENDE

> GESAMTLEITUNG

Prof. Dr. Henning Kagermann, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

> INHALTLICHE MITARBEIT

- Prof. Dr. Dr. Andreas Barner, Boehringer Ingelheim
- Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Fraunhofer-Gesellschaft
- Prof. Dr. Martin Stratmann, Max-Planck-Gesellschaft
- Dr. Eberhard Veit, Festo AG + Co. KG

> INHALTLICHE BEGLEITUNG UND REVIEW

- Prof. Dr. Ulrike Beisiegel, Georg-August-Universität Göttingen
- Dr. Volkmar Denner, Robert Bosch GmbH
- Ralph Dommermuth, United Internet AG
- Prof. Dr. Jörg Hacker, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
- Prof. Dietmar Harhoff, Ph.D., Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb
- Sabine Herold, Delo Industrie Klebstoffe GmbH & Co KGaA

- Reiner Hoffmann, Deutscher Gewerkschaftsbund
- Prof. Dr. Renate Köcher, Institut für Demoskopie Allensbach
- Dr. Christine Kreiner, S+V Technologies AG
- Dr.-Ing. Norbert Reithofer, BMW AG
- Prof. Dr. Yasmin Mei-Yee Weiß, TH Georg Simon Ohm

> REDAKTIONELLE MITARBEIT

- Dr. Klaus Ebert, Boehringer Ingelheim
- Dr. Christoph Ettl, Max-Planck-Gesellschaft
- Alfons Riek, Festo AG + Co. KG
- Maximilian Steiert, Fraunhofer-Gesellschaft

> KONZEPTION, TEXT UND INTERVIEWS

- Dr. Christoph Egle, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Patrick Pfister, acatech Geschäftsstelle
- Florian Süssenguth, acatech Geschäftsstelle
- Paul Grünke, acatech Geschäftsstelle
- Constanze Urban, acatech Geschäftsstelle

Dieser acatech IMPULS wurde im Februar 2016 durch das acatech Präsidium freigegeben.

INTERVIEWPARTNERINNEN UND -PARTNER

Danksagung

In Ergänzung zur Auswertung von Fachliteratur und anderen Studien wurden für die vorliegende Studie mit 87 Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft explorative Experteninterviews durchgeführt. Ziel war es, ein aktuelles Stimmungsbild hinsichtlich der gesellschaftlichen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Potenziale und Herausforderungen der Mensch-Maschine-Interaktion zu erhalten.

Die Gespräche wurden im Zeitraum von Mai 2015 bis Oktober 2015 telefonisch oder persönlich geführt und dauerten im Schnitt eine Stunde. Um den explorativen Charakter der Befragungen zu unterstützen und auch die „leisen Töne“

einzufangen, wurde auf eine offene Gesprächsführung gesetzt. So wurde einerseits nach Leitbildern und Zielvorstellungen bei der Ausgestaltung des Verhältnisses von Mensch und Maschine gefragt, aber es sollten auch konkrete Trends, Beispiele und Best-Practice-Modelle genannt werden, die für unterschiedliche Anwendungsfelder die Potenziale der Mensch-Maschine-Interaktion aufzeigen. Zur Illustration einiger ausgewählter Kerngedanken der Befragten werden im Text hin und wieder den Interviews entnommene anonymisierte Zitate aufgeführt. Die genannten Funktionen der Interviewpartner beziehen sich auf den Zeitpunkt des jeweiligen Gesprächs. Das acatech Präsidium dankt allen Beteiligten sehr herzlich für ihre Bereitschaft zur Teilnahme an den Interviews.

Prof. Dr. Lars Adolph

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,
wissenschaftlicher Leiter Fachbereich 2 „Produkte und Arbeitssysteme“

Prof. Dr.-Ing. Alin Albu-Schäffer

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),
Leiter Institut für Robotik und Mechatronik

Prof. Dr. Elisabeth André

Universität Augsburg,
Lehrstuhl für Human Centered Multimedia

Prof. Dr.-Ing. Tamim Asfour

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Lehrstuhl für Hochperformante Humanoide Technologien (H²T)

Prof. Dr. Patrick Baudisch

Hasso-Plattner-Institut,
Leiter Fachgebiet Human Computer Interaction

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer

Universität Stuttgart,
Direktor Institut für Arbeitswissenschaften und Technologie-
management (IAT)

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,
Leiter

Prof. Dr. Dr. Dr. Roland Benedikter	Orfalea Center of Global and International Studies, University of California, Research Scholar of Multidisciplinary Political Analysis
Prof. Dr. med. Björn Bergh	Universitätsklinikum Heidelberg, Direktor Zentrum für Informations- und Medizintechnik
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer	Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Leiter
Prof. Dr. Susanne Biundo-Stephan	Universität Ulm, Direktorin Institut für Künstliche Intelligenz
Prof. Dr. Susanne Boll	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Leiterin Abteilung Medieninformatik und Multimedia-Systeme
Alfons Botthof	VDI/VDE Innovation und Technik GmbH, stellvertretender Leiter Bereich Gesellschaft und Wirtschaft
Dr.-Ing. Klaus Büttner	BMW AG, Vice President Connected Drive, User Experience & Highly Automated Driving
Prof. Dr. Andreas Butz	LMU München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Interaktion
Reinhard Clemens	Deutsche Telekom AG, Mitglied des Vorstands
Christopher Coenen	Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Paul Daugherty	Accenture, CTO

Constantin von Dewitz	VDI/VDE Innovation und Technik GmbH, Kommunikationssysteme und Mensch-Technik-Interaktion
Prof. Dr.-Ing. Klaus Diepold	TU München, Lehrstuhl für Datenverarbeitung
Dr. Hans Dietl	Otto Bock HealthCare Products GmbH, CTO
Jan-Henning Fabian, Ph.D.	ABB AG, Head of ABB Corporate Research Germany
Prof. Dr. Gerhard Fischer	University of Colorado Boulder, Director of Lifelong Learning and Design Center
Dr. Stephan Fischer	TRUMPF GmbH + Co. KG, Leiter Softwareentwicklung
Prof. Dr. Dr. Carl Friedrich Gethmann	Universität Siegen, Universitätsprofessor des ForschungsKollegSiegen (FoKoS) Deutscher Ethikrat, Mitglied
Sandro Gianella	Google Deutschland, Public Policy and Government Relations Manager
Prof. Dr. Gerd Gigerenzer	Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Direktor Forschungsbereich Adaptives Verhalten und Kognition
Prof. Dr. Armin Grunwald	Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Leiter Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Leiter
Prof. Dr.-Ing. Sami Haddadin	Leibniz Universität Hannover, Leiter Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr. Dirk Helbing	ETH Zürich, Professor of Computational Social Science
Ralf Herbrich, Ph.D.	Amazon Development Center Germany GmbH, Managing Director
Prof. Dr. Michael Herczeg	Universität zu Lübeck, Direktor Institut für Multimediale und Interaktive Systeme
Prof. em. Dr. Otthein Herzog	Universität Bremen, Em. Professor für Künstliche Intelligenz
Prof. Dr. Thomas Hofmann	ETH Zürich, stellvertretender Leiter Institut für Maschinelles Lernen
Dennis Humhal	KONUX GmbH, Chief Operations Officer
Wolf Jeschonnek	Fab Lab Berlin, Geschäftsführer
Prof. Dr. Gesche Joost	Universität der Künste Berlin, Geschäftsführende Direktorin Institut für Produkt- und Prozessgestaltung
Prof. Dr. Henning Kagermann	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Präsident
Dr.-Ing. Mathias Kammüller	TRUMPF GmbH + Co. KG, Geschäftsführer
Dr. Christoph Kehl	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dr.-Ing. Markus Klaiber	Schunk GmbH + Co. KG, Technischer Geschäftsführer
Ivo Körner	IBM Deutschland, Mitglied der Geschäftsführung

Prof. Dr. Antonio Krüger

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI),
Direktor Innovative Retail Laboratory

Universität des Saarlandes,
Professur für Künstliche Intelligenz im Handel

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger

TU Berlin,
Leiter Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
IPK,
Leiter des Geschäftsfeldes Automatisierungstechnik

Hannfried Leisterer

Atom Leap GmbH,
Mitgründer

Prof. Dr. med. Thomas Lenarz

Medizinische Hochschule Hannover,
Direktor Hals-Nasen-Ohrenklinik

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Lehold

Volkswagen AG,
Leiter Konzernforschung

Prof. Dr. Gesa Lindemann

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,
Leiterin Arbeitsgruppe Sozialwissenschaftliche Theorie

Prof. Dr. Klaus Mainzer

TU München,
Lehrstuhl für Philosophie und Wissenschaftstheorie

Hironori Matsuzaki

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,
wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Sozialwissenschaften

Philipp Mehl

KONUX GmbH,
Public Relations Manager

Prof. Dr. iur. Reinhard Merkel

Universität Hamburg,
Professur für Strafrecht, Rechtsphilosophie

Deutscher Ethikrat,
Mitglied

Konstanze Neumann	Atom Leap GmbH, Mitgründerin
Dr.-Ing. Helge Neuner	Volkswagen AG, Leiter Abteilung Fahrerarbeitsplatz
Dr.-Ing. Mattias Peissner	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Leiter Competence Center Human-Computer Interaction
Stefan Pieper	Atos IT Solutions & Services GmbH, Unternehmenskommunikation
Prof. Dr.-Ing. Peter Post	Festo AG + Co. KG, Leiter Corporate Research and Technology
Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Prokop	TRUMPF GmbH + Co. KG, Geschäftsführer Forschung und Entwicklung
Prof. Dr. Ortwin Renn	Universität Stuttgart, Leiter Institut für Sozialwissenschaften
Prof. Dr. Helge Ritter	Universität Bielefeld, Leiter der Arbeitsgruppe Neuroinformatik
Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting	TU Berlin, Leiter Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann	RWTH Aachen, Leiter Institut für Mensch-Maschine-Interaktion
Dr. Detlev Ruland	Deutsche Post AG, Mitglied des Bereichsvorstands Post - eCommerce - Parcel
Prof. Dr. Siegfried Russwurm	Siemens AG, Mitglied des Vorstands

Dr. Arnold Sauter	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), stellvertretender Leiter
Prof. Dr. Stefan Schaal	Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, Gründungsdirektor des Instituts University of Southern California (USC), Professor für Informatik, Neurowissenschaften und Biomedizinische Technik
Dr. Christian Schlögel	KUKA Roboter GmbH, CTO
Florian Schumacher	Quantified Self, Betreiber der Deutschen Community
Patrick Schwarzkopf	VDMA – Fachverband Robotik + Automation, Geschäftsführer
Dr. Franz-Josef Seidensticker	Bain & Company, Partner, Chairman EMEA Emerging Markets
Prof. Dr. Roland Y. Siegwart	ETH Zürich, Leiter Autonomous Systems Lab (ASL)
Birgit Steinborn	Siemens AG, Gesamtbetriebsratsvorsitzende
Prof. Dr. Thomas Stieglitz	Universität Freiburg, Lehrstuhl für Biomedizinische Mikrotechnik
Josef Stoll	Deutsche Bahn AG, CTO
Dr.-Ing. Michael Suppa	RoboCepion GmbH, Geschäftsführer

Prof. Dr. Michael ten Hompel

TU Dortmund,
Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML,
Geschäftsführender Institutsleiter

Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST,
Institutsleiter

Dr. Wolfgang Thronicke

Atos IT Solutions & Services GmbH,
Projektleiter im Atos C-Lab

Andrea Voßhoff

Die Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die
Informationsfreiheit

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI),
Vorsitzender der Geschäftsführung und technisch-wissenschaft-
licher Leiter

Universität des Saarlandes,
Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz

Dr. Claus Wedemeier

Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.
(GdW),
Referent Multimedia und IT, Wohnen für ein langes Leben

Dominik Wee

McKinsey & Company,
Principal

Dr. Steffen Wischmann

VDI/VDE Innovation und Technik GmbH,
Berater Gesellschaft und Wirtschaft

Thilo Zelt

Roland Berger Strategy Consultants GmbH,
Principal

INTERVIEWPARTNERINNEN UND -PARTNER AUS MINISTERIEN

Rainer Bomba	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Staatssekretär
Annette Eickmeyer-Hehn	Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiterin des Referats „Demografischer Wandel; Mensch-Technik-Interaktion“
Ingo Hillebrand	Bundesministerium für Bildung und Forschung, Referat „Demografischer Wandel; Mensch-Technik-Interaktion“
Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas	Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiter der Abteilung Schlüsseltechnologien – Forschung für Innovationen
Dr. Wolfgang Scheremet	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Leiter Abteilung Industriepolitik

1 EINLEITUNG

Durch den Siegeszug von Smartphones und Tablets hat sich innerhalb weniger Jahre die Art und Weise, wie wir mit technischen Geräten und Maschinen interagieren, nachhaltig verändert. Das Prinzip der App, eine komplexe Anwendung mit weitreichender Vernetzung auch für Laien intuitiv bedien- und nutzbar zu machen, setzt sich in immer mehr Bereichen durch – ob in der Produktion, im Krankenhaus oder beim Autofahren. Ein Erfolgsrezept dieser Applikationen ist, dass sie sich an den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Nutzer orientieren und die dahinterstehende Technik zunehmend unsichtbar wird. Der Mensch rückt in den Mittelpunkt der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) und die Maschinen passen sich an den Menschen an, statt ihm starre Vorgaben zu machen.

Im Zuge dieser Entwicklung sind Maschinen nicht mehr nur Werkzeuge, sondern permanente Begleiter und Assistenten und fungieren dabei zunehmend als Multiplikatoren für menschliche Sinne und Fähigkeiten. Maschinen im weitesten Sinne werden uns in allen Lebensbereichen als intelligente Kooperationspartner begegnen. Die massenhafte Verbreitung von Wearables¹ wie Fitnessarmbändern, von neuen Bedienkonzepten in Autos (zum Beispiel Gestensteuerung) und von mobilen und flexiblen Leichtbaurobotern in Haushalt und Industrie stehen beispielhaft für diese Entwicklung, die erst am Anfang steht und in den kommenden Jahren deutlich an Bedeutung gewinnen wird – so die einhellige Einschätzung der für diese Studie befragten Expertinnen und Experten.

Wesentliche Treiber für neue Möglichkeiten und Konzepte der Interaktion von Menschen mit Maschinen sind die technologischen Fortschritte in den Bereichen der Sensorik und Aktorik, aber auch der Datenübermittlung, der Informationsverarbeitung und schließlich der Künstlichen Intelligenz. Gleichzeitig werden diese Fortschritte durch die Nachfrage nach entsprechenden Produkten und Lösungen unterstützt. Aufgrund der praktischen Erfahrung der Nützlichkeit und einfachen Benutzbarkeit verschiedener Anwendungen im Alltag

besteht in der Öffentlichkeit Interesse und Neugier, teilweise sogar Begeisterung für diese innovativen Technologien.

Folgerichtig werden für entsprechende Produkte und Märkte weltweit hohe Wachstumsraten prognostiziert. Da Deutschland bei vielen dieser Technologien und Anwendungen über eine gute Ausgangsposition verfügt, liegt hier ein großes Potenzial für zukünftige Wertschöpfung und Beschäftigung.

Eine positive Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion ist jedoch kein Selbstläufer, sondern eine gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe. Sollte diese misslingen, können auch die damit verbundenen Hoffnungen auf mehr Lebensqualität und Produktivität nicht erfüllt werden. Die Diskussion der gesellschaftlichen Implikationen und Herausforderungen neuartiger MMI-Anwendungen muss somit ein integraler Bestandteil der Beschäftigung mit diesem Thema sein.

In der Tat sind neben der oben genannten Begeisterung in der Gesellschaft auch Vorbehalte und sogar Ängste gegenüber neuen Technologien vorhanden, die begründet und ernst zu nehmen sind. Hier sind zum einen die Befürchtungen vor Arbeitsplatzverlusten zu nennen, da zahlreiche Tätigkeiten, die heute noch von Menschen erledigt werden, in Zukunft leicht automatisiert werden können. Auch gibt es insbesondere in Deutschland eine weitverbreitete Skepsis gegenüber Anwendungen, die auf der Generierung und Analyse großer Datenmengen beruhen, weshalb die Themen Datenschutz und Datensicherheit hierzulande besonders kritisch diskutiert werden. Andere prominente Stimmen warnen vor einem unbedachten Einsatz Künstlicher Intelligenz und autonomer Systeme (vor allem im militärischen Bereich), die von Menschen nicht mehr hinreichend kontrolliert werden könnten (vgl. Future of Life Institute 2015a, b).

Die durch neue MMI-Technologien geweckten Hoffnungen und Befürchtungen werden aktuell auch unter dem

¹ Zentrale Begriffe der Studie werden im Glossar im Anhang erläutert.

Schlagwort des Transhumanismus diskutiert. Dabei geht es unter anderem um die Frage, ob menschliche Fähigkeiten durch maschinelle Unterstützung so weit verändert oder gesteigert werden können und dürfen, dass unser bisheriges Bild vom Wesen und der Begrenztheit des Menschen infrage gestellt wird. Im Kontext dieser Diskussion wird in dieser Studie explizit eine humanzentrierte und keine technologiedeterministische Perspektive eingenommen. Gleichwohl gibt es in der Literatur und den für diese Studie geführten Experteninterviews eine große Übereinstimmung hinsichtlich der These, dass der Abstand zwischen Mensch und Maschine geringer wird und beide Sphären in Einzelfällen sogar verschmelzen können.

Vor dem Hintergrund dieser Debatten und einer zunehmend von MMI-Technologien durchdrungenen Gesellschaft soll aufgezeigt werden,

- inwiefern neue Konzepte und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion unseren Alltag voraussichtlich verändern werden, insbesondere in den Bereichen Gesundheit, Mobilität und Produktion (Kapitel 2 und Anhang),
- welche Technologien im Bereich der MMI eine zentrale Rolle spielen und welche Kompetenzen dafür in Deutschland vorhanden sind (Kapitel 3),
- welche Marktpotenziale daraus erwachsen (Kapitel 4) und
- mit welchen sozialen, ethischen und rechtlichen Herausforderungen diese Entwicklungen einhergehen (Kapitel 5).

Zur Illustration einiger wahrscheinlicher Veränderungen im Alltag werden der eigentlichen Analyse im Folgenden drei plakative Anwendungsbeispiele vorangestellt, die in ein Zielbild einer positiven Gestaltung des Verhältnisses von Mensch und Maschine münden.

2 ANWENDUNGSFELDER

Erläuterung zur Auswahl der Anwendungsfelder

Veränderungen in der Mensch-Maschine-Interaktion zeigen sich in den verschiedensten Lebens- und Arbeitsbereichen. Nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten lassen sich die aufkommenden Entwicklungen allerdings in fünf Anwendungsfeldern besonders gut nachweisen, die zugleich zentrale Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft besitzen: Gesundheit, Mobilität, Produktion, Logistik und Finanzdienstleistungen. Diese Studie vertieft die drei erstgenannten Felder. Nachfolgend werden zur Einführung in drei Beispielen „blitzlichtartig“ mögliche Alltagssituationen beschrieben, die bei allem Zwang zur Vereinfachung die transformative Kraft der neuen Technologien und die damit verbundene gesellschaftliche Aufgabe einer positiven Gestaltung der MMI in Deutschland verdeutlichen. Die beschriebenen Fälle sind dabei nicht als Zukunftsprognosen zu verstehen, sondern als heuristische Werkzeuge, um mögliche Veränderungen zu bewerten und Gestaltungsspielräume auszuloten. Im Anhang werden die Anwendungsfelder dann weiter ausgeführt.

„Grundsätzlich gilt: People first!“

2.1 GESUNDHEIT

Fall Krankenhaus

Felix erleidet beim Hallenklettern einen komplizierten Trümmerbruch des Fußes.

Direkt aus dem Rettungswagen wird er mit seinen aktuellen Vitaldaten im Krankenhausinformationssystem angemeldet, wo der Arzt bereits seine Gesundheitsakte abrufen kann. So kann er auf alle vorliegenden Informationen zu Blutbildern, Vorerkrankungen, früheren Operationen oder Allergien zugreifen. Aufgrund einer Unverträglichkeit benötigt Felix ein spezielles Narkotikum, das aus einem anderen Krankenhaus bestellt wird, da es nicht vorrätig ist.

Kurz darauf liegt Felix unter dem Röntgenroboter, der den verletzten Fuß scannt und ein dreidimensionales anatomisches Bild errechnet. Ein auf Künstlicher Intelligenz basierendes Expertensystem ermittelt aus Felix' Patientendaten und allen relevanten biomedizinischen Datenquellen eine OP-Strategie und schlägt sie dem Ärzteteam vor.

Der OP-Saal wird von Logistikrobotern vorbereitet, die alle für die Operation nötigen Materialien und Instrumente zusammenstellen. Der OP-Tisch wird so programmiert, dass er alle geplanten Operationsschritte kennt und immer die jeweils optimale Stellung einnimmt, sodass Felix wenig umgelagert werden muss. Währenddessen bespricht der Arzt mit Felix die bevorstehende Operation und klärt ihn über mögliche Risiken auf.

Da ein komplizierter Eingriff nötig sein wird, konsultiert der Arzt einen der weltweit besten Unfallchirurgen in den USA, der per virtueller Realität während der Operation zugeschaltet bleibt. Beim Eingriff selbst unterstützt ein Roboterarm den Operateur, den dieser über Sprache und Gestik steuert und genau an die richtige Stelle führt. Die Präzision des Eingriffs wird dadurch erhöht und mögliche Komplikationen durch ein Zittern des Arms können ausgeschlossen werden. Sensorbasierte Dokumentationssysteme erfassen jeden Schritt des Eingriffs und aktualisieren automatisch den Operationsbericht, den der Arzt im Anschluss nur noch kontrollieren und mit den entsprechenden Beobachtungen ergänzen muss.

Felix kann schon kurz nach der Operation in ein Krankenzimmer verlegt werden. Da er eine Herz-Kreislauf-Vorerkrankung aufweist, messen in die Matratze eingebaute Sensoren Felix' Puls und Atemtätigkeit sowie alle seine Bewegungen und alarmieren im Notfall das medizinische Personal. Solange Felix noch im Bett liegen muss, steht ihm ein Assistenzroboter zur Seite. Er kann ihm auf Zuruf Getränke reichen oder die heruntergefallene Zeitung wieder aufheben.

Abbildung 1: Illustration Krankenhaus



Quelle: Eigene Darstellung

Um schließlich die volle Bewegungsfähigkeit wiederzuerlangen, trainiert Felix unter Anleitung seines Physiotherapeuten mit einem Reharoboter. Die Daten aus Felix' aktualisierter Gesundheitsakte sind dem Reharoboter zugänglich, sodass dieser sich automatisch auf Felix einstellen kann und ihn als Coach optimal beim Muskelaufbautraining anleitet und führt. Felix fühlt sich durch die kontinuierliche und verständlich visuell aufbereitete Rückmeldung über seine Fortschritte motiviert und kann sein digitales Trainingsprofil später nahtlos in der ambulanten Physiotherapie weaternutzen.

Bei seiner Entlassung ist Felix froh, dass der Eingriff perfekt verlief und viel Zeit zur wertvollen Kommunikation mit Ärztinnen und Ärzten sowie Betreuerinnen und Betreuern zur Verfügung stand.

2.2 MOBILITÄT

Fall automatisiertes Fahren²

Yasar, 43 Jahre alt, arbeitet als Chefarzt im Klinikum München West. Beim Öffnen der Fahrertür erkennt das Auto Yasars Fingerabdruck und stellt Sitz, Lenkrad und Spiegel

seinem gespeicherten Profil entsprechend ein. An einem typischen Arbeitstag bringt Yasar erst die Kinder in den Kindergarten und in die Schule, bevor er über den Ring zur Arbeit fährt. Hier kann Yasar bereits die ersten Arbeitsaufgaben des Tages angehen. Dafür schaltet er sein Fahrzeug in den Automatikmodus, sobald er sich auf der darauf ausgelegten Schnellstraße befindet. Über Sprachsteuerung teilt Yasar sein Ziel mit und bestätigt die Wahl des Fahrmodus.

Um 8:00 Uhr loggt sich Yasar während der Fahrt im Kliniksystem ein. Der Arbeitstag beginnt. Die Pflegerinnen und Pfleger haben bereits die am Morgen erfassten Patientendaten aktualisiert: Behandlungsfortschritte, Laborwerte, Ernährungsdaten und Anzeichen auf mögliche Komplikationen. Bis zur Ankunft in der Klinik hat Yasar eine halbe Stunde Zeit, die Daten zu studieren, Kommentare zu hinterlegen, Anordnungen zu treffen und gegebenenfalls im System Vergleichsdaten zur Einschätzung einzelner Fälle aufzurufen.

Die Steuerung des Fahrzeuges wird währenddessen vollständig durch den Autopiloten übernommen. Da es auf der gewählten Strecke heute zu unerwartet viel Stau kommt, schlägt das System Yasar vor, die Route zu ändern, und zeigt sie ihm auf dem Head-up-Display an. Yasar bestätigt

² Der Fall baut auf den in der acatech POSITION *Neue autoMobilität* (2015) entworfenen Szenarien auf.

Abbildung 2: Illustration Mobilität



Quelle: Eigene Darstellung

die Alternativroute mit einem Nicken und kann sich wieder seiner Arbeit widmen. Auf der Umgehungsstraße geht es nun schnell voran: Durch automatische Tempoanpassung und die situative Steuerung von Ampelphasen ergibt sich für die meisten Verkehrsteilnehmenden fast durchgehend eine „grüne Welle“.

Rechtzeitig vor Erreichen der Ausfahrt weist der Autopilot Yasar darauf hin, dass ab dort kein Autopilot mehr zur Verfügung steht, da die letzten Kilometer bis zum Zielort für den Modus des automatisierten Fahrens noch nicht entsprechend zertifiziert sind. Die standardisierten und intuitiv erfassbaren Interaktionsprinzipien, die in allen Wagentypen ähnlich funktionieren, erlauben es Yasar, die Fahrzeugkontrolle sicher und schnell wieder zu übernehmen. Die letzten Kilometer bis zum Klinikgelände steuert Yasar den Wagen selbst.

Am Eingang des weitläufigen Gebäudekomplexes angekommen, will er die Tür seines Fahrzeugs öffnen, während gleichzeitig ein Radfahrer vorbeifährt. Ein möglicher Unfall wird verhindert, weil die Kameras des Autos den Radfahrer rechtzeitig erkennen und Yasar eine entsprechende Warnung vermitteln. Er aktiviert mit seinem Smartphone die Option Valet Parking und der Wagen macht sich im

Schritttempo auf den Weg in die nächste Tiefgarage. Dabei kommuniziert das Auto nach außen deutlich sichtbar den Status „fahrerlos“. In der Tiefgarage können seit der Einführung des automatisierten Parkens gut ein Drittel mehr Fahrzeuge als zu früheren Zeiten untergebracht werden.

Als Yasar gegen 16:30 Uhr das Klinikgelände verlässt, wartet sein Wagen mit vollständig geladener Batterie im Eingangsbereich. Die Wegzeit verbringt Yasar wieder arbeitend im Auto. Er wird von dem vernetzten Informationssystem darauf hingewiesen, dass seine morgens getätigte Bestellung des wöchentlichen Einkaufs im Paketdepot zur Abholung bereitsteht. Er nennt dem Navigationssystem das neue Zwischenziel und die Route wird automatisch daran angepasst. Kurz nach 17:00 Uhr ist sein Arbeitstag vorbei und er zu Hause, wo er sich jetzt seiner Familie widmen kann.

2.3 PRODUKTION

Fall Produktion: Martas Arbeitswelt

Morgens um 7:30 Uhr kommt Marta an ihrem Arbeitsplatz an. Sie arbeitet in der Endmontage in einem Werk, in dem Geräte wie Kühlschränke und Waschmaschinen gebaut

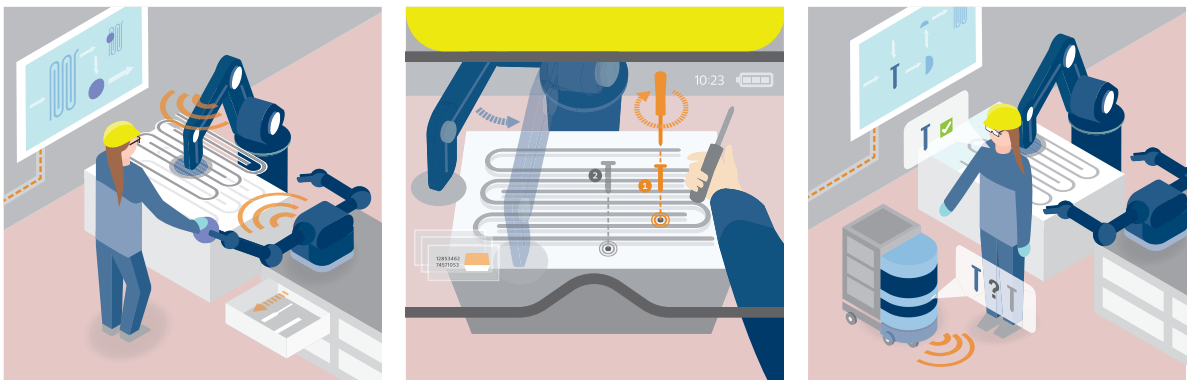
werden. Viele Teile werden erst hier komplettiert, das macht die Arbeit für Marta spannend und interessant. Vor allem, da nicht jedes Gerät wie das andere ist. Die Kunden können bei der Bestellung im Internet selbst konfigurieren, wie ihr persönliches Gerät aussehen soll. Heute steht als Erstes ein Kühlschrank auf dem Plan, den Marta in Zusammenarbeit mit zwei Robotern montiert. Über ein vernetztes Endgerät ist sie mit dem unternehmensweiten IT-System verbunden, das ihr die nötigen Informationen zur effizienten Arbeitsplanung aufbereitet. Es liefert ihr die Stückliste der nötigen Teile und automatisch werden die Schubladen mit den richtigen Werkzeugen geöffnet.

Marta ist schon seit einigen Jahren im Betrieb und ihr Arbeitsplatz hat sich in dieser Zeit stark gewandelt. Geschäftsführung und Betriebsrat haben sich bei der Einführung moderner Roboter und Assistenzsysteme am Ideal der humanzentrierten Automatisierung orientiert. Während die Roboter früher meist hinter Sicherheitsgittern arbeiteten, genießt Marta heute die „kollegiale“ Zusammenarbeit mit ihrem intelligenten und sicheren Maschinenumfeld. Schwere körperliche Arbeiten werden ihr abgenommen und sie muss nicht jeden Tag die

gleichen Aufgaben erledigen, sondern wird regelmäßig neu gefordert. Um den Robotern neue Arbeitsabläufe beizubringen, nimmt Marta sie wortwörtlich bei der Hand: Statt sie aufwendig zu programmieren, führt sie ihnen die gewünschte Bewegung einfach vor und optimiert den so gelernten Ablauf über eine komfortable App. Marta weiß genau, wie die Roboter um sie herum funktionieren, was sie können und an welchen Stellen Probleme auftreten können.

Da Marta neuerdings eine 3D-Brille zur Verfügung steht, hat sie die kundenspezifische Konfiguration inklusive Bauanleitung stets vor Augen und spart sich das zuvor häufig nötige Nachschauen und Abgleichen der Anleitung mit dem Bauteil. Fehlen Teile aus dem Lager, schickt sie einen Roboter, der sie versteht und ihre Gesten erkennt. Ihre Wünsche und Anweisungen werden zuverlässig umgesetzt. Versteht ein Roboter sie nicht, fragt er sie zurück: „Ich verstehe, du benötigst eine Schraube. Benötigst du die blaue oder die silbergraue? Laut Zeichnung müsste es die blaue sein.“ Treten Probleme im Produktionsprozess auf, kann Marta sie mit ihrem handwerklichen Talent und vor allem ihrer Kreativität lösen. Sie findet schnell Lösungen, wenn etwas

Abbildung 3: Illustration Produktion



Quelle: Eigene Darstellung

nicht so klappt wie geplant oder ein Teil sich unglücklich verhält. Martas Einsatz im Werk ist daher unerlässlich.

2.4 ZIELBILD EINER POSITIVEN GESTALTUNG DES VERHÄLTNISSES VON MENSCH UND MASCHINE

Der Mensch steht im Mittelpunkt aller technischen Anwendungen. Maschinen sind ein Mittel zum Zweck und unterstützen die Menschen auf vielfältige Weise bei den unterschiedlichsten Aufgaben, können sie aber nicht ersetzen. Innovative Konzepte und Anwendungen der MMI ermöglichen eine Kombination menschlicher Eigenschaften wie Kreativität und Empathie mit der hohen Präzision, der Kraft und der ermüdungsfreien Wiederholgenauigkeit von Maschinen. Dabei passen sich lernende Maschinen an den Menschen und dessen individuelle Fähigkeiten und Bedürfnisse an. Die Nutzer wissen immer, in welchem Zustand sich eine Maschine befindet und was diese als Nächstes tun wird. Durch eine frühzeitige Integration der Nutzer bereits in die Entwicklung entsprechender Technologien stoßen die darauf basierenden Anwendungen auf eine hohe Akzeptanz. Die intuitive Bedienung und Nutzung technischer Systeme erfordert keine oder nur wenig Vorkenntnisse. Daher können Menschen mit Maschinen fast so natürlich und selbstverständlich interagieren wie mit Menschen. Wo dies gefahrlos möglich ist, können sie die Maschinen jederzeit ausschalten, in allen anderen Fällen den raschen Übergang vom Betrieb in einen sicheren Ruhezustand veranlassen.

Im Gesundheitssektor nutzen Ärztinnen und Ärzte bei der Erstellung von Diagnosen und Therapien evidenzbasierte Expertensysteme, die das Wissen Tausender klinischer Studien und Hunderttausender vergleichbarer Krankheitsfälle vereinen und damit die Qualität der Behandlung verbessern. Auf freiwilliger Basis können Patientinnen und Patienten zur Begleitung einer Therapie oder zur Prävention durch verschiedene Wearables Vitaldaten erheben, kontrollieren und bei Bedarf mit einer Ärztin oder einem

Arzt online abgleichen, womit viele Besuche in einer Arztpraxis obsolet werden. Intelligente Prothesen und Orthesen ermöglichen die Wiederherstellung verloren gegangener oder beeinträchtigter Körperfunktionen, verschiedene Sensoren am und im Körper kompensieren beeinträchtigte Sinneswahrnehmungen wie zum Beispiel Sehen und Hören. Assistenzsysteme im Haushalt ermöglichen es Patientinnen und Patienten sowie älteren Menschen, in ihrem gewohnten Umfeld zu bleiben, wodurch stationäre Aufenthalte in Kliniken und Pflegeeinrichtungen verhindert oder verkürzt werden können. All dies verschafft den Menschen mehr Autonomie, Privatsphäre und damit Lebensqualität. Im Krankenhaus entlasten Hebe- und Traghilfen das Pflegepersonal bei körperlich belastenden Tätigkeiten, während intelligente Softwaresysteme Ärztinnen und Ärzten sowie Pflegenden zeitintensive Routineaufgaben der Verwaltung und Aktenführung abnehmen. In der Krankenhauslogistik übernehmen automatisierte Hol- und Bringdienste lange Transportwege. All dies trägt dazu bei, dass Ärztinnen und Ärzte sowie das Pflegepersonal mehr Zeit haben, individuell auf die Patientinnen und Patienten einzugehen.

Auch im Bereich der Mobilität tragen verschiedene Assistenzsysteme zu mehr Autonomie und Lebensqualität der Menschen bei, unabhängig von gesundheitlichen oder altersbedingten Beeinträchtigungen. Teil- und vollautomatisierte Fahrzeuge ermöglichen individuelle Mobilität und damit Teilhabe am öffentlichen Leben für Personen, die selbst kein Auto mehr steuern können oder möchten. Durch den automatisierten Güter- und Personenverkehr werden Fahr- und Transportwege flexibel geplant und optimiert, es gibt kaum noch Staus. Dadurch werden Ressourcen geschont und die Umweltbelastung sinkt. Schwere Unfälle mit Personenschäden sind die absolute Ausnahme, da mangelnde Aufmerksamkeit und Fehler eines Fahrzeugführers durch Assistenzsysteme kompensiert und Kollisionen durch vernetztes Fahren weitgehend verhindert werden. Analog zum Transport von Menschen ist in der Logistik das Supply Chain Management optimiert, womit der Energieverbrauch

beim Gütertransport und die Fehlerquote bei der Kommissionierung reduziert werden. Über intelligent vernetzte, interoperable und leicht zu bedienende Endgeräte überwachen und steuern Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die gesamte Lieferkette und ermöglichen damit die Umsetzung von Industrie 4.0.

In der industriellen Produktion verbessern Assistenzsysteme und kollaborative Roboter sowohl die Qualität und Effizienz in der Fertigung als auch die Ergonomie und Sicherheit am Arbeitsplatz. Körperlich belastende Tätigkeiten und solche in gefährlichen Umgebungen werden überwiegend von Maschinen erledigt, während qualifizierte Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer diese Prozesse orchestrieren. In Summe

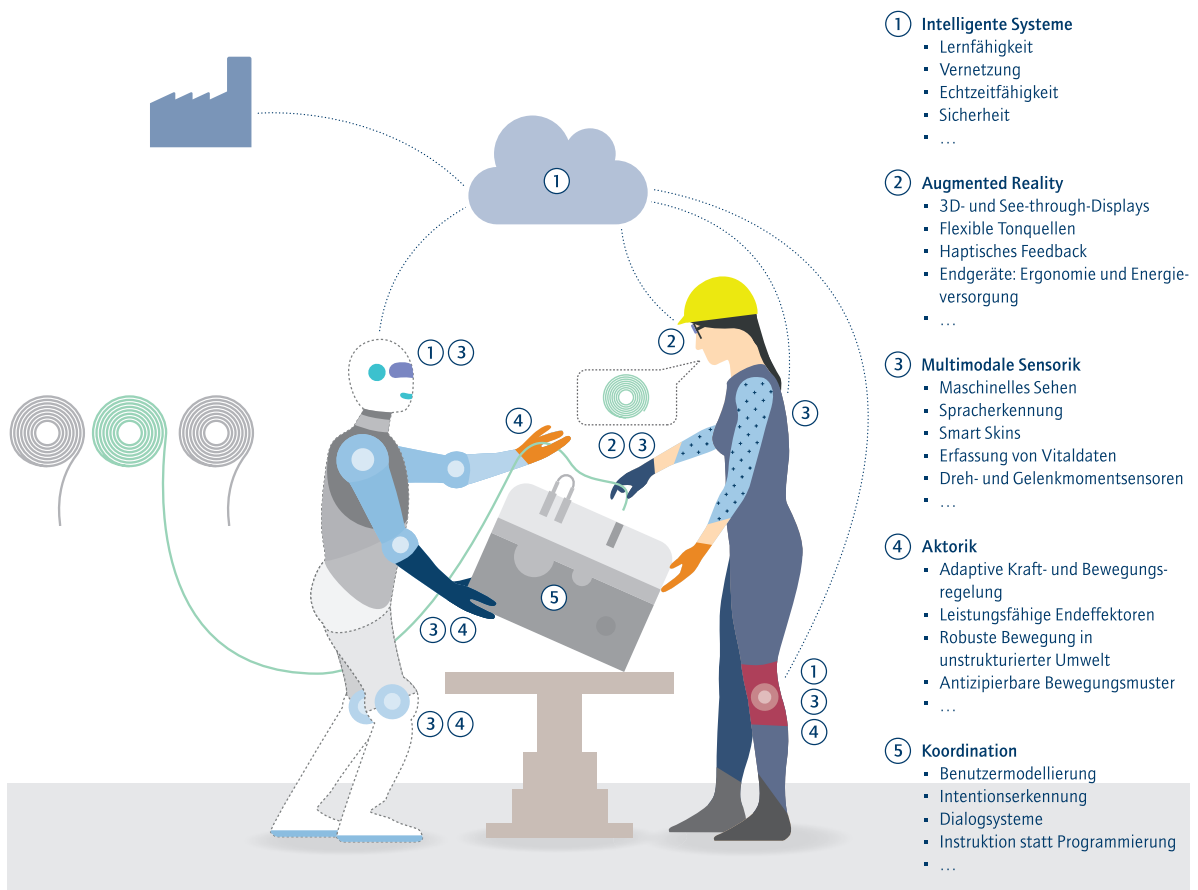
werden durch innovative MMI-Technologien mehr qualifizierte und produktive Arbeitsplätze geschaffen, als durch Automatisierung verloren gehen. Aufgrund der so erzielten Produktivitätsfortschritte kann zuvor ausgelagerte Produktion nach Deutschland zurückgeholt werden. Personen mit geringer Qualifikation oder gesundheitlichen Einschränkungen können durch individuelle Assistenzsysteme produktiv eingesetzt und am Arbeitsplatz weitergebildet werden. Dadurch wird auch der Fachkräftemangel ein Stück weit kompensiert. Die im Arbeitsprozess generierten Daten werden entweder gleich gelöscht oder nur mit Zustimmung der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer und unter Einbeziehung von Akteuren der betrieblichen Mitbestimmung zweckgebunden weiterverarbeitet und genutzt.

3 TRENDS UND HERAUSFORDERUNGEN DER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

Zentral für die Realisierung des vorgestellten Zielbilds ist, dass Fortschritte bei den hier aufgeführten Technologien nicht isoliert voneinander erfolgen, sondern ineinandergreifen und aufeinander aufbauen. Prominente Autorinnen und Autoren vergleichen die Geschwindigkeit und Qualität der bevorstehenden Entwicklungen dabei mit der sprunghaften Weiterentwicklung des frühen Lebens während der kambrischen Explosion (vgl. Pratt 2015). Diese Radikalität der Einschätzung des bevorstehenden

technologischen Fortschritts wird zwar nicht von allen befragten Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie geteilt, aber alle stimmen darin überein, dass die meisten der entscheidenden MMI-Technologiefelder noch am Anfang stehen. In ihren Augen ist das Spielfeld noch offen und es wird sich erst zeigen müssen, ob die gegenwärtigen Spitzenreiter auch in Zukunft die Forschung und Entwicklung anführen werden.

Abbildung 4: Illustration zentraler MMI-Technologien



Quelle: Eigene Darstellung

Für die zukünftige Position des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland und seine technologische Souveränität ist es entscheidend, nicht nur in einzelnen MMI-Technologiefeldern Kompetenzen auszubauen oder zu erwerben, sondern diese miteinander zu verknüpfen. Die Einteilung der folgenden Darstellungen in Sensorik, Intelligente Systeme sowie Robotik und Augmented Reality dient daher dem heuristischen Zweck, zentrale Funktionen und Anforderungen an zukünftige MMI-Anwendungen hervorzuheben, und ist gerade nicht als trennscharfe Abgrenzung von Technologiefeldern zu verstehen. Daran schließt sich eine kurze Darstellung der Bedeutung von Sicherheitsaspekten in der MMI an. Eine Einschätzung der gegenwärtigen internationalen Position der deutschen Forschung und Entwicklung schließt das Kapitel ab.

3.1 SENSORIK

Um sich flexibel und gezielt auf den Nutzer und die Umwelt einstellen zu können, benötigen interaktive Maschinen Sensordaten, aus denen sie die jeweils relevanten Informationen gewinnen können. Als Quelle der Daten können dabei sowohl im Gerät selbst verbaute als auch vernetzte Sensoren dienen.

Sensortechnologien wurden in den vergangenen Jahren einerseits durch die schnelle Weiterentwicklung von Smartphones und der Unterhaltungsindustrie vorangetrieben (zum Beispiel Miniaturisierung von Kameras, Mikrofonen, Lage-, Bewegungs- und Beschleunigungssensoren), andererseits durch den Automotive-Bereich (zum Beispiel Lidar, Radar, Laser und Ultraschall). Der Forschung stehen damit kostengünstige und leistungsfähige Sensortechnologien zur Verfügung (vgl. Amos/Müller 2013, 37), die allerdings unterschiedliche Reifegrade aufweisen und in vielen Fällen für den Einsatz in marktfähigen MMI-Anwendungen noch weiterentwickelt werden müssen (vgl. Abbildung 5).

Nicht-optimale Hardware, wie zum Beispiel unpräzise Sensoren, muss bislang oft durch aufwendige und kostenintensive Auswertungsalgorithmen oder einen Strategiewechsel im Design kompensiert werden. Die Miniaturisierung, die Reduzierung des Energiebedarfs und der Kosten sowie die Verbesserung der Qualität der gelieferten Daten ist damit eine Herausforderung für die Weiterentwicklung aller Sensortypen für ihren Einsatz in MMI-Anwendungen (vgl. Bogue 2013).

Multimodale Sensorik

In natürlichen Interaktionen sprechen Menschen gleichzeitig mehrere Sinne ihres Gegenübers an. So lenkt zum Beispiel ein ausgestreckter Zeigefinger während eines mündlichen Vortrags die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Punkt der an die Wand geworfenen Folie, während der Vortragende mit seinem Blick Teile des Publikums besonders anspricht.

Fortschritte in der Sensorik erlauben es, auch die Interaktion mit der Maschine zunehmend an diese Multimodalität natürlicher Kommunikationsformen anzunähern (Max-Planck-Gesellschaft 2010). Forschungsansätze befassen sich zu diesem Ziel einerseits mit der Erkennung und Verarbeitung von aktiven Signalen wie zum Beispiel Sprache, Blickrichtung, Gestik und Berührungen. Andererseits werden Sensoren zur kontinuierlichen Erfassung von Vitaldaten sowie der physischen und kognitiven Auslastung des Nutzers entwickelt (vgl. Yilmaz et al. 2010). Zukünftige Anwendungen werden auch den emotionalen Zustand (vgl. Bohannon 2015) des Nutzers erfassen und berücksichtigen können.

Für innovative MMI-Anwendungen müssen Sensorsignale aus mehreren Quellen und unterschiedlicher Art in einer komplementären Sensorik zusammengeführt und verarbeitet werden (vgl. Turk 2014). Erst so kann neben einer an den Gewohnheiten des Nutzers orientierten aktiven Steuerung auch die Assistenzleistung an den aktuellen Aufmerksamkeitsgrad des Nutzers angepasst werden

Abbildung 5: Marktreife MMI-relevanter Sensortechnologien

		ANWENDUNGSFELD				
		AUTOINDUSTRIE & MOBILITÄT	INDUSTRIE-PRODUKTION	GESUNDHEITSWESEN	UNTERHALTUNGS-ELEKTRONIK	RAUMFAHRT & VERTEIDIGUNG
SENSORTECHNOLOGIE	TAKTIL	Bedienelemente für Infotainment, ...	MMI für ICS-Systeme	Medizinisch nutzbare Touchscreens, ...	Touchscreen für Smartphones, Tablets, ...	Fahrzeuginterne Steuerungs-Interfaces, ...
	AKUSTISCH	Sprachsteuerung in smarten Autos, ...	Kein relevanter Markt	Biometrie, automatisiertes Diktieren, ...	Automatisierte Spracherkennung für Callcenter, ...	Biometrische Spracherkennung, ...
	OPTISCH	Gesten-aktivierte Fahrerassistenzsysteme, ...	Gestensteuerung für Industrieroboter, ...	Gesten-aktivierte Anzeigen für Operationen, ...	Gestensteuerung für Laptops, smarte Geräte, ...	Gestensteuerung für militärische Roboter, ...
	BEWEGUNG	Kein relevanter Markt	Kein relevanter Markt	Kein relevanter Markt	Spielkonsolensteuerung, ...	Kein relevanter Markt
	BIONISCH	Kein relevanter Markt	Kein relevanter Markt	Bionisches Auge, BCI-gesteuerter Rollstuhl, ...	EMG-gesteuerte elektronische Geräte, ...	Exoskelette für menschliche Extremitäten, ...

■ Etablierter Markt
 ■ Entstehende Technologie
 ■ Langfristiges Potenzial

Quelle: Bain & Company 2015, eigene Übersetzung

(vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2010). Auch der Wechsel zwischen Phasen der Autonomie der Maschine und der Kontrolle des Nutzers über das System kann sicher gestaltet und Gefahrensituationen, wie zum Beispiel ein drohender Herzinfarkt oder Übermüdung, können frühzeitig vorhergesehen werden (Predictive Analytics).

Die technologische Herausforderung der komplementären Sensorik besteht darin, dass dem System auch bei uneindeutigen und widersprüchlichen Signalen einzelner Sensoren zuverlässige Informationen in Echtzeit zur Verfügung stehen müssen (vgl. BMWi 2013a), um zum Beispiel festzustellen, ob sich tatsächlich ein Hindernis vor dem Fahrzeug befindet. Andererseits kann in vielen Situationen auch erst durch die Zusammenführung verschiedener Daten die benötigte Eindeutigkeit erreicht werden, zum Beispiel durch

die bereits beschriebene gemeinsame Erfassung von zeigendem Finger, Sprache und Blick.

Sensoren zur Kollisionsvermeidung und Bewegungskoordination

Für ein effektives, vor allem aber auch angstfreies Interagieren und Arbeiten mit Maschinen, die große Kräfte entfalten können, ist das Vermeiden unerwünschter Kontakte oder sogar von Kollisionen entscheidend. Gleichzeitig stellen Berührungen eine wichtige neue Form der natürlichen Steuerung von Maschinen dar.

Forscher und Hersteller experimentieren gegenwärtig mit sehr verschiedenen Methoden zur Bestimmung einwirkender Kräfte, zum Beispiel über hochpräzise Dreh- und Gelenkmomentsensoren oder über die Messung des

Stromrückflusses in Motoren. Großflächig verteilte und biegsame Sensoren können als Smart Skin (vgl. Saller 2014) Roboterarme und Prothesen ummanteln, aber auch in der Wohnumgebung, dem Mobiliar oder Textilien integriert sein. Diese Lösung ist bislang allerdings noch sehr kosten- und rechenleistungsintensiv. Zur Kollisionsvermeidung werden neben Näherungssensoren auch Kameralösungen weiterentwickelt (vgl. Schiebener et al. 2014).

Maschinelles Sehen

Die Potenziale des Maschinellen Sehens machte Microsofts ursprünglich als Peripheriegerät einer Spielkonsole entwickeltes Kinect-System den Entwicklern erstmals kostengünstig verfügbar (vgl. Schick/Sauer 2013). Die Ziele der Forschung zur Bilderkennung umfassen sowohl die Erkennung ganzer Szenen als auch die von Personen und ihrer Blicke, Gesten und Mimiken sowie von Objekten und Bewegungsmustern.

Innovative Vision-Systeme sind damit nicht mehr darauf beschränkt, die physische Beschaffenheit der Umwelt (zum Beispiel Topologie, Bewegungen) zu erkennen, sondern in der Lage, die Sensordaten mit semantischem Wissen zu kombinieren und so auf Anweisung beispielsweise einen bestimmten Gegenstand zu lokalisieren oder in Zukunft auch die Hilfsbedürftigkeit einer Person an ihrer Körperhaltung und Mimik zu erkennen (vgl. Martinez et al. 2015). Großer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung leistungsfähiger und robuster Hardware- und Softwaremodule für das Maschinelle Sehen, die verlässliche Daten in Echtzeit auch in unstrukturierten Umgebungen mit vielen Objekten zur Verfügung stellen und auswerten können.

Navigation

Leistungsfähige Sensor- und Auswertungssysteme sind von großer Bedeutung für die Bewegung der Maschinen in einer für den Menschen gemachten Welt. Diese ist nicht komplett statisch, sondern zeichnet sich durch einen verhältnismäßig

niedrigen Grad an Strukturierung aus, sodass eine spontane Koordinierung der Bewegung mit Menschen und mit anderen Maschinen nötig ist.

Verfahren zur simultanen Lokalisierung und Kartenerstellung (SLAM) versetzen entsprechend ausgestattete Intelligente Systeme in die Lage, sich in unbekanntem Umgebungen zu orientieren und Wissen über sie zu sammeln, ohne auf Navigationshilfen wie optische Markierungen oder in die Umgebung verbaute RFID-Chips angewiesen zu sein (vgl. Davison 2003).

Die Erkundung einer unbekanntem Umgebung wird allerdings nicht der Regelfall sein, sondern die intelligente Verknüpfung von Sensordaten mit hochpräzisen Karten. Letztere bestehen aus mehreren semantischen Informationsschichten (vgl. Kostavelis/Gasteratos 2015), die zum Beispiel nicht nur die physische Beschaffenheit einer Straße enthalten, sondern auch aktuelle Daten zu Verkehrsdichte, freien Parkplätzen oder Witterung. Die Bedeutung von anspruchsvollem Kartenmaterial zeigte sich jüngst für den Bereich der Mobilität: Der Kartendienst Nokia Here wurde von Audi, BMW und Daimler für geschätzt 2,8 Milliarden Euro übernommen und Bosch kündigte an, bei der Herstellung von Autobahnkarten mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich mit TomTom zusammenzuarbeiten.

3.2 INTELLIGENTE SYSTEME

Die Zielvorstellung für intelligente MMI-Anwendungen sind Systeme, die sowohl in der natürlichen Interaktion mit ihrer Umwelt und mit dem Nutzer lernen (zum Beispiel über Instruktion oder Beobachtung) als auch Wissen über ihn (Nutzermodelle), die Welt und die eigenen Fähigkeiten untereinander austauschen.

In der Forschung werden Systeme dabei als intelligent angesehen, wenn sie autonom die sogenannte

Perception-Action-Learning-Schleife (vgl. Spatz/Schaal 2014) schließen können, also Wahrnehmung, Steuerung und Lernverhalten in einem geschlossenen Regelkreis realisieren. Der hier verwendete Begriff der Intelligenten Systeme schließt sich dieser Definition an.³ Die Umwelt eines solchen Systems kann die physische Welt (zum Beispiel Servicerobotik), komplett virtuell (zum Beispiel autonome Software-Agenten oder Data-Mining-Systeme) oder eine Kombination aus beidem sein.

Von der klassischen KI-Forschung zum Paradigma des Maschinellen Lernens (ML)

Forschungen zur Künstlichen Intelligenz (KI/engl.: AI) haben speziell in den 1970er- und 1980er-Jahren Erfolge in Form von Expertensystemen für sehr strukturierte Gebiete der abstrakten Wissensverarbeitung erzielt, zum Beispiel im Schach, dem Beweisen von mathematischen Theoremen und der Fehlerdiagnose. In den MMI-relevanten Bereichen stieß die klassische KI-Forschung jedoch auf große Probleme und erreichte die hoch gesteckten Ziele nicht.

Die „Neugeburt“ der neuronalen Netze bereitete in den 1980er-Jahren das Maschinelle Lernen (ML) als Nachfolger des klassischen Paradigmas vor. Der Schwerpunkt lag nun auf empirischen, datengetriebenen Methoden, innerhalb derer die Repräsentation des Wissens nicht explizit in einer Datenbank, sondern implizit in einem verteilten System erfolgt. Maschinelle Lernverfahren wurden entwickelt, die bei Verfügbarkeit hinreichend großer und repräsentativer Datenmengen optimale Lernfähigkeit besitzen und einfach zu trainieren sind.

Damit wurden Forschungsprobleme bearbeitbar, die der KI zuvor versagt gewesen waren, wie zum Beispiel Probleme beim Maschinellen Sehen (zum Beispiel Objekterkennung, Segmentierung), bei der Motorik (zum Beispiel das Lernen von internen Modellen der Kinematik oder

Dynamik eines Roboters), bei kognitiven Prozessen (zum Beispiel Gedächtnis und Assoziationen) und so weiter (vgl. Rumelhart/McClelland 1986; Rumelhart 1989). Neuronale Netze wurden später als statistische Algorithmen interpretiert und mit statistischen Methoden weiterentwickelt (vgl. Hertz et al. 1991; Poggio/Girosi 1990; Jacobs et al. 1991), während die biologische „neuronale Metapher“ (vgl. Garcia Rosa 2013) an Bedeutung verlor und das Forschungsgebiet der neuronalen Netze allgemein dem ML zugeordnet wurde (vgl. Bishop 2006).

Das Maschinelle Lernen ist damit seit Anfang des 21. Jahrhunderts eines der wichtigsten Werkzeuge der Informationstechnologie (siehe Kasten 1). Ein wichtiges Ziel des ML ist auch, Kausalzusammenhänge zu bestimmen (kausale Inferenz). Es geht um neue Ansätze, die in der Lage sind, aus der Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in den Daten auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu schließen. Dies würde Modelle ermöglichen, die nicht nur statistische Verbindungen finden können, sondern auch Vorhersagen über den Effekt von Interventionen machen. Diese Modelle wären von der Verfügbarkeit repräsentativer Daten weniger abhängig und könnten sich robuster auf neue Situationen einstellen.

Der Einsatz des Maschinellen Lernens in der MMI

Bereits im Jahr 2009 gelangen erste Erfolge bei der Spracherkennung: Die damals vorgestellte, auf statistischen Verfahren basierende Software konnte Sprache genauer in geschriebenen Text übersetzen als sämtliche regelbasierten Vorgänger (vgl. Jones 2014). In der Folge stellten die Anbieter sprachbasierter intelligenter Assistenzsysteme (zum Beispiel Google, Apple, Microsoft) die Spracherkennungsalgorithmen der Smartphones auf Deep Learning um, wodurch beispielsweise Google eine Reduzierung der Fehlerquote um 25 Prozent erreichte.

³ Andere Definitionen existieren, wie zum Beispiel der Turing-Test. Hier werden Intelligenz und Denkvermögen einer Maschine an ihrer Fähigkeit festgemacht, im schriftlichen Austausch nicht mehr von einem menschlichen Kommunikationspartner unterscheidbar zu sein. Dieser Definitionsvorschlag wird von vielen Expertinnen und Experten aufgrund eines zu eng am Menschen orientierten Konzepts der Intelligenz als nicht zielführender Maßstab kritisiert.

Kasten 1: Maschinelles Lernen

Steigende Rechenleistung und das dramatische Anwachsen digitaler Datenbestände haben durch den Einsatz Maschinellen Lernens (ML) Anwendungsbereiche wie Sprachverarbeitung, Bild- und Objekterkennung revolutioniert. Maschinelles Lernen gilt als eine der Schlüsseldisziplinen für die Realisierung von zukünftigen Systemen, die sich intelligent verhalten (vgl. LeCun et al. 2015). Moderne ML-Methoden wie Deep Learning sind in der Lage, aus der realen Welt stammende Rohdaten wie Bilder, Videos oder Sensormesswerte direkt zu verarbeiten und daraus zu lernen. Jede Lernmethode kombiniert Daten und a-priori-Wissen (Expertenwissen). Je mehr Daten verfügbar sind, desto weniger a-priori-Wissen ist vonnöten. Ein Deep-Learning-System benötigt nur generisches a-priori-Wissen über die zu lernenden Funktionen und verwandelt die Rohdaten dann automatisch in Darstellungen, die hierarchisch als Ebenen unterschiedlicher Abstraktion angeordnet sind und so ein Erkennen und Klassifizieren ermöglichen. Soll beispielsweise ein Bild erkannt werden, registriert die erste dieser Ebenen lediglich die Helligkeitswerte der Pixel. Die nächste Ebene wiederum „begreift“, dass einige der Pixel zu Kanten verbunden sind, woraufhin die darauffolgende zwischen horizontalen und vertikalen Linien unterscheidet – bis schließlich eine so „tiefe“ Ebene der Abstraktion erreicht wird, dass etwa Augen erkannt werden und das System zudem „weiß“, dass in einem Gesicht typischerweise zwei Augen auftauchen.

Ein entscheidender Aspekt ist, dass diese Schichten der Abstraktion nicht von den Ingenieuren vorgegeben werden, sondern als Resultat eines universellen Lernverfahrens aus den Daten selbst heraus entstehen. Damit wird ein Paradigmenwechsel weg von expliziten, menschengemachten Modellen und Computerprogrammen hin zu komplexen Systemen vollzogen, die automatisch aus Daten gelernt werden und in Situationen einsetzbar sind, bei denen die klassische Modellierung an ihre Grenzen stößt.

Typische Lernaufgaben beim ML sind dadurch gekennzeichnet, dass es Datensätze zum Trainieren des Systems gibt und Testdatensätze, an denen dann die Qualität des erlernten Verhaltens überprüft wird. Unter Ausnutzung moderner Parallelrechner-Architekturen, wie sie in den eigentlich für Videospiele entwickelten Grafikprozessoren (GPUs) vorliegen, können lernende Systeme heute mit einer riesigen Menge von Bildern, Videos und Sprachproben – die häufig aus dem Internet stammen – in überschaubarer Zeit trainiert werden. So entstand vor Kurzem mithilfe dieses sogenannten überwachten Lernens ein System, das die Bestandteile eines Bildes erkennt und in einem weiteren Schritt einen Beschreibungstext generiert, wie zum Beispiel „Eine Frau wirft in einem Park eine Frisbeescheibe.“ (vgl. Xu et al. 2015).

Überwachtes Lernen beschreibt allerdings nicht alle Lernsituationen. Bei biologischen lernenden Systemen spielen verstärkendes, unüberwachtes und kausales Lernen eine zentrale Rolle, was in entsprechenden Weiterentwicklungen berücksichtigt wurde. So können mit einer Belohnungsfunktion ausgestattete maschinelle Lernsysteme beispielsweise Verhaltensstrategien zur Maximierung der zu erwartenden Belohnungen entwickeln. Forscher der von Google übernommenen Firma DeepMind haben einen Lernalgorithmus realisiert, der sich selbst das Spielen von 49 verschiedenen Atari-2600-Videospiel-Klassikern beibrachte, unter ihnen Autorenn-, Schieß- und einfache Strategiespiele. Als Rückmeldung, ob die jeweilige Aktion erfolgreich war, erhielt dieses sogenannte Deep-Q-Netzwerk lediglich die Bildinformationen des Spiels und den Punktestand (vgl. Mnih et al. 2015).

Diese Arbeiten von Google DeepMind stellen für die Entwicklung Intelligenter Systeme, die ohne viel Vorwissen direkt aus eingehenden Reizen lernen und sich so auf verschiedenste Situationen einstellen können, einen Meilenstein dar (vgl. Schölkopf 2015). Deep Learning und zukünftige Entwicklungen im Maschinellen Lernen werden für die Realisierung solcher Systeme mittel- bis langfristig eine Schlüsselrolle spielen.

Dies legte den Grundstein für die aktuelle Weiterentwicklung der Spracherkennung und perspektivisch für Dialogsysteme, die alle Prinzipien und die Dynamik menschlicher Konversationen beherrschen, also zum Beispiel bei ihren Antworten auf unterschiedliches Domänenwissen zurückgreifen, statt des reinen Wortlauts auf die Intention der Frage eingehen und den bisherigen Gesprächsverlauf berücksichtigen (vgl. Hirschberg/Manning 2015). Diese qualitative Verbesserung der Spracheingabe und -ausgabe ist für das Ziel der Verwirklichung einer natürlichen Steuerung und Interaktion mit Maschinen ebenso entscheidend, wie es die ML-gestützte Interpretation von Bilddaten sein wird.

Letztere eröffnet Möglichkeiten für neuartige Expertensysteme. So übernahm IBM jüngst Merge Healthcare Inc. und damit extensive Datenbanken medizinischer Bilder für 700 Millionen USD, um mit ihnen das hauseigene Watson-System zu trainieren und so zukünftig Ärztinnen und Ärzte bei der Diagnose und Behandlung von Patientinnen und Patienten zu unterstützen (vgl. McMillan/Dwoskin 2015). Empfehlungsdienste werden ebenfalls anwendungsgetrieben stets weiterentwickelt. Solche ML-Systeme stellen Beziehungen zwischen Nutzern und einer Menge an Objekten (zum Beispiel Produkten) her und ermitteln aus dem so gewonnenen Wissen die für den jeweiligen Nutzer und seine Nutzungsabsicht relevantesten Informationen und Produkte.

„Assistenz bedeutet nicht, dass ich dem Assistenten immer sagen muss, was er tun soll.“

Auch Nutzerprofile sind nicht mehr statisch und müssen nicht mehr von Hand erstellt und aktualisiert werden. Die Intelligenzen Systeme erlernen stattdessen während der Benutzung die Vorlieben, Eigenschaften und Ziele ihres Nutzers. Diese Benutzermodellierung erlaubt es ihnen, das Nutzungserlebnis und ihre Aktionen dynamisch an ihn anzupassen. Hinsichtlich des Austauschs, Transfers und der Kombination

von Nutzerprofilen über Geräte und Plattformen ist gegenwärtig noch eine Reihe an technischen, aber auch wirtschaftlichen und regulatorischen Fragen offen.

Die Praxistauglichkeit Intelligenter Systeme

Für das Software-Engineering praxistauglicher Intelligenter Systeme besteht in den Augen der Expertinnen und Experten eine Reihe an Herausforderungen. Bislang fehlen standardisierte Softwaremodule und Betriebssysteme, die den Ansprüchen an die Echtzeitregelung Intelligenter Systeme genügen und universell zur Steuerung unterschiedlichster Hardware eingesetzt werden können. Dabei ist zu beachten, dass Intelligente Systeme in Zukunft weder nur isoliert voneinander eingesetzt werden noch die benötigte Rechenleistung stets vor Ort oder im Gerät selbst erbracht werden wird. Intelligente MMI-Anwendungen sind daher auf Fortschritte im Cloud und Fog Computing (vgl. Vaquero/Rodero-Merino 2014) ebenso angewiesen wie auf die Interoperabilität der Systeme in Multiagentensystemen.

Bei robotischen Systemen besteht eine Reihe weiterer Herausforderungen: Der Roboter erzeugt durch das Ausprobieren seiner Verhaltensmöglichkeiten selbst die Daten, auf deren Basis er lernen kann. Dieses Ausprobieren geht mit der Gefahr einher, suboptimales Verhalten oder gar Schäden am Roboter oder in seiner Umgebung zu erzeugen (sogenanntes Exploration-Exploitation-Dilemma, vgl. Thrun 1992). Auch wurden Methoden des ML bislang nur für Systeme mit wenigen Freiheitsgraden entwickelt und reichen noch nicht aus, um etwa Manipulationsrobotern kompetentes Verhalten zu ermöglichen (vgl. Schaal 2014, 28 f.).

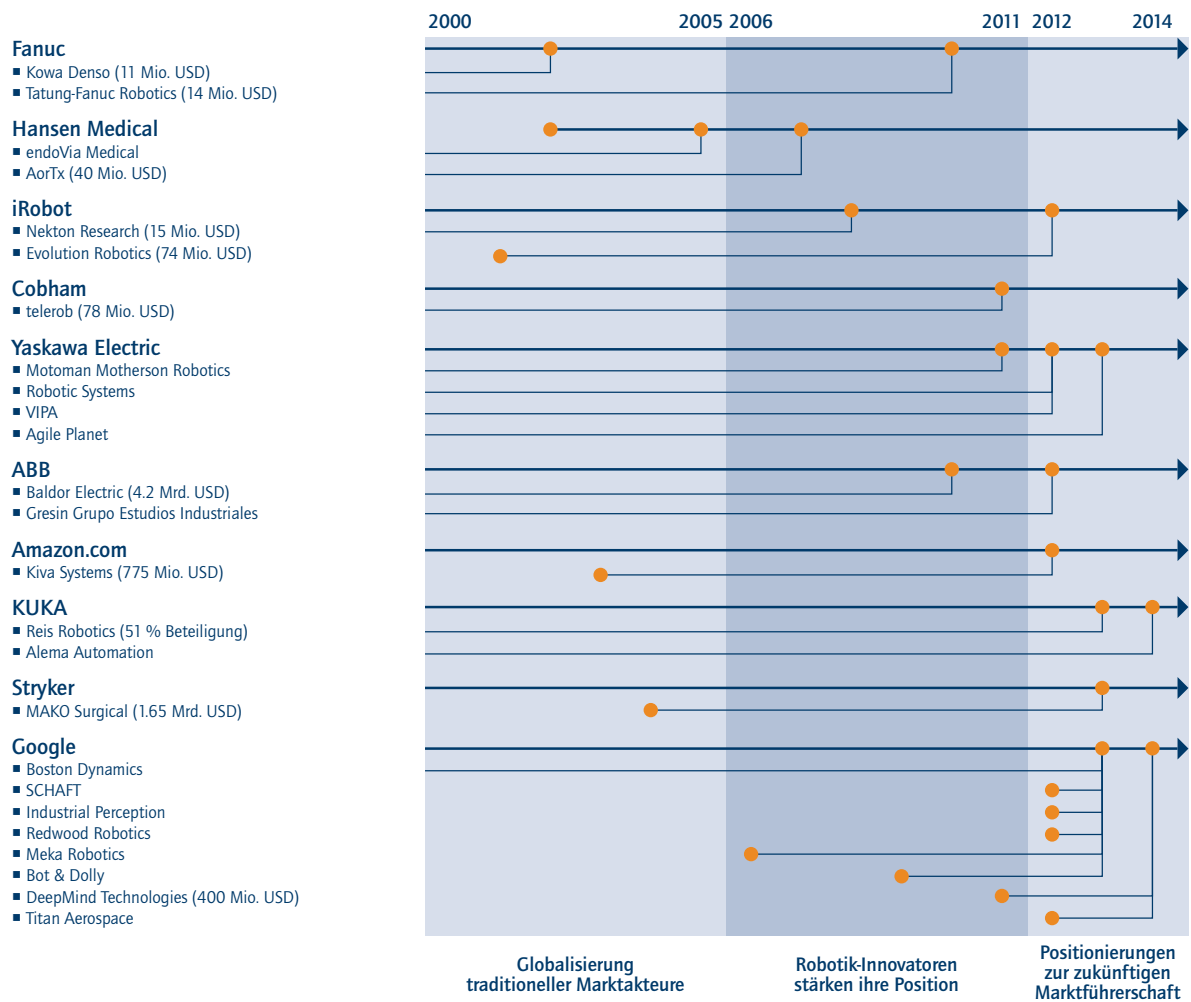
3.3 ROBOTIK UND AUGMENTED REALITY

Die Lebenswelt des Menschen wird in Zukunft nicht nur mit Sensoren und vernetzten Intelligenzen Systemen angereichert sein, die seine Befehle, sein Befinden und seine Präferenzen erkennen. Die Maschinen werden in einem

nächsten Schritt auch mit aktiven Komponenten ausgestattet werden, die es ihnen erlauben, Aufgaben in der physischen Welt zu erfüllen und mit dem Menschen im direkten körperlichen Kontakt zu interagieren statt nur über einen

Bildschirm. Es ist daher kein Zufall, dass bedeutende Übernahmen in der Robotikbranche in den letzten Jahren durch IKT-Unternehmen erfolgten (vgl. Abbildung 6), die so ihren Vorsprung bei diesem nächsten Schritt absichern wollen.

Abbildung 6: Bedeutende Übernahmen in der Robotikbranche bis 2014



Hinweise: Ausgewählte Übernahmen. Linien beginnen mit dem Gründungsjahr des Unternehmens (sofern innerhalb des Betrachtungszeitraums).

Quelle: BCG 2014, eigene Übersetzung und Vereinfachung

Robotik in einer für Menschen gemachten Umwelt

Das Greifen und die Manipulation von Gegenständen sind für viele Einsatzbereiche entscheidend. Für MMI-Zwecke sind dabei Fortschritte weniger im Bereich der Kraft, Präzision und Wiederholgenauigkeit nötig, sondern eine adaptive Kraft- und Bewegungsregelung. Es bedarf hierfür der Weiterentwicklung nachgiebiger Antriebe. Diese Innovationen sind notwendig, um Objekte mit unbekanntem Eigenschaften oder zum Beispiel auch biegeschlaffe Teile wie Kabel oder Kleidungsstücke sicher zu greifen oder zu bearbeiten, ohne dabei Schäden zu verursachen (vgl. Asfour 2014).

Leichtbau- und Serviceroboter benötigen auf unterschiedlichsten physikalischen Prinzipien basierende Endeffektormodule sowie eine Kinematik, die auch auf engem Raum ein Umgreifen von Hindernissen ermöglicht. Die von einem Team der TU Berlin gewonnene *Amazon Picking Challenge 2015* zeigte sowohl den weiterhin bestehenden Forschungsbedarf als auch das Interesse der Wirtschaft an der Marktreife flexibler und zuverlässiger Greifsysteme.

Der Einsatz von bewegungsunterstützender Aktorik nah am Körper stellt ebenfalls hohe Anforderungen an die Ansteuerung und die Anpassung in Echtzeit. Exoskelette, Orthesen und Prothesen werden nach Auskunft der befragten Expertinnen und Experten von ihren Trägern dann nicht als natürlicher Teil ihres Bewegungsapparats wahrgenommen, wenn sie durch Schwergängigkeit, Widerstände oder unvorhergesehene Bewegungsabläufe irritieren.

Bewegung in unstrukturierten Umwelten

Die *DARPA Robotics Challenge 2015* zeigte die gegenwärtig noch sehr beschränkte Mobilität von Robotern. Die Herausforderung für die Roboter war es, sich selbstständig oder mit nur minimaler Supervision in einer Umgebung mit für Menschen alltäglichen Merkmalen wie Stufen, Leitern oder unebenen, weichen Flächen zu bewegen. Soll sich

MMI am Menschen orientieren und es nicht umgekehrt zu einer Roombarization⁴ der Lebenswelt kommen, sind noch große Fortschritte bei Bewegungskonzepten für robotische Systeme nötig.

Bei gehenden Robotern ist es beispielsweise eine offene Frage, inwiefern stabiles Gehen auch über ein geschicktes Design der Hardware und analoger Regelschleifen erreicht werden kann. Im Bereich der Soft Robots (vgl. Rus/Tolley 2015) wird zu von der Biologie inspirierten Bewegungsformen und Antriebsarten geforscht, die ohne starre Teile oder sogar ohne elektrische Motoren auskommen und stattdessen zum Beispiel eine Fortbewegung über Pneumatik ermöglichen. Neben der Leistung (Geschwindigkeit, Präzision etc.) ist vor allem die Robustheit der Bewegung, also die flexible Anpassung des Bewegungsverhaltens an Schäden oder Blockaden eines oder mehrerer Teile, entscheidend (vgl. Hild 2013).

Im Feld der humanoiden Robotik geht es neben Robotern mit dem Menschen nachempfundenem Körper und Mechanik (zum Beispiel künstliche Muskeln und Sehnen) darum, die Bewegungsmuster robotischer Systeme am Vorbild menschlicher Gliedmaßen zu orientieren (vgl. Ortiz-Catalan et al. 2014). Die Bewegungen werden so für die Nutzer leichter antizipierbar, was neben der Sicherheit vor allem auch die Koordination von Mensch und Maschine verbessert, zum Beispiel wenn ein Roboterarm einem Menschen Gegenstände anreicht oder abnimmt. Eine solche Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion befindet sich allerdings meist in einem Zielkonflikt mit der Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters (vgl. Huang et al. 2015).

Augmented Reality

Neben der physischen Manipulation der Umwelt durch robotische Systeme ist die Anreicherung der realen Welt mit Informationen der zweite Bereich, in dem entscheidende Fortschritte bei der Realisierung natürlicher Interaktionsformen

⁴ Der Begriff verweist auf den staubsaugenden Roboter roomba der Firma iRobot, dessen Nutzer nach der Anschaffung dazu neigen, lose Kabel vom Boden zu entfernen, Möbel umzustellen und Teppichfransen unterzuschlagen, um sein reibungsloses Funktionieren zu ermöglichen (vgl. Sung et al. 2008, 133).

zu erwarten sind. Augmented Reality zielt auf eine kontextangemessene Wahrnehmungserweiterung aller Sinne ab, um die Vermittlung von Informationen und auch die Steuerung von Maschinen vom Bildschirm in den Raum selbst zu verlagern. Die befragten Expertinnen und Experten erwarten, dass hier vor allem aus dem Entertainment-Bereich entscheidende Impulse zur Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien kommen werden.

„Die Welt wird zum interaktiven Display mit realen Objekten.“

Analog zur Sensorik bestehen die Anwendungspotenziale und Herausforderungen gleichermaßen in der Multimodalität der Ansprache der Sinne (vgl. Oviatt/Cohen 2015). Dies eröffnet nicht zuletzt Inklusionschancen für sensorisch eingeschränkte Menschen. Informationen können durch die Synthetisierung von Sprache mit hoher Dichte und zugleich natürlich vermittelt werden. In die Umgebung integrierte Lautsprecher machen zusätzlich auch die Position einer Tonquelle beliebig modellierbar. Smart Textiles und Wearables können ihren Trägern haptische Signale geben, wo sprachliche Hinweise zu langsam wären. So kann zum Beispiel ein OP-Expertensystem die Chirurgin oder den Chirurgen mit einer kurzen Vibration warnen, wenn er einen Schnitt zu weit führen würde.⁵ Tangible User Interfaces (vgl. Zuckerman/Gal-Oz 2013) haben das Ziel, die Textur und Widerständigkeit eines an einem anderen Ort befindlichen oder virtuellen Objekts erfühlbar und so manipulierbar zu machen.

Im Sprung von Bildschirmen zu Daten- und Virtual-Reality-Brillen sehen die befragten Expertinnen und Experten die entscheidende visuelle Entwicklungslinie. Erstere werden sich nach ihrer Einschätzung vor allem im betrieblichen Einsatz durchsetzen, an der Weiterentwicklung der Letzteren besteht auch im Unterhaltungssektor großes Interesse.

Neben der Batterielaufzeit (siehe unten) sind hier vor allem noch Fortschritte in der Ergonomie (zum Beispiel Wärmeentwicklung, Gewichtsbelastung des Kopfs) und 3D-Technologien (zum Beispiel stereoskopische See-through-Displays) notwendig. Für Datenbrillen fehlt allerdings auch noch die Anwendung, die ihnen zum Durchbruch verhilft (Deutsche Bank Research 2015, 9 ff.).

Nutzerfreundliche Energieversorgung

Die Energieversorgung stellt einen entscheidenden limitierenden Faktor für viele MMI-Anwendungen dar. Bei Wearables wie Datenbrillen und Smart Watches ist nach Einschätzung der befragten Expertinnen und Experten neben Batterietechnologien auch die Entwicklung von spezialisierten Chips mit niedriger Leistungsaufnahme vielversprechend. Für Anwendungen mit sehr niedrigem Energieverbrauch bieten sich Energy-Harvesting-Technologien an.

Grundsätzlich sind Energieversorgungskonzepte (zum Beispiel Dauer von Ladevorgängen, Betriebsdauer, Infrastruktur) nutzer- und nutzungsgerecht zu gestalten und Fortschritte in diesen Bereichen werden weiteren MMI-Anwendungen erst den Schritt zur Marktreife eröffnen.

3.4 SICHERHEIT ALS QUERSCHNITTANFORDERUNG

Sicherheit ist eine grundlegende Anforderung an den Einsatz aller technischen Anwendungen. Für innovative Formen der MMI ist dies umso wichtiger, da sie näher an den Menschen heranrücken, zum Beispiel wortwörtlich als Wearable mit unmittelbarem Körperkontakt, aber auch im betrieblichen Kontext als Roboter, der nicht mehr durch Käfige und Sicherheitszäune von den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern getrennt ist.

Mit Sicherheit ist nicht das vollständige Ausbleiben von Fehlfunktionen gemeint, sondern die Abwesenheit von nicht

⁵ Der von der DFG geförderte *SFB/Transregio 125 Cognition-Guided Surgery* entwickelt entsprechende chirurgische Assistenzsysteme, die vorhandenes Wissen mit Sensordaten aus der Behandlung kombinieren und den Operateuren in Echtzeit die daraus vom Expertensystem generierten Empfehlungen und Hinweise situationsangemessen zur Verfügung stellen.

akzeptablen Risiken (vgl. Amos/Müller 2013, 41). Es gilt daher, gleichermaßen die Sicherheit der Nutzer und die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit der MMI-Anwendungen zu garantieren. Der interdisziplinäre Charakter von Sicherheit wird im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung durch das Forschungsrahmenprogramm *Selbst bestimmt und sicher in der digitalen Welt 2015–2020* hervorgehoben und für MMI-Anwendungen, insbesondere Intelligente Systeme, von hochrangigen Expertinnen und Experten betont (vgl. Dietterich/Horvitz 2015, 40).

MMI-Anwendungen stellen hohe Anforderungen an die System-, Prozess- und Datensicherheit. Ihre Absicherung gegen externe Manipulationen ist durch ihre Anbindung an Datendienste und das enge Zusammenspiel sicherheitskritischer und weniger kritischer Systeme von übergeordneter Bedeutung. Sicherheitslücken, wie zum Beispiel der Fernzugriff auf Fahrassistenzfunktionen des Jeep Cherokee über das Infotainmentsystem, müssen über den gesamten Lebenszyklus der Anwendung zeitnah und nutzerfreundlich (zum Beispiel als Over the Air Programming) geschlossen werden (vgl. Greenberg 2015). Dies bedeutet, dass sich Update-Zyklen von Hardwareherstellern zukünftig an der Geschwindigkeit der Softwarebranche orientieren müssen.

Die Notwendigkeit beständiger und zeitnaher Updates besteht umso mehr, als sich Fehlfunktionen von Technik oft erst in der variablen Interaktion mit ihren Nutzern, ihrer Umwelt und anderen Systemen zeigen (vgl. Amos/Müller 2013, 42 f.). Gerade hinsichtlich der Robustheit und Sicherheit von Multiagentensystemen mit einer sehr hohen Zahl an heterogenen Agenten, zum Beispiel im Straßenverkehr, aber auch im Krankenhaus oder in Fabriken, besteht in den Augen der Expertinnen und Experten noch großer Bedarf an Grundlagenforschung und praktischen Testverfahren. Die Verlässlichkeit von Software wird von der Gesellschaft für Informatik als eine der fünf großen Herausforderungen der Informatik hervorgehoben.

Die Echtzeitanforderung vieler MMI-Systeme setzt voraus, dass die Verfügbarkeit kritischer Systemfunktionen stets gegeben sein muss. Das Forschungsfeld der Worst-Case Execution Time Analysis entwickelt Methoden zur Bestimmung der maximal benötigten Rechenzeit eines Systems bei der Erfüllung seiner Funktion. Dieser Zeitbedarf wird dann mit den Anforderungen des Nutzungsszenarios abgeglichen (vgl. Stirn 2014). Ebenfalls muss auch im Notfall eine geordnete Abschaltung des Systems möglich sein, die keine zusätzlichen Risiken erzeugt, sondern auf die Sicherheit des Nutzers und Dritter ausgelegt ist.

Die nicht mehr strikt vorgegebenen Bewegungsbahnen beweglicher Teile zum Beispiel von Service- und Industrierobotern stellen ein Verletzungsrisiko dar. Dieses soll – wie beispielsweise für Industrieroboter in *ISO 10218-1* festgelegt – über eine umfassende Risikoanalyse statt über feste Grenzwerte minimiert werden (Oberer-Treitz et al. 2013). Dabei sind eine Vermeidung von Kollisionen wie auch ein möglichst geringes Schadenspotenzial bei erfolgten Kollisionen über Sicherheitspfade in der Hardware und Software des Systems anzustreben.

Individuell an den Menschen und seine Bedürfnisse angepasste MMI-Systeme sind auf die Sammlung, Verarbeitung und auch den Austausch einer Vielzahl höchst sensibler Daten angewiesen. Die Sicherheitsarchitektur muss den unbefugten Zugriff und die Manipulation von Daten verhindern und gleichzeitig die Kommunikation der Geräte zur Erfüllung ihrer Funktion ermöglichen.

Ein ganzheitliches Verständnis der Verlässlichkeit von MMI-Anwendungen bedeutet, dass sie nicht nur möglichst sicher, vertrauenswürdig und zuverlässig arbeiten müssen, sondern auch, dass Verantwortung und Haftung bei einem Schadensfall für alle Beteiligten (Nutzer, Eigentümer, Anbieter) klar und eindeutig geregelt sind (siehe dazu ausführlicher Kapitel 5).

3.5 DEUTSCHLAND IM INTERNATIONALEN VERGLEICH

Deutschland ist nach Einschätzung der Expertinnen und Experten in der Sensorikforschung gut aufgestellt und deutsche KMU sind bei der Entwicklung hochwertiger und präziser Sensoranwendungen führend, zum Beispiel bei Kameras und Beschleunigungssensoren. Expertinnen und Experten sehen die Chance, durch Kooperation im Bereich der multi-modalen und komplementären Sensorik einen Sprung an die Weltspitze zu machen.

Im Bereich Intelligenter Systeme wird die Forschung und Entwicklung von den USA angeführt. Innerhalb Europas liegt Großbritannien vorn, gefolgt von Deutschland, Israel, Frankreich und der Schweiz. In Deutschland bestehen grundlegende Kompetenzen und in ausgewählten Bereichen international führende Einrichtungen, zum Beispiel in der Steuerungstechnik und der Sprachverarbeitung (DFKI, RWTH Aachen). Das 2011 etablierte MPI für Intelligente Systeme bündelt beispielsweise Software und Hardware-Expertise in den Bereichen Wahrnehmen, Handeln und Lernen.

Im Feld der Aktorik und Robotik nimmt Deutschland einen internationalen Spitzenplatz in Forschung und Entwicklung ein, dicht gefolgt von Japan, Südkorea und in Europa der Schweiz. Nach Einschätzung der Expertinnen und Experten holen die USA zwar auf, bewegen sich aber bislang eher im Mittelfeld. Die deutsche Forschung zu Augmented Reality gilt international als konkurrenzfähig.

Erfolgsfaktoren und Hürden der deutschen MMI-Forschung

Die für die MMI-Forschung zentrale Bedeutung der interdisziplinären Zusammenarbeit der MINT-Disziplinen mit den Lebens-, Geistes- und Sozialwissenschaften wird von den befragten Expertinnen und Experten durchgehend betont (vgl. Kapitel 5) und in ihren Projekten umgesetzt. Ebenso deutlich weisen sie aber auf strukturelle Schwierigkeiten

bei der Drittmittelakquise hin, wobei sie neben dem hohen Arbeitsaufwand für die Antragstellung vor allem eine zu sehr auf den Erkenntnisgewinn für Einzeldisziplinen fokussierte Begutachtung kritisieren.

Mit der Ausbildungssituation des akademischen Nachwuchses bis zum Bachelor und Master zeigen sich die befragten Expertinnen und Experten meist zufrieden. Zugleich mahnen sie aber die Notwendigkeit attraktiver Arbeitsbedingungen für aufstrebende junge Forscher an, um die mit Sorge betrachtete Abwanderung der besten Absolventinnen und Absolventen aus Deutschland zu verhindern und internationale Spitzenkräfte zu gewinnen. Dies kann neben personengebundenen Förderprogrammen beispielsweise über die Ausschreibung von Wettbewerben geschehen, aber auch über eine Erleichterung der Vereinbarkeit von wissenschaftlicher und unternehmerischer Tätigkeit, zum Beispiel über Entrepreneurial Sabbaticals für Professorinnen und Professoren.

Die befragten Expertinnen und Experten betonen, dass sich die starke Förderung der Grundlagenforschung der vergangenen Jahre gegenwärtig in entscheidenden Impulsen für die anwendungsorientierte Forschung auszahlt und dies bei einer entsprechenden Weiterführung auch in Zukunft so sein wird. Deutliche Defizite identifizieren sie dagegen beim Transfer der Forschungsergebnisse in marktreife Anwendungen. Hierbei wäre vor allem die starke industrielle Basis Deutschlands mit ihren tiefen Wertschöpfungsketten und dem intensiven Austausch zwischen Herstellern, Kunden und Zulieferern stärker als Standortvorteil zu nutzen. Die Expertinnen und Experten begrüßen daher nachdrücklich Maßnahmen zur Verbesserung des Technologietransfers wie die Hightech-Strategie, die Digitale Agenda der Bundesregierung und die speziellen Technologieprogramme des BMWi, wie zum Beispiel die Programme *Smart Data*, *Autonomik für Industrie 4.0*, *Smart Service Welt* oder die *Initiative Mittelstand Digital* (vgl. BMWi 2015a).

4 MARKTPOTENZIALE

Die gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich der MMI werden sich nachhaltig auf alle Bereiche des wirtschaftlichen Lebens auswirken. Besondere Implikationen zeichnen sich für den Bereich der industriellen Produktion ab, aber auch bei den Dienstleistungen werden die Veränderungen deutlich spürbar sein. Die deutsche Volkswirtschaft zeichnet sich im internationalen Vergleich mit 26 Prozent durch einen recht hohen Anteil des produzierenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung aus, rund 25 Prozent der Erwerbstätigen sind in diesem Bereich tätig. Den größten Anteil nehmen mit knapp 69 Prozent der Bruttowertschöpfung und fast 74 Prozent der Beschäftigten aber die Dienstleistungen ein (vgl. Abbildung 7).

Intelligente Assistenzsysteme werden überall Einzug halten und zukünftig sowohl den „Werker am Band“ als auch den „Wissensarbeiter“ (zum Beispiel im Investmentbanking oder bei Versicherungen) in seinen Tätigkeiten vielfältig unterstützen. Gleichzeitig besitzen schnell fortschreitende MMI-Querschnittstechnologien wie das Maschinelle Lernen hohes Disruptionspotenzial für den Standort Deutschland

mit seiner spezifischen Wirtschaftsstruktur. Entsprechend müssen sich nach Meinung der Expertinnen und Experten alle Branchen mit den neuen MMI-Technologien intensiv auseinandersetzen, wenn sie die entstehenden Chancen für Wachstum und Beschäftigung nutzen möchten.

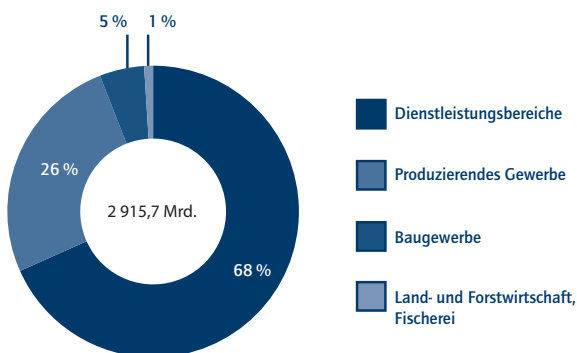
„Keine App, kein Geschäft!“

Nachfolgend werden Angaben zu den Markt- und Wertschöpfungspotenzialen für die drei ausgewählten Bereiche Gesundheit, Mobilität und Produktion präsentiert. Einschränkend muss dazu bemerkt werden, dass sich viele Entwicklungen derzeit noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase befinden und eine entsprechende Kommerzialisierung noch aussteht. Eine Folge hieraus ist, dass die Datenlage teilweise uneinheitlich ist und auf Schätzungen beruht, die mit unterschiedlichen Methoden und für verschiedene Zeiträume berechnet wurden. Abschließend werden Marktpotenziale für Technologien bereichsübergreifend untersucht.

Abbildung 7: Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätige 2014 nach Wirtschaftsbereichen

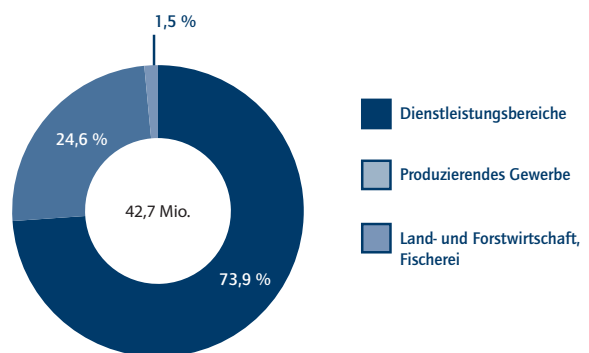
Bruttoinlandsprodukt 2014

Anteil der nominalen Bruttowertschöpfung



Erwerbstätige 2014

Anteil der Beschäftigten



Quelle: Statistisches Bundesamt 2015, eigene Darstellung

4.1 GESUNDHEIT

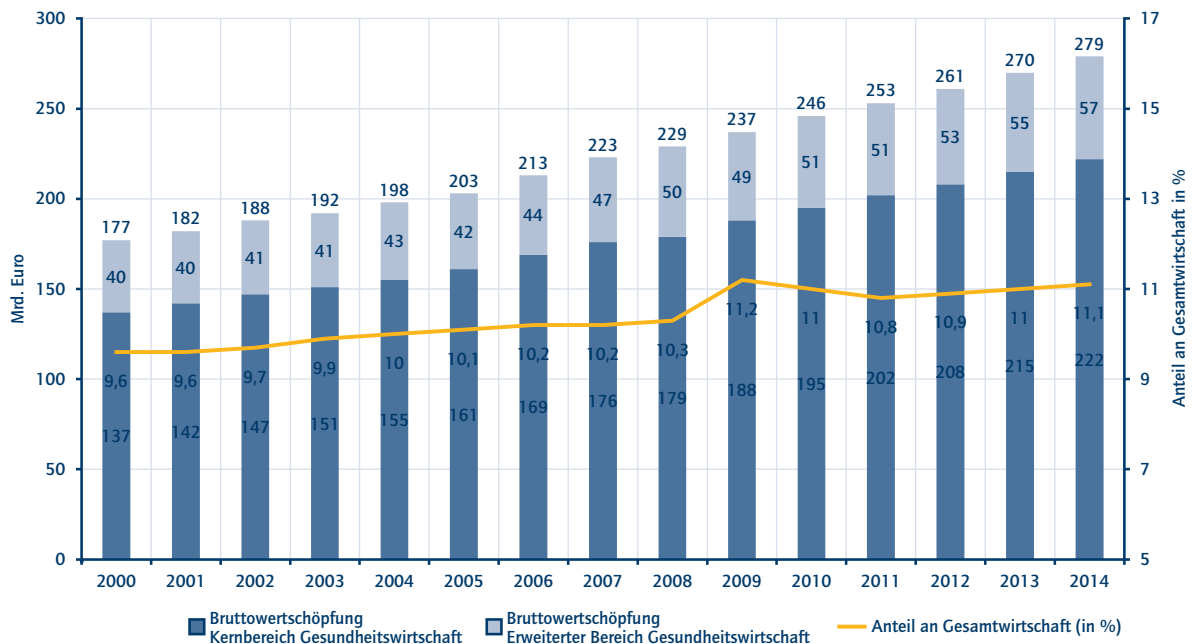
Die Gesundheit bildet einen grundlegenden gesellschaftlichen Wert und ist ein hohes Gut. Volkswirtschaftlich besteht der Nutzen der Gesundheit in vermiedenen krankheitsbedingten Ausfällen und reduzierten Krankheitsausgaben. Der Stellenwert der Gesundheit spiegelt sich in der wachsenden volkswirtschaftlichen Bedeutung der Gesundheitswirtschaft in Deutschland wider. Die Gesundheitswirtschaft wächst stärker als die Gesamtwirtschaft und hat im vergangenen Jahr gut 11 Prozent der deutschen Bruttowertschöpfung generiert (vgl. BMWi 2015b, 9). Etwa 6,2 Millionen Beschäftigte haben 2014 in Deutschland im Gesundheitswesen gearbeitet (14,8 Prozent aller Erwerbstätigen) (vgl. ebd.). Die Bruttowertschöpfung im Gesundheitswesen ist in den letzten Jahren

kontinuierlich gewachsen und betrug nach Schätzungen im Jahr 2014 knapp 280 Milliarden Euro (vgl. Abbildung 8).

Die Nachfrage nach Arbeitskräften im Gesundheitswesen steigt und schon heute attestiert die Bundesagentur für Arbeit einen Fachkräftemangel bei Gesundheits- und Pflegeberufen (vgl. BfA 2013). Schätzungen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2030 die Arbeitskraft von 360.000 Vollzeitäquivalenten fehlen wird (vgl. Burkhart et al. 2012, 21 ff.). Bei dieser Prognose werden jedoch mögliche Wirkungen technologischer Entwicklungen nicht berücksichtigt.

Der globale digitale Gesundheitsmarkt bildet einen Bereich, für den großes Wachstum prognostiziert wird und in

Abbildung 8: Bruttowertschöpfung der Gesundheitswirtschaft 2000-2014



Quelle: BMWi 2015c

dem MMI eine große Rolle spielt. Er bezeichnet die Konvergenz digitaler Technologien (IKT, Datenanalytik) mit herkömmlichen Wertschöpfungsketten im Gesundheitsbereich (vgl. Abbildung 9).

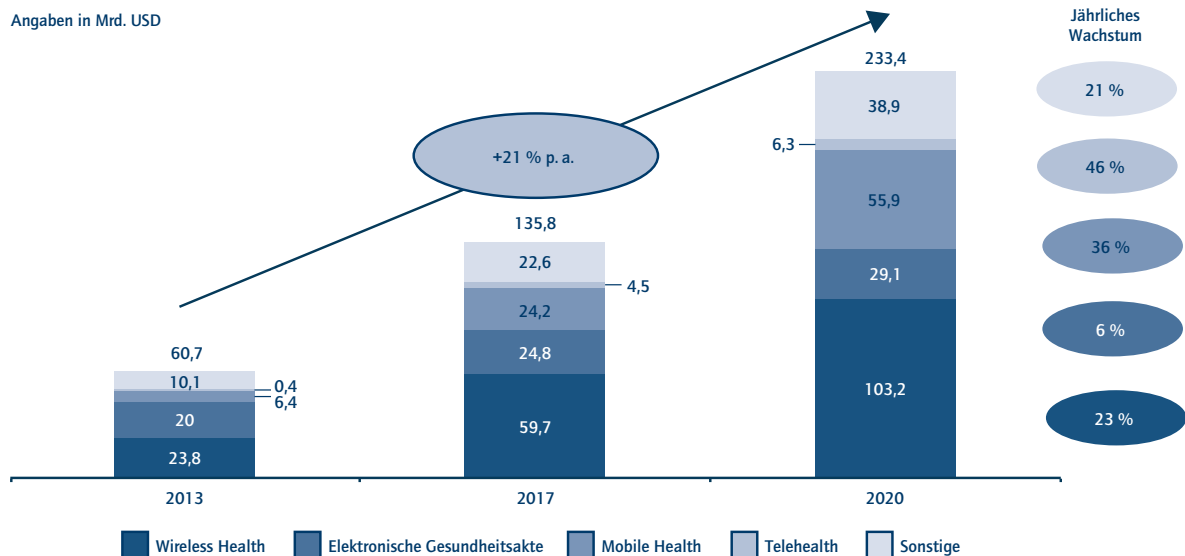
Weltweit wird eine Verdoppelung der Marktgröße von 2013 bis 2017 erwartet, die im Jahr 2020 den Wert von 200 Milliarden USD deutlich überschreiten wird (vgl. ADL 2014, 4). Der Haupttreiber des digitalen Gesundheitsmarktes ist der mobile Health-Bereich, der wiederum Wachstum bei Wireless-Health-Technologien auslöst. Schätzungen zufolge soll der weltweite Markt für mobile E-Health-Angebote bis zum Jahr 2017 ein Umsatzvolumen von 26 Milliarden USD erreichen. Für Europa wird dabei mit Umsätzen von 6,9 Milliarden USD gerechnet (vgl. Deloitte 2014, 9).

Die Zunahme von neuen und zukünftig abrechenbaren Telemedizin-Angeboten sowie vor allem die Einführung einer elektronischen Gesundheitsakte könnten dabei signifikanten Einfluss auf die Marktgröße haben.

Auch wenn die flächendeckende Einführung in Deutschland noch aussteht, sehen Expertinnen und Experten durch elektronische Patientenakten, elektronische Rezepte sowie Telemonitoring-Systeme zusammen mit der elektronischen Gesundheitskarte Einsparpotenziale für das deutsche Gesundheitswesen von jährlich bis zu 9,6 Milliarden Euro (vgl. BITKOM 2012, 25).

Über den engen Gesundheitsbereich hinaus wird dem Bereich tragbarer Geräte wie Fitnessarmbänder, Uhren, Kleidung oder Brillen (sogenannte Wearables) von Expertinnen und Experten

Abbildung 9: Weltweiter digitaler Gesundheitsmarkt 2013–2020



Wireless Health: Netzwerktechnologien (WLAN, Bluetooth, RFID), kabellose Sensoren und mobile Endgeräte; **Mobile Health:** mobile Anwendungen und Dienstleistungen; **Telehealth:** digitales Monitoring Kranker und Pflegebedürftiger; **Sonstige:** beinhaltet Gesundheitsanwendungen aus der Telematik und Informatik sowie weitere Subsegmente

Quelle: ADL 2014, 4

ein sehr großes Marktpotenzial zugesprochen. Während 2014 weltweit 26,4 Millionen Wearables verkauft wurden, werden für 2015 72,1 Millionen und für 2019 155,7 Millionen verkaufte Geräte erwartet (vgl. IDC 2015). Bis 2025 wird ein Marktvolumen von bis zu 70 Milliarden USD prognostiziert (vgl. IDTechEx 2015). Mit großem Abstand die erfolgreichsten Produkte sind in diesem Segment die Fitnessarmbänder.

4.2 MOBILITÄT

Mobilität wird in dieser Studie aus Platzgründen auf den Bereich des automatisierten Fahrens begrenzt. Im Anhang wird zusätzlich der Bereich der Logistik ausgeführt, der für die Mobilität von Gütern und damit für den Standort Deutschland von großer Bedeutung ist.

Im Bereich des automatisierten Fahrens können je nach Automatisierungsgrad mehrere Stufen unterschieden werden. Die Stufen 3-5 vom hochautomatisierten bis zum fahrerlosen Fahren befinden sich gegenwärtig noch im Bereich von Forschung und Entwicklung (vgl. Abbildung 10).

Aktuell gehen Marktanalysen davon aus, dass bis zum Jahr 2017 die ersten Fahrzeuge im Bereich des hochautomatisierten Fahrens (HAF) von deutschen Herstellern auf den Markt gebracht werden. Bis 2020 soll im Oberklassesegment HAF als Sonderausstattung im Angebot sein (vgl. Fraunhofer IAO 2015, 5). Allerdings sind Fahrzeuge der Stufe 5 mit heute üblichen Leistungsmerkmalen auf öffentlichen Straßen nach Experteneinschätzungen nicht vor 2030 als Marktangebot zu erwarten.

Abbildung 10: Stufen des automatisierten Fahrens

Funktion	Stufe 0 Driver only	Stufe 1 Assistiert	Stufe 2 Teilautomatisiert	Stufe 3 Hochautomatisiert	Stufe 4 Vollautomatisiert	Stufe 5 Fahrerlos
	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus. Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv.	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus. System übernimmt die jeweils andere Funktion.	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen. System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*.	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen. System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.	Kein Fahrer im spezifischen Anwendungsfall* erforderlich. System kann im spezifischen Anwendungsfall* alle Situationen automatisch bewältigen.	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich. Das System übernimmt die Fahrer-aufgabe vollumfänglich, auf allen Strassentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.

 Fahrer

 Automatisierungsgrad der Funktion

* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen.

Quelle: acatech 2015, 11

Die derzeitige Marktentwicklung ist fokussiert auf Formen des assistierten Fahrens (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Das globale Marktvolumen für ADAS im Jahr 2014 lag bei 4,38 Milliarden Euro und wird bis 2020 nach Schätzungen auf über 17 Milliarden Euro anwachsen, was einem jährlichen Wachstum von über 25 Prozent entspricht (Fraunhofer IAO 2015, 6).

Deutschland ist in diesem Bereich Innovationsführer und Leitanbieter (vgl. BMVI 2015, 3). Deutsche Zulieferer haben bei ADAS einen Weltmarktanteil in Höhe von 52,5 Prozent und sind insbesondere technologisch führende Anbieter für Radarsensorik und Aktorik. Mit 32,5 Prozent haben auch deutsche Fahrzeughersteller hohe Marktanteile bei ADAS. Im Jahr 2014 betrug die mit ADAS generierte Wertschöpfung in Deutschland 546 Millionen Euro, bis 2020 soll sie für ADAS und HAF übergreifend auf 2,28 Milliarden Euro anwachsen – ein jährliches Wachstum von 22,7 Prozent (Fraunhofer IAO 2015, 6).

„Wenn die deutsche Kfz-Industrie die Zeichen der Zeit nicht erkennt, werden es andere tun.“

Es wird davon ausgegangen, dass der globale Markt für HAF besonders zwischen den Jahren 2020 und 2025 stark anwachsen wird, von 0,3 Millionen Fahrzeugen/Jahr auf über 6 Millionen Fahrzeuge/Jahr (Fraunhofer IAO 2015, 6). Für das Jahr 2025 wird die Wertschöpfung am Standort Deutschland für den gesamten Bereich der Fahrerassistenzsysteme und der hochautomatisierten Fahrfunktionen mit rund 8,4 Milliarden Euro beziffert.

Im internationalen Vergleich sind die USA ein starker Wettbewerber auf der Herstellerseite, während Japan über sehr gute Voraussetzungen mit Blick auf eine Leitmarktrolle verfügt.

4.3 PRODUKTION

Mit der fortschreitenden Digitalisierung als technologischem Treiber kommt es durch die zunehmende Vernetzung von Personen, Dingen und Diensten zu einer bedeutsamen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Transformation, die auch die Mensch-Maschine-Interaktion im Industriebereich grundlegend verändert. Die entstehende Industrie 4.0 eröffnet dabei vielfältige Wertschöpfungspotenziale und Chancen für Beschäftigung (vgl. Forschungsunion/acatech 2013; Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015; BCG 2015a; PwC 2014a; Roland Berger 2015). Expertinnen und Experten beziffern mögliche Wertschöpfungspotenziale bei erfolgreicher Umsetzung der Industrie 4.0 in Deutschland auf 270 Milliarden Euro bis 2025 (vgl. Abbildung 11) (Bauer et al. 2014, 36; vgl. auch BDI 2015, 66).

Betrachtet man die Veränderungen der MMI in der Produktion, so ist mit Blick auf Wachstums- und Wertschöpfungspotenziale insbesondere auf den zunehmenden Einsatz von Robotern einzugehen.

Im Jahr 2015 sind weltweit alleine rund 1,5 Millionen Industrieroboter mit einem Marktwert von 10,7 Milliarden USD im Einsatz (vgl. IFR Statistics 2015, 17). Für das Jahr 2025 wird ein weltweiter Robotikmarkt von knapp 67 Milliarden USD prognostiziert, der neben Industrierobotern auch Serviceroboter umfasst (vgl. Abbildung 12) (vgl. BCG 2014). Der Gesamtmarkt lässt sich dabei in vier Teilsegmente unterteilen: Industrie, Gewerbe, Militär sowie persönliche Dienste, zum Beispiel im Haushalt oder für Sicherheitsdienste.

Industrieroboter in der Produktion sind vor allem mit Blick auf Fertigungsstraßen und Massenproduktion (vor allem in der Automobil- und Elektroindustrie sowie dem Maschinenbau) bekannt. Die größten Märkte bilden China, Japan und die USA, gefolgt von Südkorea und Deutschland. Diese fünf Märkte vereinen über 70 Prozent der weltweiten Verkäufe auf sich. Allerdings nimmt Deutschland zusammen

Abbildung 11: Marktpotenziale der Industrie 4.0

WIRTSCHAFTSBEREICHE	BRUTTOWERTSCHÖPFUNG [MRD. €]		POTENZIAL DURCH INDUSTRIE 4.0	JÄHRLICHE STEIGERUNG	STEIGERUNG [MRD. €]
	2013	2025*	2013-25	2013-25	2013-25
Chemische Industrie	40,08	52,10	+30 %	2,21 %	12,02
Kraftwagen und Kraftwagenteile	74,00	88,80	+20 %	1,53 %	14,80
Maschinen- und Anlagenbau	76,79	99,83	+30 %	2,21 %	23,04
Elektrische Ausrüstung	40,27	52,35	+30 %	2,21 %	12,08
Land- und Forstwirtschaft	18,55	21,33	+15 %	1,17 %	2,78
Informations- und Kommunikationstechnik	93,65	107,70	+15 %	1,17 %	14,05
Potenzial der sechs ausgewählten Bereiche in Summe	343,34	422,11	+23 %	1,74 %	78,77
Beispielhafte Hochrechnung für die Gesamtbruttowertschöpfung in Deutschland	2.326,61	2.593,06**	+11,5%**	1,27%**	267,45**

* Bei den Hochrechnungen für 2025 wurde kein Wirtschaftswachstum berücksichtigt. Es handelt sich um eine reine Relativbetrachtung mit und ohne die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen.

** Gesamtsumme enthält die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen sowie die Hochrechnung der restlichen Branchen unter der Annahme, dass für diese ein Potenzial in Höhe von 50 Prozent des Potenzials für die ausgewählten Branchen gilt.

Quelle: Bauer et al. 2014, 36

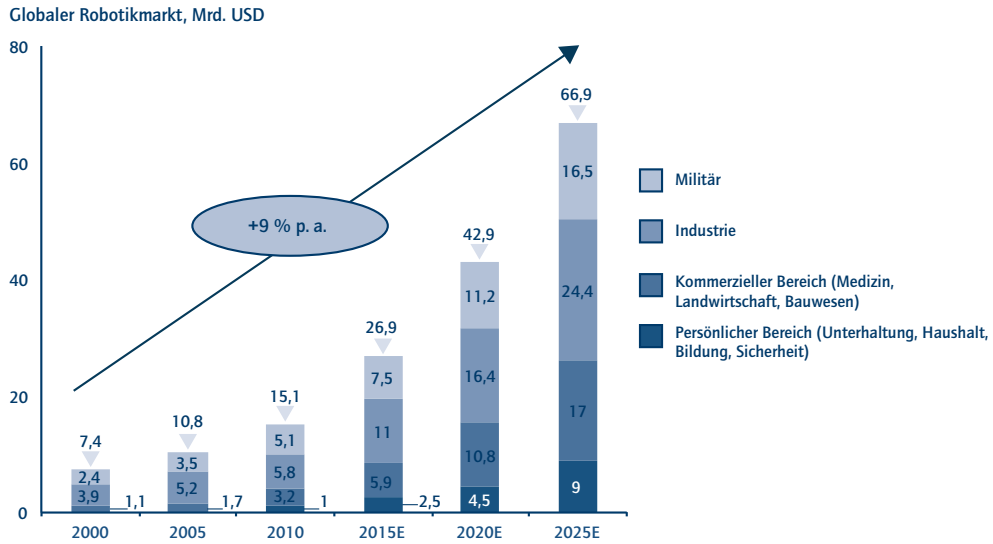
mit Südkorea und Japan einen Spitzenplatz ein, wenn man die Roboteranzahl zur Zahl der Industriearbeitsplätze in Beziehung setzt (vgl. IFR Statistics 2015, 17). Die Nachfrage ist seit dem Jahr 2000 global stetig gestiegen und auch zukünftig werden Industrieroboter eine wichtige Rolle mit hohen Wachstumszahlen einnehmen. Großes Wachstumspotenzial wird allerdings auch Servicerobotern zugeschrieben, die mit deutlich erweiterten Funktionalitäten neue Märkte besetzen können. So wird nach Schätzungen bis 2025 der Teilmarkt persönlicher Roboter im Heimbereich 9 Milliarden USD betragen, der Bereich kommerzieller Anwendungen 17 Milliarden USD und der militärische Bereich 16,5 Milliarden USD (vgl. Abbildung 12).

Es ist davon auszugehen, dass die hohen F&E-Aufwendungen der Automobilindustrie auch weiterhin große Auswirkungen

auf den Robotikmarkt haben werden. Mit der Entwicklung zum zunehmend automatisierten Fahren werden sich auch die Roboterapplikationen verändern. Schätzungen gehen davon aus, dass 10 bis 15 Prozent der weltweit verkauften Roboter im Jahr 2025 autonome Fahrzeuge sein könnten (vgl. McKinsey 2015). Gleichzeitig könnten diese mit bis zu 160 Milliarden Euro für mehr als 80 Prozent der Einnahmen verantwortlich sein (vgl. Abbildung 13). Das bedeutet, dass die größten Wertschöpfungspotenziale der Robotik im Fahrzeugbau vermutet werden.

Für den Produktionsbereich stellen sich Fragen nach den Beschäftigungseffekten durch neue Formen der MMI in besonderer Weise, da sie unmittelbar Auswirkungen auf die Gesellschaft mit sich bringen. Da sich viele Entwicklungen erst andeuten, bleiben belastbare Aussagen hierzu schwierig.

Abbildung 12: Prognostizierte Entwicklung des globalen Robotermarktes bis 2025 (in Milliarden USD)

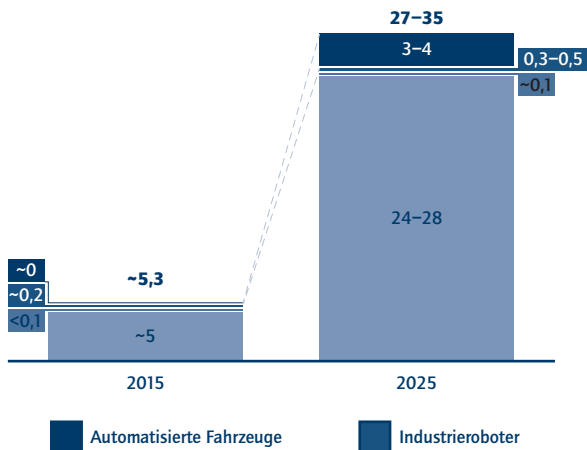


Quelle: BCG 2014

Abbildung 13: Prognostizierte Stückzahl und Wertschöpfung von Robotern

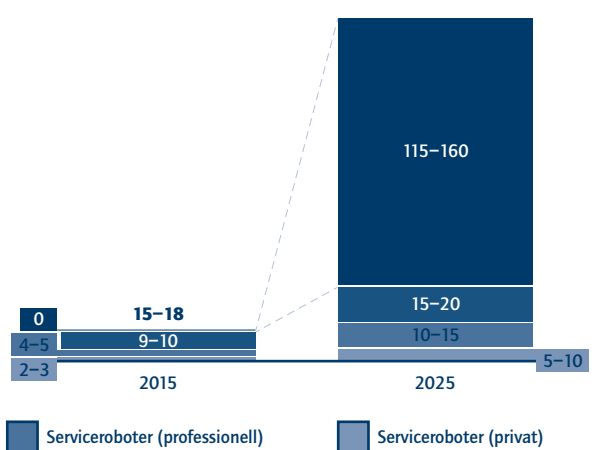
2025 könnten 10–15 Prozent der weltweit verkauften Roboter automatisierte Fahrzeuge sein...

Verkaufte Roboter nach Typ (ohne militärische Anwendungen) in Mio. Stück



... und 80 Prozent der durch Roboter-Applikationen erzeugten Einnahmen ausmachen.

Einnahmen aus der Robotik (ohne militärische Anwendungen) in Mrd. Euro/Jahr



Quelle: McKinsey 2015, eigene Übersetzung

Prognosen beziehen sich thematisch meist breiter auf Effekte der Digitalisierung und digitalen Vernetzung und bleiben uneinheitlich (vgl. etwa kritisch: Frey/Osborne 2013; ING DiBa 2015; konträr dazu: VDMA 2015; BCG 2015a, b). Die mit der Beschäftigung verbundenen Fragen nach Grundsätzen guter Arbeit werden im Kapitel 5 ausführlicher thematisiert.

4.4 TECHNOLOGIEN

Neben der Darstellung von Markt- und Wertschöpfungspotenzialen in bestimmten Anwendungsfeldern können auch dahinterliegende Querschnittstechnologien auf ihre wirtschaftliche Bedeutung hin untersucht werden. In Kapitel 3 wurden die neuen MMI-Technologien in die

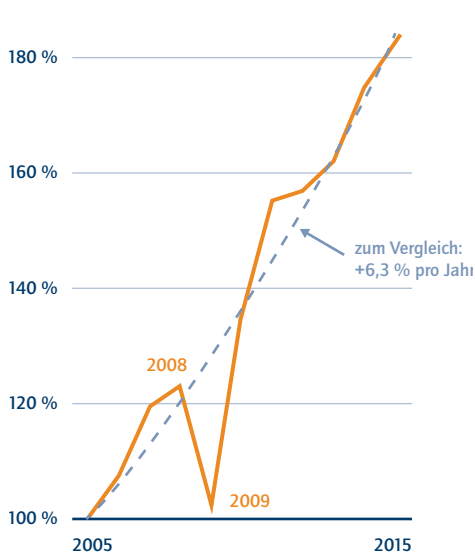
Bereiche Sensorik, Intelligente Systeme und Aktorik unterteilt und forschungsseitig bewertet. Entsprechend wird in diesem Unterkapitel versucht, die damit verbundenen Marktchancen zu ermitteln.

Sensorik

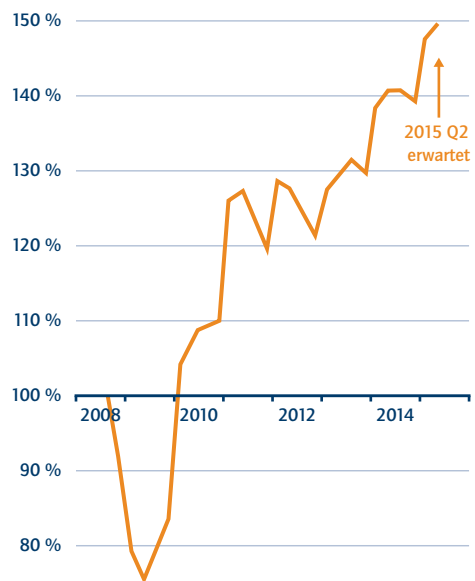
Leistungsstarke Sensoren sind für viele neue Formen der MMI unverzichtbar. Entsprechend steigt die Nachfrage nach Sensortechnologien gegenwärtig stark an. Trotz eines Preisverfalls bei vielen Sensortypen wächst der Markt seit 2009 kontinuierlich (vgl. Abbildung 14). Für das Jahr 2016 wird ein weltweites Marktvolumen von 184,1 Milliarden Euro (Vergleichswert 2011: 119,4 Milliarden Euro, jährliches Wachstum: 9 Prozent) erwartet (vgl. Sensor Magazin 2012, 6).

Abbildung 14: Umsatz Sensorik und Messtechnik

Umsatz Sensorik und Messtechnik
Jahreswerte, Vergleich mit 2005 (Index 100 %)

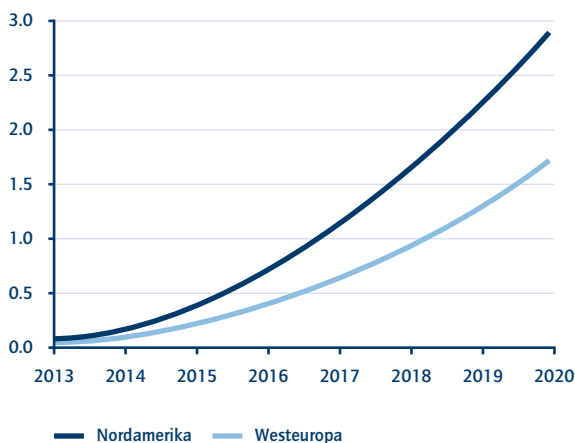


Umsatz Sensorik und Messtechnik
Vergleich mit Quartal 3/2008 (Index 100 %)



Quelle: AMA Verband Sensorik und Messtechnik 2015

Abbildung 15: Augmented-Reality-Markt

Augmented-Reality-Markt, Mrd. EUR

Quelle: Deutsche Bank Research 2015, 15

In den Bereich der Wahrnehmung fallen auch die Technologien, die eine erweiterte Realität ermöglichen (Augmented Reality). Dieser Technologiebereich wächst gegenwärtig sehr stark. Bis zum Jahr 2020 werden nach Schätzungen 350 Millionen Augmented-Reality-Nutzer erwartet, während es heute rund 60 Millionen Nutzer gibt. Der weltweite Marktwert wird von gegenwärtig 500 Millionen Euro auf geschätzte 7,5 Milliarden Euro wachsen, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 72 Prozent entspricht (vgl. für die regionale Entwicklung in Nordamerika und Westeuropa Abbildung 15).

Intelligente Systeme

Smarte Maschinen werden hier in einem spezifischen Kontext verstanden und bezeichnen Technologien, die über bestimmte kognitive Fähigkeiten verfügen, um über Formen Künstlicher Intelligenz und Algorithmen des Maschinellen Lernens mit Menschen interagieren zu können. Unter Smarten Maschinen werden Expertensysteme, intelligente virtuelle Systeme und autonome Roboter verstanden, im Folgenden werden die jeweiligen Teilmärkte getrennt betrachtet.

Expertensysteme sind Systeme, die durch die Zusammenführung breit gestreuten Wissens Expertinnen und Experten dabei unterstützen, komplexe Probleme zu lösen. Ein bekanntes Beispiel stellt das Watson-System von IBM dar, das im Bereich der diagnostischen Medizin eingesetzt wird. Diese Systeme haben mit 56 Prozent gegenwärtig den höchsten Anteil am gesamten Smart-Machines-Markt. Der Marktwert für Expertensysteme betrug 2014 rund 3,5 Milliarden USD und wird mit einem durchschnittlichen Wachstum von 15 Prozent bis 2019 auf über 7 Milliarden USD ansteigen (vgl. Siemens 2014).

Intelligente virtuelle Assistenten umfassen Technologien, die maßgeschneiderte digitale Charaktere erzeugen (zum Beispiel Avatare oder 3D-animierte Personen) und Nutzer aufgrund ihrer Wissensbasis mit vielfältigen Informationen und anderen Servicedienstleistungen unterstützen.

Der Marktwert für intelligente virtuelle Assistenten betrug 2014 etwa 585 Millionen USD und wird nach Schätzungen bis 2019 auf 2,2 Milliarden USD anwachsen, was einer durchschnittlichen Steigerungsrate von 30 Prozent entspricht (vgl. Siemens 2014). Dieser Markt weist damit mittelfristig das höchste Wachstum auf und wird seinen Anteil am gesamten Smart-Machines-Markt von 9 Prozent auf 14 Prozent ausbauen.

Aktorik

Für die Bestandsaufnahme der Marktpotenziale im Bereich der Aktorik kann auf die Aussagen zur Robotik zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 4.3). Autonome Roboter spielen im globalen Markt Smarter Maschinen eine große Rolle und vereinten 2014 mit einem Marktwert von knapp 1,3 Milliarden USD einen Anteil von 20,4 Prozent des gegenwärtigen Gesamtmarktes in Höhe von 6,3 Milliarden USD auf sich. Bis 2019 wird dieser Anteil auf 23,4 Prozent anwachsen und dann rund 3,6 Milliarden USD betragen, während sich der Gesamtmarkt Smarter Maschinen auf 15,3 Milliarden USD ausdehnt (vgl. Siemens 2014).

Internationaler Vergleich

Beim internationalen Vergleich im Bereich Smarter Maschinen werden vor allem Wirtschaftsregionen miteinander verglichen. Hierbei zeigt sich, dass die amerikanischen Regionen gegenwärtig noch dominieren, was sich nach Expertenmeinung in Marktanteilen von circa 40 Prozent ausdrückt. Europa/Nahost/Afrika (EMEA) liegt bei etwa 35 Prozent und der asiatische Raum bei etwa 25 Prozent Marktanteil. Allerdings sind sich die Experten einig, dass sich die Weltmarktanteile stetig nach Asien verschieben. Um die globale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, raten die Experten, insbesondere in Deutschland in der Forschung und Entwicklung verstärkt auf den Einsatz smarter Maschinen zurückzugreifen, besonders im Bereich der Automobilindustrie.

Gesamtbetrachtung der wirtschaftlichen Potenziale und Marktperspektiven im Bereich MMI

Die Analyse der globalen Marktpotenziale nach Anwendungsfeldern und Querschnittstechnologien zeigt in der Zusammenschau, dass MMI kein Nischenthema ist, sondern große Potenziale für die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands bereithält (vgl. Abbildung 16).

In Kapitel 3 wurde deutlich, dass der deutsche Forschungsstandort in wesentlichen Technologiebereichen neuer Formen der MMI gut aufgestellt ist und prinzipiell über alle Komponenten und Fähigkeiten verfügt, um die weitere Entwicklung entscheidend mitzuprägen.

In diesem Kapitel wurde dargelegt, dass mit den zunehmenden Fortschritten in der Forschung immer weitere Produkte

und neue Märkte im Bereich MMI entstehen. Die weltweite Entwicklung ist von hoher Innovationsdynamik geprägt und die Marktperspektiven für die kommenden zehn Jahre werden von Expertinnen und Experten als hervorragend eingeschätzt, zum Beispiel mit jährlichen Wachstumsraten zwischen zehn und dreißig Prozent im Markt Smarter Maschinen.

Allerdings wird auch deutlich, dass die internationale Wissenschafts- und Unternehmenslandschaft durch starken Wettbewerb gekennzeichnet ist. Um die wirtschaftlichen Potenziale zu heben, ist es deshalb zum einen notwendig, auf bestehenden Stärken in Schlüsselindustrien aufzubauen und diese gezielt weiterzuentwickeln. Zum anderen wird in der Betrachtung der globalen Marktzahlen und Experteninterviews deutlich, dass das Spiel um die Besetzung der Märkte in vielen Feldern noch offen ist, gleichzeitig aber nach schnellen, innovativen Lösungen verlangt. Darüber hinaus weisen einige Expertinnen und Experten darauf hin, dass Deutschland bei den Themen Gebrauchstauglichkeit und Nutzererlebnis noch Nachholbedarf habe.

Die Schaffung von speziellen Experimentiermöglichkeiten für Wissenschaft und Unternehmen, um neue Produkte und Verfahren vorwettbewerblich auszuprobieren und sich gezielt zu vernetzen, wird von vielen befragten Expertinnen und Experten befürwortet. Dies wird als ein Weg gesehen, um die in Deutschland vielfach beklagte Schwäche der unzureichenden Übersetzung guter Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung in erfolgreiche Innovationen zu beheben und die hervorragenden globalen Marktperspektiven für den Standort Deutschland zu nutzen.

Abbildung 16: Zusammenfassung Entwicklungstrends der globalen Marktvolumina⁶

		ZEITPUNKT 1	ZEITPUNKT 2	WACHSTUM P.A.
GESUNDHEIT	Digitaler Gesundheitsmarkt	60,7 Mrd. USD/2013	233,4 Mrd. USD/2020	21,20 %
	Wireless Health	23,8 Mrd. USD/2013	103,2 Mrd. USD/2020	23,30 %
	Mobile Health	6,4 Mrd. USD/2013	55,9 Mrd. USD/2020	36,30 %
MOBILITÄT	Assistiertes Fahren (ADAS)	4,38 Mrd. EUR/2014	>17 Mrd. EUR/2020	25,40 %
	Hochautomatisiertes Fahren (HAF)		8,4 Mrd. EUR/2025	
PRODUKTION	Roboter	26,9 Mrd. USD/2015	67 Mrd. USD/2025	9,60 %
	Industrieroboter	11 Mrd. USD/2015	24,4 Mrd. USD/2025	8,30 %
	Serviceroboter	8,4 Mrd. USD/2015	26 Mrd. USD/2025	12,00 %
TECHNOLOGIEN	Sensoren	119,4 Mrd. EUR/2011	184,1 Mrd. EUR/2016	9,00 %
	Augmented Reality	0,5 Mrd. EUR/2015	7,5 Mrd. EUR/2020	71,90 %
	Expertensysteme	3,5 Mrd. USD/2014	7,1 Mrd. USD/2019	15,00 %
	Virtuelle Assistenten	0,59 Mrd. USD/2014	2,2 Mrd. USD/2019	30,00 %
	Autonome Roboter	1,3 Mrd. USD/2014	3,6 Mrd. USD/2019	23,00 %

Quelle: Eigene Darstellung

⁶ Von der Umrechnung auf eine einheitliche Währung wurde abgesehen, da die zitierten Studien zu verschiedenen Zeitpunkten veröffentlicht wurden. Da sie zudem verschiedene Zeiträume betrachten, hätte kein einheitlicher Wechselkurs zugrunde gelegt werden können.

5 SOZIALE, ETHISCHE UND RECHTLICHE ASPEKTE

Es wäre ein großes Missverständnis, die Umsetzung einer positiven Vision der zukünftigen Interaktion von Mensch und Maschine nur als technisches oder wirtschaftliches Problem zu fassen. Im Zentrum der Überlegungen steht der Mensch mit seinen Wünschen und Bedürfnissen, auf die eine gute Ausgestaltung der MMI bestmöglich eingehen muss. Neue technologische Möglichkeiten und Geschäftsmodelle sind aber auch mit berechtigten Ängsten und Vorbehalten verbunden und es ist zu hinterfragen, ob sie individuell und gesellschaftlich wünschenswert sind.

Die MMI stellt damit selbst eine gesellschaftliche Herausforderung dar, deren positive Bewältigung einen Gewinn an Lebensqualität und Wertschöpfung gleichermaßen verspricht. Das fünfte Kapitel folgt daher dem ELSI-Ansatz (Ethical, Legal, Social Implications), der die engen Querbezüge zwischen technischen Fragestellungen und gesellschaftlichen Aspekten in den Fokus rückt. Letztere werden dabei nicht als ausschließlich die Entwicklung und den Einsatz der MMI limitierend betrachtet, sondern als Schlüssel zu ihrer positiven und begeisternden Ausgestaltung und Akzeptanz sowie zu sozialer Innovation.

5.1 AKZEPTANZ

Jenseits von Fragen des Fortschritts in der Entwicklung von grundlegenden Technologien und ihrer Umsetzung in marktreife Produkte ist die gesellschaftliche Akzeptanz der MMI für ihren langfristigen Erfolg entscheidend. Die Akzeptanz aufseiten der Bevölkerung, Nutzer und Beschäftigten kann nicht von außen erzeugt oder gar erzwungen werden, sondern muss sich allmählich einstellen (vgl. Grunwald 2015, 681).

Aufklärung, Kommunikation und Partizipation

Die befragten Expertinnen und Experten identifizieren eine nachhaltige Bildungs-, Aufklärungs- und Informationsarbeit als wichtigsten Faktor, der durch die Proponenten der neuen Technologie selbst geleistet werden kann. Gerade wenn

Nutzer und Kunden durch neue Anwendungen auch Risiken tragen sollen, gilt es, diese einerseits klar zu benennen, andererseits den Nutzen deutlich herauszustellen und Fragen der Verteilungsgerechtigkeit zu adressieren (vgl. Altman 2015). In vielen Bereichen der MMI fehlen bislang Erkenntnisse zum tatsächlichen Nutzen, aber auch zu den Kosten und Risiken der Langzeitanwendung. Hier besteht ein großer Forschungsbedarf in den Bereichen der Technikfolgenabschätzung, Soziologie und Psychologie wie auch zu kulturellen Aspekten. Ängste und Vorbehalte der Bevölkerung und der intendierten Anwender müssen ernst genommen werden. Eine autoritäre Zurückweisung von Einwänden als wissenschaftlich unhaltbar baut der Erfahrung nach Widerstände auf statt ab (vgl. Grunwald 2015, 681).

In beruflichen Kontexten ist es zudem notwendig, betriebliche Expertinnen und Experten und Betriebsräte im Sinne einer partizipativen Technikgestaltung in die Einführung innovativer MMI-Anwendungen miteinzubeziehen, da die einzelnen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer hier im Gegensatz zum Privatbereich nicht individuell über die Nutzung oder Nichtnutzung entscheiden können. Eine proaktive Berücksichtigung der Erwartungen der Beschäftigten und der betrieblichen Interessenvertretungen an die Ausgestaltung guter Arbeit hilft, Akzeptanzprobleme frühzeitig zu adressieren.

Öffentliche Wahrnehmung

Die Akzeptanz technologischer Innovationen ist nicht direkt an die durch sie ausgelöste Schadenshöhe oder -frequenz gekoppelt, sondern auch an die gesellschaftliche Wahrnehmung und Verarbeitung des Schadensfalls (vgl. Grunwald 2015, 679). Expertinnen und Experten warnen vor der Möglichkeit der „Vergiftung“ von Anwendungsbereichen der MMI durch einen spektakulären und medienwirksamen Unfall (vgl. Amos/Müller 2013, 46). Der Elchtest ist hier paradigmatisch das Beispiel: Das Versagen der Technik führte auch ohne Schädigung von Personen zu einem empfindlichen Vertrauens- und Imageverlust.

Überzogene Erwartungen des Publikums, schlechte Kommunikation und ungünstige Zeitpunkte werden von den Expertinnen und Experten als begünstigende Faktoren für eine überproportionale Negativwirkung identifiziert. Es gilt daher für die Politik, Forschung und Unternehmen, die Öffentlichkeit auf die Möglichkeit von Schäden durch neuartige MMI-Anwendungen proaktiv vorzubereiten (vgl. Lin 2015, 82).

Nutzerzentriertes und begeisterndes Design

Neben der argumentativen Ebene und der öffentlichen Debatte ist ein positives oder sogar begeisterndes Nutzungserlebnis entscheidend für die Akzeptanz neuer Formen der MMI. So berichten die befragten Expertinnen und Experten beispielsweise warnend von Erfahrungen mit der Ablehnung von Prothesen oder der Angst vor therapeutischen Maschinen, die Nutzer durch ihre Lautstärke, farbliche Gestaltung

und klobige Form abschrecken. Ebenso entscheidend ist, dass Anwendungen barrierefrei für Menschen mit motorischen, sensorischen oder kognitiven Einschränkungen gestaltet werden, anstatt neue Hürden für sie zu errichten (vgl. Harris 2015).

„Man muss die Geräte bedienen können, ohne zuvor eine Bedienungsanleitung gelesen zu haben.“

Befragungen von potenziellen Nutzern sind oft nur eingeschränkt aussagekräftig, da die meisten Menschen bislang noch keine oder nur sehr begrenzte Primärerfahrungen mit den neuesten Formen der MMI gemacht haben. Als Orte des ersten Kontakts mit neuen Technologien und ihres spielerischen Erkundens sind dabei einerseits der

Kasten 2: Transhumanismus und Enhancement

Der Transhumanismus will Technologien nicht nur kompensatorisch nutzen, sondern im Sinne eines Enhancements (vgl. Battaglia/Carnevale 2014, V) die Fähigkeiten des Menschen über seine natürlichen Grenzen hinaus steigern und Grundkonstanten der menschlichen Existenz wie das Altern, Krankheit und letztendlich den Tod überwinden (vgl. Bostrom 2008). Die heterogene Bewegung hat viele Unterstützer im Silicon Valley, darunter hochrangige Vertreterinnen und Vertreter wie Ray Kurzweil, Googles Director of Engineering. Transhumanistische Gesellschaften und Parteien gibt es weltweit (vgl. Benedikter 2015) und auch in Deutschland (vgl. Wagner 2015), wobei ihre Strömungen das gesamte politische Spektrum abdecken.

Selbst seine Kritikerinnen und Kritiker erkennen an, dass der wirtschaftsliberale und libertäre Transhumanismus des Silicon Valley ein technologiefreundliches Klima schafft. Neben einem von ihnen nicht geteilten Menschenbild sehen sie in ihm allerdings auch die Gefahr, dass übersteigerte

Erwartungen an die Lösung gesellschaftlicher Probleme durch Technologie an sich geweckt werden, demokratische Verfahren durch eine Kultur der Machbarkeit überformt werden und so ausgewogene Debatten über ethische und soziale Herausforderungen neuer Technologien verhindert werden. Darüber hinaus weisen sie darauf hin, dass eine unreflektierte Verbreitung des Human Enhancements neben unintendierten gesundheitlichen Konsequenzen möglicherweise auch einen sozialen Druck in Richtung seiner Nutzung erzeugen könnte. Ebenfalls könnten unterschiedliche Zugangsmöglichkeiten soziale Ungleichheiten verstärken (vgl. Swindells 2014).

Allerdings besteht in allen Debatten eine Grundproblematik darin, dass sich in vielen Fällen keine eindeutige Abgrenzung von Kompensation und Enhancement vornehmen lässt (vgl. Battaglia/Carnevale 2014, VII; Mukerji/Nida-Rümelin 2014, 20 ff.), wie beispielsweise an der Frage nach dem Umgang mit prothesentragenden Athleten im Profisport sichtbar wird.

Unterhaltungssektor, andererseits Lifestyle-Anwendungen (zum Beispiel Fitnessarmbänder) hervorzuheben. Ihre Bedeutung für die grundsätzliche Akzeptanz und Verbreitung der aktiven Nutzung innovativer Formen der MMI ist nicht zu unterschätzen.

Der Siegeszug von Smartphones, des App-Konzepts oder auch von Staubsaugerrobotern zeigt, welche Bedeutung Design, Nutzerfreundlichkeit und vor allem die unmittelbare Erfahrung der Nützlichkeit und Sicherheit für die Akzeptanz und damit Markttauglichkeit eines Produkts oder einer Anwendung haben (vgl. Amos/Müller 2013, 47; für das automatisierte Fahren: Woisetschläger 2015, 727). Gerade im Bereich der Usability bestehen aber nach Einschätzung der befragten Expertinnen und Experten in Deutschland noch Defizite, die eine Gefahr für den Wirtschaftsstandort darstellen und die es zu beheben gilt. Mit diesem Ziel unterstützt beispielsweise die BMWi-Förderinitiative *Einfach intuitiv – Usability für den Mittelstand* Verbundvorhaben von Wissenschaft und Praxis, die gerade für KMU und das Handwerk die Nutzerfreundlichkeit von betrieblichen Anwendungen verbessern und alle Akteure am Markt für das Thema Usability sensibilisieren.

Inklusion

Die Förderung von Teilhabe und Inklusion durch MMI wird von der deutschen Gesellschaft für Informatik als eine der großen Herausforderungen des Fachs hervorgehoben. Die angemessene Berücksichtigung der gesellschaftlichen Vielfalt und der damit einhergehenden Unterschiedlichkeit von Bedürfnissen, Wünschen und Sichtweisen, zum Beispiel von jüngeren oder älteren Menschen oder auch von Frauen und Männern, ist der MMI-Forschung und -Entwicklung daher nicht nachgelagert, sondern ein integraler Teil davon. Dies gerade auch, weil entsprechende Defizite in der Phase der Produktentwicklung häufig nicht mehr beseitigt werden können.

Vor diesem Hintergrund der entscheidenden Bedeutung des Benutzererlebnisses und der Nutzerorientierung (Usability) sprechen sich die befragten Expertinnen und

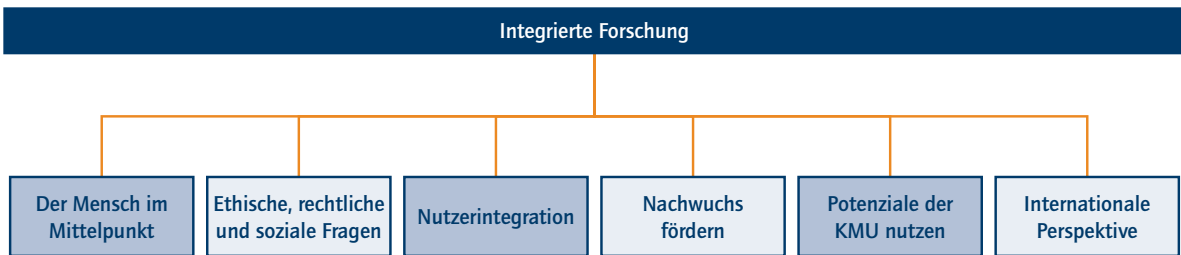
Experten deutlich für die frühe Einbeziehung von Nutzern und anderen Stakeholdern (vgl. RoboLaw 2014, 207) im Value Sensitive Design aus (vgl. Royakkers/van Est 2015). Vor dem Hintergrund positiver Erfahrungen der befragten Expertinnen und Experten mit lokalen Initiativen bietet es sich zudem an, die Möglichkeit der Konsultation einer Ethikkommission nach medizinischem oder psychologischem Vorbild für Anwendungsbereiche wie zum Beispiel den Einsatz von MMI-Anwendungen bei der Betreuung und Pflege von an Demenz erkrankten Menschen zu etablieren.

Integrierte Forschung

Die Berücksichtigung ethischer und sozialer Aspekte ist umso mehr von Bedeutung, wenn MMI-Lösungen in sensiblen Bereichen wie der Pflege und allgemein im Umgang mit hilfsbedürftigen Personen eingesetzt werden sollen (vgl. Danish Council of Ethics 2010). Ein strukturiertes Instrument zur Auseinandersetzung mit den ethischen Aspekten bei MMI-Lösungen stellt beispielsweise das vom BMBF geförderte Modell *MEESTAR (Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements)*; vgl. Manzeschke et al. 2013) dar, das konkrete Anwendungen aus den ethisch relevanten Perspektiven bewertbar macht. Darüber hinaus soll es die ethische Sensibilisierung der an Forschungs- und Entwicklungsprojekten beteiligten Akteure fördern. Die Berücksichtigung ethischer Implikationen wird im Rahmen dieses Modells somit nicht als Hürde, sondern als ein Schlüssel zur Entwicklung erfolgreicher und von den Nutzern akzeptierter Anwendungen aufgefasst.

Allgemein zielt der Ansatz einer integrierten Forschung (vgl. BMBF 2015a) darauf ab, ethische, soziale und rechtliche Aspekte gleichrangig zu wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Herausforderungen in den Blick zu nehmen (vgl. Abbildung 17). MMI-Anwendungen sind damit nicht nur als technische Artefakte zu behandeln, sondern als Materialisierung von Wertvorstellungen und kulturellen Prägungen in Produkten und Geschäftsmodellen (vgl. RoboLaw 2014, 207) zu verstehen.

Abbildung 17: Ansatz der integrierten Forschung



Quelle: BMBF 2015a, 20

Dual Use

Die Frage nach dem ethischen Einsatz von Robotern und Intelligenten Systemen wurde bereits von Isaac Asimovs Robotergesetzen thematisiert und rückte jüngst durch die von Stuart Russell initiierte und unter anderem von Elon Musk und Stephen Hawking unterstützte Warnung vor autonom entscheidenden Waffensystemen (vgl. Future of Life Institute 2015b) in die öffentliche Aufmerksamkeit.

Bei MMI-Anwendungen ist festzuhalten, dass zivile Produkte und Anwendungen für den militärischen Einsatz umrüstbar sind oder mit Schadens- oder Sabotageabsicht angegriffen werden können (vgl. Royakkers/van Est 2015). Spiegelbildlich gibt es zivile Nutzungsweisen von Technologien, die ursprünglich für den wehrtechnischen Bereich entwickelt wurden. Dies betrifft nicht nur physische Systeme wie zum Beispiel Drohnen, sondern auch intelligente Softwaresysteme. Die befragten Expertinnen und Experten regen an, diesen Aspekt der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten gerade hinsichtlich des Exports von MMI-Technologien zu berücksichtigen.

Die Dual-Use-Problematik betrifft aber nicht erst den Einsatz der Technologien, sondern auch internationale Kooperationen in der Forschung und Entwicklung. Da zum Beispiel Förderprogramme der DARPA (US Defense Advanced Research Projects Agency) oft militärische Anforderungen enthalten, ergeben sich hier Probleme für deutsche Forscher

an Einrichtungen mit Zivilklauseln, selbst wenn das konkrete Projekt keinen militärischen Bezug hat. Hinsichtlich der Dual-Use-Fragen sind daher sowohl eine Sensibilisierung der Forschenden (Awareness Building) als auch auf konkrete entwickelte Technologien anwendbare Ausfuhr- und Verwendungsregeln anzuregen.

Gute Ausgangsbedingungen für die Akzeptanz innovativer MMI

Im Vergleich zu früheren kontroversen Technologien schätzen die befragten Expertinnen und Experten insgesamt die Chancen einer Akzeptanz neuer Formen der MMI in der deutschen Bevölkerung als hoch ein, da diese einen unmittelbaren Nutzen für die Verbraucher versprechen, die Anwendungen für breite Schichten der Bevölkerung verfügbar sein werden, bislang keine Skandale oder Katastrophen eingetreten sind und sich in der öffentlichen Debatte auch bei kritischen Aspekten bislang keine Fronten verhärtet haben.

5.2 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN, STANDARDISIERUNG UND INFORMELLE ERWARTUNGEN

Werden in Zukunft durch MMI-Anwendungen viele Verletzungen und Todesfälle vermeidbar sein, so ist es ebenso wahrscheinlich, dass einige Menschen durch sie zu Schaden kommen werden. In der wissenschaftlichen Literatur

werden in diesem Zusammenhang auch ethische und rechtliche Implikationen von Szenarien diskutiert, in denen sich eine (teil-)autonome Maschine zwischen der Schädigung zweier Personen oder Personengruppen entscheiden muss, zum Beispiel zwischen den eigenen Insassen und anderen Verkehrsbeteiligten oder zwischen mehreren anderen Verkehrsbeteiligten (vgl. Lin 2015). Durch die schnellere Reaktionszeit von MMI-Anwendungen werden mehr Schadensfälle prinzipiell vermeidbar, was einerseits Fragen nach der Legitimität und gegebenenfalls sogar der Legalität des Verzichts auf MMI-Lösungen, andererseits der Einschränkung menschlicher Handlungsoptionen nach sich ziehen kann (vgl. Spindler 2014, 79 f.).

Fragen des richtigen Verhaltens werden damit perspektivisch relevant für die Gestaltung autonomer Systeme, sind es aber heute schon bei der Ausgestaltung von Assistenz- und Expertensystemen. Die akademische Ethik kann keine allgemein verbindliche Antwort hinsichtlich der richtigen Entscheidung in solchen und ähnlich gelagerten Dilemmata geben, sie kann lediglich verschiedene ethische Entscheidungsmodelle zur Debatte stellen (vgl. Deng 2015). Für die Akzeptanz der MMI ist es in den Augen der befragten Expertinnen und Experten entscheidend, dass schon vor dem konkreten Schadensfall eine Debatte über die zugrunde gelegten Entscheidungsprinzipien geführt wird, da hier ein gesellschaftlicher Konsens nicht vorausgesetzt werden kann (vgl. Gasser 2015, 558).

Haftung und Schadensregulierung

Im Schadensfall müssen Haftungsfragen eindeutig und für alle Beteiligten verständlich geklärt sein (vgl. Winkle 2015, 632). Prinzipiell kommen hier unter anderem der Nutzer, der Hersteller oder auch der Bereitsteller des Systems infrage (vgl. zu automatisierten Fahrzeugen: Gasser 2015, 567 ff.). Die auftretenden Problemkonstellationen sind nicht völlig neu und sind nach Meinung der Expertinnen und Experten noch weitgehend in der gegenwärtigen Rechtsordnung abbildbar (vgl. Hanisch 2014), ihre Grenzen

werden mit zunehmender Interdependenz und Autonomie der Systeme jedoch bald erreicht sein.

„Es braucht beides: begeisternde Produkte und Sicherheit.“

Zur Schadensregulierung reichen die Vorschläge von Pflichtversicherungen über Anreize für den privaten Versicherungsmarkt oder die zeitliche Beschränkung der Haftung im Sinne eines Lebenszyklusansatzes, der mit erzwungener Stilllegung oder Nachrüstung der MMI-Anwendungen endet (vgl. Smith 2015), bis hin zur Rechtskonstruktion eines Personenstatus für autonome Systeme (vgl. Beck 2013; Gruber 2013; RoboLaw 2014, 206), an die dann Forderungen gerichtet werden können.

Eine besondere Problemkonstellation sind Schadensfälle neuer Art, die sich nicht auf einen einzelnen Anwender oder ein einzelnes System zurückführen lassen, sondern aus dem Zusammenspiel mehrerer Agenten – oft auch unterschiedlicher Hersteller und Auftraggeber – entstehen (vgl. Kirn/Müller-Hengstenberg 2014). In einem abstrakteren Kontext ist hier nach der Entwicklung von angemessenen Konzepten der Verantwortung zu fragen, zum Beispiel der Idee einer Systemverantwortung.

Einige befragte Expertinnen und Experten raten, die Regulation nach Anwendungsgebieten zu differenzieren und in Bezug auf die Reichweite der Produkthaftung zu bedenken, dass die Verbreitung gesellschaftlich erwünschter MMI-Lösungen unter Umständen an unkalkulierbaren Haftungsrisiken scheitern könnte (vgl. RoboLaw 2014, 211). Im Bereich medizinischer Prothesen und Implantate hängt nach Experteneinschätzung die Innovationsbereitschaft beispielsweise von der Eingruppierung in Gefährdungsklassen ab, da eine zu hohe Einstufung hier prohibitive Entwicklungs- und Zulassungskosten für die meist mittelständischen Hersteller bedeutet.

Normung/Standardisierung

Die befragten Expertinnen und Experten stimmen darin überein, dass jetzt der entscheidende Zeitpunkt für die Standardisierung und Normierung der MMI-Anwendungen ist, denn entscheidende Technologien sind gegenwärtig nicht mehr im Anfangsstadium der Entwicklung, aber auch noch nicht fest etabliert. Die Umsetzung von MMI-Leitbildern in Normen und Standards ist damit in den nächsten Jahren eine drängende Aufgabe, die über die zukünftige Ausrichtung der Anwendungsfelder entscheiden wird (vgl. RoboLaw 2014, 10 ff., 203).

Als ein Beispiel kann hier die bislang fehlende Interoperabilität und unsichere Zukunftstauglichkeit von Geräten verschiedener Anbieter in den Bereichen Smart Home und AAL angeführt werden, mit entsprechenden negativen Effekten auf die Investitionsbereitschaft potenzieller Nutzer oder Anbieter von Wohnraum. Ähnliches gilt für den industriellen Anwendungsbereich, in dem gerade auch die Rückwärtskompatibilität zu bestehenden Maschinenparks ein weiteres wichtiges Kriterium für Investitionsentscheidungen ist. Normierung und Standardisierung werden von den befragten Expertinnen und Experten deshalb nicht als Hindernis für die Entwicklung verstanden („Regulieren statt verhindern“), sondern als Möglichkeit der positiven Unterstützung ihrer Anstrengungen (vgl. RoboLaw 2014, 11).

Ein Engagement deutscher und europäischer Firmen in internationalen Normierungsgremien wird von den Expertinnen und Experten dabei dringend angeraten, da neben der Festbeschreibung kultureller Leitbilder über die Normierung – zum Beispiel in den Bereichen Datenschutz und Barrierefreiheit – auch Marktmacht im internationalen Wettbewerbsfeld erzeugt wird, gerade dann, wenn die Normierung einer Technologie auf ein anderes Anwendungsfeld durchschlägt, wie zum Beispiel Exoskelette auf die Prothetik. Die Befragten sprechen sich für ein konzertiertes Vorgehen und eine Honorierung des Engagements in Standardisierungsgremien durch die Politik aus.

Umgang mit informellen Regeln

Neben der Einhaltung von rechtlichen und regulatorischen Vorgaben stehen Entwickler von MMI-Anwendungen vor der Herausforderung, auch diejenigen Aspekte des menschlichen Zusammenlebens adäquat zu berücksichtigen, die nur informell durch Kulturmuster geregelt sind (vgl. für den Straßenverkehr: Färber 2015, 128 f., 139 ff.). Die Herausforderung besteht sowohl darin, die Anpassung ausländischer MMI an deutsche Muster sicherzustellen als auch die Anforderungen und Bedürfnisse der Märkte in unterschiedlichen Kulturkreisen zu berücksichtigen.

Neben dieser für den wirtschaftlichen Erfolg wichtigen Frage stellt sich im Umgang mit informellen Regeln aber auch eine Herausforderung für den Gesetzgeber: Wie ist regulatorisch mit Fällen umzugehen, in denen eine strikte Regelbefolgung durch (teil-)autonome Agenten unerwünschte Effekte hätte? Der Straßenverkehr ist hier das beste Beispiel, da dort der reibungslose Ablauf und gelegentlich sogar die Sicherheit davon abhängen, die Regeln der Straßenverkehrsordnung nicht als absolut zu behandeln (vgl. Gasser 2015, 564 f.; Gerdes/Thornton 2015, 97 ff.; Lin 2015, 81).

5.3 DATENNUTZUNG UND DATENSCHUTZ

MMI-Lösungen beruhen zu einem großen Teil auf der Sammlung und Vernetzung von Daten, um ihren Nutzen zu erbringen. Durch ubiquitäre Sensorik und Aktorik sowie durch die Verarbeitung großer Datenmengen in Echtzeit entstehen somit in vielen Bereichen des Lebens neue Möglichkeiten, flexibel und maßgeschneidert Verhaltensanreize zu setzen.

Gleichzeitig erzeugen sie Sicherheitsprobleme (vgl. Kapitel 3.4 zu technischen Sicherheitsaspekten) und ermöglichen Geschäftsmodelle, welche die Privatsphäre der Nutzer berühren und mit denen so auch die Gefahr der Verletzung der Privatsphäre einhergeht. Telematik-Tarife von Kfz-Versicherungen, wie beispielsweise von der HUK-Coburg angeboten

und von der Allianz angekündigt (vgl. Reiche 2015), stellen hier erste Beispiele solcher Geschäftsmodelle dar. Krankenkassen setzen Anreize für die Nutzung von Wearables aus dem Fitnessbereich (vgl. Littmann 2015). Für allgemeine Public-Health-Initiativen ist dies ebenfalls bereits Realität (vgl. Pogue 2013). Die Bundesbeauftragte für Datenschutz Andrea Voßhoff appellierte in diesem Zusammenhang an die Versicherten, nicht unbedacht mit ihren Gesundheitsdaten umzugehen (vgl. BfDI 2015). Kurzfristige finanzielle Vorteile, die mit der Offenlegung der Daten verbunden sind, sollten gegen die langfristigen Gefahren abgewogen werden.

„Unternehmen müssen sich als vertrauenswürdig, authentisch und partnerschaftlich erweisen.“

Das große Interesse unterschiedlichster Akteure an personenbezogenen Daten und gerade auch an Gesundheitsdaten wirft so ein Schlaglicht auf grundsätzliche Fragen nach den Grenzen der Erhebung, Weitergabe und Verwendung von Daten. Bei der Beantwortung dieser Fragen gilt es, nicht nur die Nutzer selbst, sondern alle potenziell betroffenen Stakeholder zu berücksichtigen – die negativen Reaktionen des Umfelds auf die Nutzer von Google Glass dienen hier als Warnung vor einer zu eng gefassten Betrachtung (vgl. Huber 2014). Der Einsatz der durch neue MMI-Anwendungen eröffneten Möglichkeiten für Nudging als Form staatlicher Intervention (vgl. Thaler/Sunstein 2008), aber auch der Gamification als unternehmerischer Strategie (vgl. Hamari/Koivisto 2013) wird hinsichtlich des sich darin ausdrückenden Bürger- beziehungsweise Menschenbildes sowie der Tendenz zur intransparenten Beeinflussung kritisch betrachtet (vgl. Gigerenzer 2015; Helbing 2015).

Zum Schutz von persönlichen Daten, aber auch zur Ermöglichung innovativer Geschäftsmodelle ist daher ein verbindlicher Rahmen notwendig, der festlegt, wie Unternehmen, Anbieter, aber auch Behörden Daten – zum Beispiel

Nutzerprofile – sicher und vor Missbrauch geschützt für einander auf Serviceplattformen zugänglich machen dürfen. Dies gilt ebenso für Fragen des Beschäftigtendatenschutzes, die durch den Einsatz von MMI-Anwendungen entstehen. Ein Interessenausgleich aller Beteiligten muss den hohen Stellenwert des Datenschutzes in Deutschland berücksichtigen, wird nach Expertenmeinung aber durch die bestehende Fragmentierung der Zuständigkeiten und Geltungsbereiche deutscher Datenschutzinstitutionen und -bestimmungen erschwert.

Datensparsamkeit, Privacy by Design (vgl. Danish Council of Ethics 2010; Rannenber 2015, 537) und Privacy by Default bieten sich als Leitprinzipien und Markenzeichen deutscher MMI auf dem Weltmarkt an. Die Umsetzung dieser Prinzipien umfasst konkrete Privacy Enhancing Technologies wie beispielsweise Werkzeuge zur Anonymisierung oder Nutzungskontrolle persönlicher Daten. Allgemeiner zielen sie nicht auf einen Umgang mit Daten ab, der Nutzungs- und Wertschöpfungspotenziale behindert, sondern darauf, dass nur unbedingt für die Funktionalität der Anwendung erforderliche Daten zweckgebunden erhoben und auf einem möglichst hohen Abstraktionsgrad verarbeitet werden.

5.4 AUSGESTALTUNG GUTER ARBEIT

Die Effekte der Innovationen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion sind eng mit den Auswirkungen der Digitalisierung und der digitalen Vernetzung auf den Arbeitsmarkt (vgl. Kapitel 4) verwoben. Breit angelegt wird die daraus resultierende Frage nach der Ausgestaltung guter Arbeit im digitalen Zeitalter im Rahmen der High-tech-Strategie als prioritäre Zukunftsaufgabe Innovative Arbeitswelt diskutiert (vgl. BMBF 2014b, 22 f.). Im Folgenden sollen daher nur spezifische Aspekte des Einflusses der MMI auf die Arbeitswelt dargestellt werden.

Für die Akzeptanz der MMI durch die Beschäftigten unterschiedlicher Branchen ist es unerlässlich, Ängste vor dem

Verlust oder tief greifenden Wandel des Arbeitsplatzes ernst zu nehmen und diese durch die Einbeziehung der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sowie der Sozialpartner bei der Einführung von MMI-Lösungen zu identifizieren und partnerschaftlich zu adressieren.

Der Mensch als Dirigent der Technik

Eine solche Notwendigkeit der Verständigung sehen die befragten Expertinnen und Experten besonders für den Einsatz neuer Formen der Robotik. Der Trend zu intelligenten Produktionssystemen und verstärkter Mensch-Roboter-Kooperation führt in der Industrie zu neuen Aufgabenverteilungen zwischen Mensch und Maschine. Damit gehen einerseits Hoffnungen auf erleichterte Arbeit und gesteigerte Produktivität sowie andererseits Befürchtungen eines Kontrollverlusts über Arbeitsverläufe, der Dequalifizierung von Arbeit und negativer sozialer Effekte (vgl. Forschungsunion/acatech 2013; Windelband 2014) wie gesteigerter Leistungssteuerung und -kontrolle einher.

Nach Expertenmeinung konnte man bei der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit bislang sehr klar unterscheiden, in welchen Bereichen der Roboter überlegen ist (zum Beispiel Kraft und Wiederholgenauigkeit) und was der Mensch besser kann (zum Beispiel Improvisation, Kreativität, Wahrnehmung). Damit war klar, wie Aufgaben aufgeteilt wurden. Es steht zu vermuten, dass Roboter in fünf bis zehn Jahren in ihrer Funktionalität flexibler sein werden und dem Menschen mit zunehmender Autonomik auch Aufgaben im Bereich des Entscheidens abnehmen können.

Dadurch entstehen mehr Freiheitsgrade bei der Arbeitsteilung, welche Aufgaben dem Roboter und welche dem Menschen überlassen werden können. In den Augen der befragten Expertinnen und Experten werden diese Entwicklungen in Deutschland bisher vom Leitbild einer humanzentrierten Automatisierung (vgl. BMWi 2013b) getragen,

das den Menschen als Dirigenten der Technik und nicht als einen ihm unterworfenen Zuarbeiter versteht.

„MMI soll ermöglichen, dass der Mensch sich nicht mehr an die Technik anpassen muss. Umgekehrt: Die Technik passt sich dem Menschen an.“

Maschinen aller Art sollen die Sicherheit, Gesundheit, Kompetenz und Produktivität der Beschäftigten unterstützen, anstatt mit diesen zu konkurrieren. Entsprechend ausgestaltet kann MMI beispielsweise zur Verringerung des Anteils sogenannter „roter Arbeitsplätze“, also besonders gesundheitsbelastender Tätigkeiten, beitragen. Allgemein bestehen große Potenziale einer ergonomischen Gestaltung der Arbeit, der Gesundheitsförderung im Rahmen eines altersgerechten Arbeitens und einer Steigerung der Arbeitssicherheit (vgl. USA Robotics VO 2013). Auch im betrieblichen Kontext ist es dabei unerlässlich, die Vielfalt der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, ihrer Kompetenzen und Bedürfnisse zum Ausgangspunkt der Gestaltung des Einsatzes der MMI zu machen. So entwickelt beispielsweise das BMBF-geförderte Projekt *MaxiMMI* Bediensysteme, die sich optimal an den Anforderungen älterer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer ausrichten.

Eine solche unmittelbare Erfahrung des Nutzens der MMI kann dazu dienen, ihre Akzeptanz bei den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zu steigern, was wiederum ihren produktiven Einsatz und damit den Nutzen für den Arbeitgeber bedingt. Technologische Herausforderungen der MMI und die gesellschaftlichen Fragen der Bildung und Qualifikation und der zukünftigen Gestalt der Arbeit 4.0 sind nicht voneinander isoliert. Ihre Bearbeitung ist vielmehr auf einen geteilten, übergeordneten Rahmen wie beispielsweise die Hightech-Strategie angewiesen, kann dann aber wertvolle Beiträge zur Bewältigung der prioritären Zukunftsaufgaben für Wertschöpfung und Lebensqualität gleichermaßen leisten.

6 FAZIT

Die vorliegende Studie macht die Vielschichtigkeit der neuen Formen von MMI sichtbar. Sie betreffen alle relevanten Lebensbereiche, erfordern ein breites Technologiespektrum und haben damit eine zentrale Bedeutung für den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland. Nicht nur aufgrund der Reichweite und des transformatorischen Charakters dieser Innovationen ist es wichtig, sich bereits jetzt intensiv und interdisziplinär mit den aufkommenden Themen zu beschäftigen. Auch die zu erwartende starke Entwicklung der Märkte für MMI-Anwendungen deutet darauf hin, dass in Zukunft ein substantieller Anteil der Wertschöpfung auf den Bereich der MMI entfallen wird und sich bisherige Branchengrenzen in den neu entstehenden Wertschöpfungsnetzwerken deutlich verschieben werden.

Das zentrale Ergebnis der vorgenommenen Analysen ist, dass Deutschland über eine gute Ausgangsposition verfügt, an den globalen Entwicklungen im Bereich MMI erfolgreich teilzuhaben. In mehreren Technologiebereichen, wie zum Beispiel der Sensorik und Aktorik, sind deutsche Wissenschaftler und Anbieter führend. Im Softwarebereich

gilt es dagegen, die bestehenden hohen Kompetenzen bei Embedded Systems und der Systemintegration, vor allem im Maschinen- und Anlagenbau, mit den Potenzialen des Maschinellen Lernens zu verknüpfen und so bei der Entwicklung innovativer MMI-Anwendungen einen Sprung an die Weltspitze zu machen.

Hierfür ist es allerdings wichtig, die am Standort vorhandenen Kompetenzen stärker zu vernetzen. Die Studie möchte daher dazu anregen, mehr und vielfältige Experimentierräume zu schaffen und zu fördern. Solche Räume tragen dazu bei, exzellente Forschungsergebnisse sowohl schneller in marktfähige und erfolgreiche Innovationen zu übersetzen als auch soziale, ethische und rechtliche Implikationen und Gestaltungsräume frühzeitig zu identifizieren. Lebendige Beispiele für gleichermaßen an einem positiven Zielbild orientierte wie wirtschaftlich erfolgreiche MMI-Anwendungen tragen dazu bei, die Aufgeschlossenheit und Begeisterung für Innovation zu fördern und damit langfristig Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland zu sichern.

7 ANHANG

7.1 ANWENDUNGSBEREICH GESUNDHEIT

Technologische Entwicklungen nehmen hinsichtlich der zentralen Herausforderungen des Gesundheitswesens – demografischer Wandel, Fachkräftemangel im Pflegebereich, steigende Kosten für das Gesundheitswesen – in allen Bereichen wichtige unterstützende Funktionen⁷ ein.

Im Gesundheitsbereich ermöglichen Wearables ein selbstständiges Monitoring des eigenen Gesundheits- und Fitnesszustandes und ermöglichen in Kombination mit Assistenzsystemen im Haushalt (Ambient Assisted Living) einen Erhalt von Handlungsspielräumen und Selbstbestimmung, insbesondere für Ältere und Pflegebedürftige. Außerdem gibt es im Bereich der Rehabilitation und zu therapeutischen Zwecken nutzbare Roboter, die beispielsweise in Form von humanoiden Robotern bei autistischen Kindern das Training des Sozialverhaltens unterstützen und helfen, die geistigen Fähigkeiten älterer Menschen zu erhalten (zum Beispiel Robots4Autism beziehungsweise Robots4Seniors des amerikanischen Herstellers Robokind). Intelligente Systeme sowie neue Formen von Prothesen und Orthesen dienen einerseits der Wiederherstellung und andererseits der Erweiterung (Enhancement) von Körperfunktionen.

Ein hohes Marktpotenzial wird darüber hinaus Robotersystemen zugeschrieben, die assistierende Tätigkeiten in Krankenhäusern oder in Alten- und Pflegeheimen ausführen, wie zum Beispiel Hol- und Bringdienste oder körperlich anstrengende Tätigkeiten, etwa mit schweren Lasten. Systeme mit rein unterstützender Funktion, aus der Ferne steuerbare Elemente und auch in weiten Teilen selbstständig arbeitende Systeme sind dabei Ziel der Forschung und teilweise schon in Betrieb. Die Anwendungen sind

Expertenmeinungen zufolge in Bezug auf die Funktionalität größtenteils schon auf einem sehr hohen Niveau, besitzen jedoch oft eine hohe Bedienkomplexität. Es muss daher für eine großflächigere Anwendung der Assistenz- und Unterstützungssysteme der Fokus schon bei der Entwicklung noch mehr auf die Nutzerintegration gelegt werden.

Im Gesundheitswesen sind damit sowohl innovative Entwicklungen in der Forschung als auch große Marktpotenziale, vor allem aufgrund des demografischen Wandels, erkennbar.

7.1.1 ANWENDUNGSFELDER

Gesundheitstracking mit Wearables

Der Markt für Wearables im Gesundheitsbereich wächst kontinuierlich. Durch die Daten, die das Smartphone oder Wearables sammeln und analysieren, kann der private Nutzer einen Überblick über das eigene Verhalten in Bezug auf Nahrung, Sport und Bewegung oder geistige Aktivität erhalten. Darüber hinaus werden Wearables vermehrt auch im professionellen Gesundheitsbereich eingesetzt, um beispielsweise Körperfunktionen oder Rehafortschritte kontinuierlich zu dokumentieren.

Beim Einsatz von Gesundheitstrackern können verschiedene Ebenen unterschieden werden:

- Die Konsumentenebene steht für alle E-Health-Angebote des zweiten Gesundheitsmarktes, umfasst also die privat finanzierten Produkte und Gesundheitsdienstleistungen. Beispiele dafür sind webbasierte Gesundheitsportale, Apps, Mess- und Assistenzsysteme oder digitale Fitness-Tools. Solche Produkte werden derzeit sehr stark nachgefragt. Als Lifestyle-Produkte zielen sie auf Kunden, die

⁷ Der Förderschwerpunkt *Mensch-Technik-Interaktion im demografischen Wandel* ist ein wesentlicher Bestandteil der 2011 beschlossenen, unter Federführung des BMBF formulierten Forschungsagenda der Bundesregierung für den demografischen Wandel *Das Alter hat Zukunft*. Siehe dazu: <http://www.mtidw.de/>

Im BMBF-Förderschwerpunkt *Assistierte Pflege von morgen* aus dem Jahr 2011 wurden Projekte im ambulanten Bereich mit einem Gesamtetat von 17 Millionen Euro gefördert. Die BMBF-Initiative *Pflegeinnovationen 2020*, die im März 2014 gestartet ist, erweitert die Förderung auch auf andere Bereiche der Pflege (vgl. BMBF 2014a). Im Oktober 2015 wurde das neue Forschungsprogramm *Mensch-Technik-Interaktion* des BMBF vorgestellt. Darüber hinaus ist das Thema intelligente Vernetzung im Gesundheitssektor auch ein Gegenstand des IT-Gipfelprozesses.

sich um ihre Gesundheit und ihr Wohlbefinden kümmern, und weniger auf Patientinnen und Patienten, die unter chronischen Krankheiten leiden.

- Die professionelle Ebene umfasst digitale Gesundheitsangebote, die in der Regel von den traditionellen Akteuren des Gesundheitssektors initiiert und/oder finanziert werden. In diese Kategorie fallen insbesondere die unterschiedlichen telemedizinischen Dienste. Wearables kommen auf dieser Ebene bereits in verschiedenen Bereichen zur Anwendung. Die Qualität der Produkte muss gegenüber den Konsumprodukten jedoch noch verbessert werden. Eine Perspektive für die mittlere Zukunft stellen smarte medizinische Wearables dar, die durch neue Sensorik ein viel breiteres Spektrum von medizinischen Aufgaben übernehmen können und gegebenenfalls direkt in die Therapie eingebunden sind. Kombiniert mit entsprechender Konnektivität können sie dazu führen, dass Patientinnen und Patienten mit chronischen Erkrankungen zu Hause überwacht, diagnostiziert und behandelt werden können. Auch im Bereich der Rehabilitation gibt es vielfache Einsatzmöglichkeiten für Wearables.
- Die Makro-Ebene soll künftig als übergreifender Rahmen die einzelnen digitalen Gesundheitsangebote verbinden. Sie stellt Netzinfrastrukturen bereit, gewährleistet Schutz und Sicherheit von Patientendaten und regelt einen einrichtungsübergreifenden Informationsfluss zwischen Patientinnen und Patienten, Ärztinnen und Ärzten, Krankenhäusern und Kostenträgern (vgl. Deloitte 2014, 4). Im Projekt *MACSS* (Medical Allround-Care Service Solution) wird, gefördert durch das Technologieprogramm *Smart Service Welt*, eine solche patientenorientierte Plattform zur Kommunikation und zum sicheren Austausch von Informationen entwickelt, die gerade die Lebensqualität chronisch kranker Patientinnen und Patienten steigern soll.

Den befragten Expertinnen und Experten zufolge gibt es aber noch keine ausgereiften Konzepte, wie die auf der

Konsumentenebene gewonnenen Informationen weiter verarbeitet werden sollen. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Nutzung von Fitnesstrackern und einer Verbesserung der Gesundheit des Nutzers wurde noch nicht nachgewiesen, einzelne Expertinnen und Experten legen jedoch nahe, dass schon die Beschäftigung mit der Gesundheit an sich im Rahmen eines Trackings durch Wearables zu einer Verbesserung der Fitness und des Wohlbefindens führe (vgl. Ethikrat 2015).

Dieser Umstand kann zu neuen Geschäftsmodellen für Arbeitgeber oder auch für Versicherungen führen. Für Arbeitgeber oder Versicherungen würden sich Investitionen in Wearables für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beziehungsweise Kundinnen und Kunden lohnen, wenn der Nutzen dieser Wearables zu einer signifikant verbesserten Gesundheit der Nutzer führen würde. In ersten Versuchen bieten Unternehmen im Rahmen ihres betrieblichen Gesundheitsmanagements ihren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern an, vom Unternehmen finanzierte Wearables zum Gesundheitstracking zu nutzen.

In der Bevölkerung gibt es bezüglich des Umgangs mit Wearables ein uneinheitliches Meinungsbild. Einerseits verspüren viele Bürger ein Unbehagen beim Teilen persönlicher Gesundheitsdaten (vgl. BMBF 2015b). Andererseits besteht ein Interesse für Angebote mit konkretem Nutzen, denn einer Umfrage zufolge wären 72 Prozent der Befragten bereit, eine Smart Watch zu tragen, und 63 Prozent der Befragten würden ein Fitnessarmband tragen, falls der Arbeitgeber die Wearables zur Verfügung stellen würde (vgl. PwC 2014b, 16). Die AOK Nordost ist die erste Krankenversicherung in Deutschland, die ihren Mitgliedern im Austausch für verschiedene Gesundheitsmaßnahmen einen Zuschuss für Wearables zahlt, um Herzfrequenz, Streckenlänge, Höhenmeter, Geschwindigkeit, Kalorienverbrauch und anderes zu messen. Dies kann für einen Teil der Mitglieder besonders interessant sein, da hierzu auch Produkte wie die Apple Watch zählen.

Dieses Beispiel zeigt zudem die von Expertinnen und Experten vielfach beschriebene Entwicklung der Verschmelzung von Konsumenten- und professioneller Ebene auf Produkte, die ursprünglich im Unterhaltungs- und Lifestyle-Bereich für die private Nutzung entwickelt wurden, finden (teils nach Anpassung) Anwendung im professionellen Kontext im Gesundheitswesen. Der Fokus einiger Hersteller verschiebt sich dadurch in Bezug auf einzelne Produkte vom B2C-Geschäft zum B2B-Geschäft. Ein Beispiel hierfür stellen Datenbrillen dar, die im Konsumentenbereich keine erfolgreiche Annahme gefunden haben, aber zunehmend zu betrieblichen Zwecken verwendet werden.

Mit den daraus entstehenden Daten sind viele verschiedene Nutzungsszenarien denkbar, deren Chancen und Risiken noch bewertet werden müssen. Große Chancen könnten sich durch die Analyse der entstehenden Gesundheitsdaten durch Expertensysteme wie den von IBM entwickelten Watson ergeben, der aus den Daten in Kombination mit eingespeister wissenschaftlicher Expertise und Forschungsergebnissen spezifische individuelle Krankheitsbilder und auch Therapievorschläge liefern kann. Risiken sind vor allem bei der elektronischen Übermittlung und den damit verbundenen Sicherheitsrisiken für sensible Daten gegeben. Die Bundesdatenschutzbeauftragte Andrea Voßhoff thematisiert dieses Risiko und warnt vor Fitness-Apps, die Gesundheitsdaten von Versicherten an deren Krankenkassen übermitteln (vgl. BfDI 2015) (vgl. Kapitel 5.3).

Pflege und Ambient Assisted Living

Im Anwendungsfeld Pflege geht es darum, die Pflegebedürftigen möglichst gut zu versorgen und gleichzeitig den Pflegenden – seien es professionell Pflegenden oder pflegende Angehörige – jegliche sinnvolle technische Unterstützung zukommen zu lassen, damit sie die Möglichkeit haben, individuell auf Pflegebedürftige eingehen zu können. Technische Assistenzsysteme können hierbei eine unterstützende Rolle einnehmen (vgl. BMG 2013). Sie können den Pflegenden bei körperlichen Aufgaben unterstützen

(zum Beispiel schweres Heben), die Gesundheitsversorgung für die Pflegebedürftigen verbessern und das Gesundheitspersonal entlasten. Dadurch bleibt mehr Zeit für die Wahrnehmung von dessen Kernaufgabe: der persönlichen Fürsorge und Pflege der Patientinnen und Patienten.

Neben sicherer Mobilität (vgl. Kapitel 7.2) und Gesundheitsdienstleistungen wurde im BMBF-Projekt *Smart Senior* – eines von 18 Projekten des BMBF-Förderschwerpunktes *Altersgerechte Assistenzsysteme für ein gesundes und unabhängiges Leben* – die längere Selbstständigkeit im häuslichen Umfeld als Kernelement der Lebensqualität im Alter hervorgehoben. Es gilt, Menschen über MMI-Anwendungen möglichst lange eine selbstbestimmte und unabhängige Bewältigung des Alltags zu ermöglichen.

Solche Technologien beinhalten beispielsweise neuartige Sensoren, Navigations- und Gehhilfen, Mobilitätshilfen, Greif- und Manipulationsgerate sowie Geräte, die zur Körperpflege, bei logistischen Aufgaben und für die persönliche Assistenz im Alltag entscheidende Unterstützung liefern. Mithilfe von Telepräsenzrobotern, die ferngesteuert Video- und Audiosignale übertragen, lassen sich Entwicklungen in den Bereichen M-Health und Telehealth für Versorgungsnetzwerke verknüpfen. Diese können Diagnostik und Monitoring von Körperfunktionen oder korrekter Medikamenteneinnahme ermöglichen, ohne dass medizinisches Personal vor Ort sein muss, aber auch den Menschen zur sozialen Interaktion anregen.

„Ein System muss wie ein Heizelmannchen sein: Es muss die Aufgabe lösen, ohne wahrgenommen zu werden.“

Bis vor einiger Zeit handelte es sich hierbei um einen eher unbedeutenden Markt, doch im Verlauf der letzten Jahre hat sich die Situation vor allem aufgrund dreier treibender Kräfte gewandelt:

- Der demografische Wandel: Über ganz Europa hinweg altert die Gesellschaft. Innerhalb der nächsten 30 Jahre wird sich die Zahl der Menschen über 65 verdreifachen, die Zahl der Menschen über 80 vervierfachen (vgl. INOVA+ 2013). Insbesondere in Deutschland, dessen Bevölkerung 2035 eine der ältesten der Welt sein wird, zeigt sich diese Entwicklung sehr deutlich (vgl. BMBF 2011).
- Die steigenden Kosten von Langzeitpflege, die zu einer erhöhten Nachfrage nach Dienstleistungen für Ältere führen, die zu Hause erbracht werden können.
- Neue Anwendungen und Dienstleistungen für das selbstständige Leben älterer Menschen, die durch die Verfügbarkeit neuer Technologien ermöglicht werden.

Für KMU bieten sich auf wachsenden Märkten Gelegenheiten, mit innovativen Technologien erfolgreich zu sein. Ein Beispiel hierfür stellt das vom BMBF geförderte persönliche Assistenzsystem PAUL der Firma CIBEK dar. PAUL wurde als Komplettlösung zur Unterstützung älterer Menschen entwickelt, die selbstbestimmt und sicher möglichst lange zu Hause leben möchten. PAUL ist ein über Touch-Display bedienbares Gebäudesteuerungs- und Assistenzsystem, das eine Vielzahl von Komfort-, Multimedia- und Kommunikationsfunktionen bietet. Die wesentliche Aufgabe ist es, die Sicherheit des Bewohners zu erhöhen. Neben diversen Überwachungsfunktionen wird hierzu insbesondere die Inaktivitätserkennung verwendet, die im Bedarfsfall selbstständig Hilflosigkeit erkennen und einen Hilferuf absetzen kann. Die Steuerung erfolgt über eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche und wird auch von Benutzern in hohem Alter gut angenommen (vgl. BMG 2013). Die intuitive Bedienbarkeit und der erkennbare Mehrwert einer neuen Technologie sind laut befragter Expertinnen und Experten die entscheidenden Erfolgsfaktoren im Bereich AAL.

Ergänzung und Wiederherstellung von Körperfunktionen durch Orthesen und Prothesen

Menschen, denen einzelne Funktionen ihres Körpers nicht mehr oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen, können durch Orthesen und Prothesen unterstützt werden. Orthesen sind medizinische Hilfsmittel, die äußerlich angewandt werden. Durch künstliche Exoskelette sind perspektivisch anspruchsvolle individuelle Lösungen möglich, mit deren Hilfe Querschnittsgelähmte die Gehbewegungen und die Balance wiederherstellen könnten. Im Juni 2015 wurden neue Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten („anziehbare Gehroboter“) in der Neurorehabilitation vorgestellt. Für weltweit circa 2,8 Millionen Querschnittsgelähmte bieten sich hier neue Chancen zur Erweiterung ihrer individuellen Mobilität. Forschung und Entwicklung zu Exoskeletten sind vor allem in den USA und Japan fortgeschritten, in den USA auch für den militärischen Bereich.

Prothesen ersetzen ein fehlendes oder geschädigtes Körperteil teilweise oder vollständig. Bereits in Anwendung befinden sich intelligente Prothesen, die einen Teil des gewünschten Verhaltens autonom generieren (vgl. Kasten 3). Brain-Computer-Interfaces werden ebenfalls im medizinischen Bereich eingesetzt und entwickelt (vgl. ausführlicher dazu Kasten 4).

„Die Technik verschwindet in das Lebendige hinein.“

Robotersysteme

Chirurgische Eingriffe können durch die Hinzunahme von Robotersystemen präziser und somit sicherer durchgeführt werden. Vor allem im Bereich der Urologie und der Orthopädie werden Operationssysteme zur Unterstützung des Operateurs verwendet. Operationshilfen in Form eines menschlichen Arms können chirurgische Werkzeuge zielgenau an die geplante Position bringen und unter Steuerung des Operateurs einzelne Schritte des Eingriffs durchführen.

Kasten 3: Intelligente Arm- und Handprothesen

Der Stand der Steuerungstechnik bei Armprothesen ist die myoelektrische Steuerung. Hier werden Muskelsignale aus dem verbliebenen Armstumpf mittels Elektroden aufgenommen und in elektrische Signale umgesetzt. Ein Mikroprozessor im Schaft der Prothese wandelt sie dann in Steuersignale für die Bewegung der künstlichen Hand um. Perspektivisch ist auch eine Steuerung über Brain-Machine-Interfaces denkbar.

Künftige Modelle von Prothesen werden auch integrierte Minicomputer beinhalten, die Bewegungen noch intuitiver und natürlicher machen sollen. Sie beinhalten Sensoren, die sämtliche Aktivitätssignale der Muskeln messen und in eine Bewegung der Prothese umwandeln. Aus den gemessenen Daten erkennt das System den Wunsch des Trägers, zum Beispiel in welche Richtung er sich bewegen will. Gleichzeitig registrieren die Sensoren, in welchem Bewegungszustand dieser ist. Die integrierten Computer können auch mit geläufigen Bewegungsmustern programmiert werden und sollen die Absichten der Prothesenträger dadurch frühzeitig „erahnen“ können. Eine ähnliche Zielrichtung verfolgt die digitale Anbindung von künstlichen Gliedmaßen an eine Cloud. Erkennt zum Beispiel eine Armprothese eine bisher noch

unbekannte Bewegung oder Tätigkeit, sucht sie automatisch in der Cloud nach einem ähnlichen Muster und adaptiert es.

Wesentlich bei diesen Systemen ist, dass die Bestimmung der Signale in Echtzeit erfolgt. Darüber hinaus sind sichere Datenübertragung sowie niedrige Latenzzeiten essenziell für ein erfolgreiches Umsetzen eines solchen Modells. Für die Patientin oder den Patienten ergibt sich eine deutliche Steigerung der Lebensqualität durch eine Erhöhung der Funktionalität und der Natürlichkeit des Bewegungsablaufs.

Bei der Entwicklung fühlender Handprothesen sind deutsche Unternehmen weltweit führend (vgl. zum Beispiel BMBF-Verbundprojekt Invisible GripAssist). Neu entwickelte Prothesen vereinen einen bisher nicht erreichten Funktionsumfang mit sehr geringem Gewicht und kompaktem Design. Sie kombinieren einen in der Prothetik bisher einmaligen Funktionsumfang mit innovativen Steuerungsstrategien. Die fühlende Prothese soll durch gezielte Stimulation der Rezeptoren am Armstumpf das sensorische Areal der Großhirnrinde anregen und somit positiv auf Phantomschmerzen und Prothesenakzeptanz wirken, aber auch das Greifen von Gegenständen einfacher und sicherer machen.

Filigrane oder ermüdende Arbeiten sowie schwere Lasten im Rahmen der Operation können dem Operateur abgenommen werden und die Präzision der Eingriffe erhöht werden. Hoch entwickelte Bildgebungsverfahren ermöglichen eine flexible, patienten- und prozessspezifische Bildgebung im Operationssaal in Echtzeit.

Die Forschung bei Operationssystemen ist in Deutschland weit entwickelt und hat auch im Bereich des Designs bereits Auszeichnungen gewonnen. Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde eine Plattformtechnologie entwickelt, die Roboterarme Bewegungen mit hoher Präzision ausführen lässt. In Zusammenarbeit

mit dem Validierungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft wurde ein amerikanisches Unternehmen gefunden, das für einen zweistelligen Millionenbetrag die Lizenzrechte an der Robotik kaufte.

7.1.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG

Technologische Herausforderungen

Bei der Entwicklung von Orthesen und Prothesen besteht die Herausforderung darin, die technischen Aufgaben, die für eine hohe Funktionalität zu lösen sind, mit einem hohen Maß an Nutzerintegration und Bedienbarkeit zu verbinden,

Kasten 4: Brain-Computer-Interfaces

Das Gehirn mit Maschinen zu verbinden und so eine Schnittstelle zur direkten Übertragung von Informationen herzustellen, ist eine der zentralen Visionen der MMI. Der Begriff Brain-Computer-Interfaces beschreibt dabei konkret invasive Technologien, während nicht-invasive Technologien unter dem Begriff Brain-Machine-Interfaces zusammenfasst werden. Bereits heute existiert eine Reihe an Technologien, die entweder direkt das Gehirn stimulieren (Cochlea-Implantate, Hirnschrittmacher, erste Retina-Implantate) oder über invasive oder nicht-invasive Elektroden Signale ableiten und diese zur Steuerung von Computern und Prothesen einsetzen. Hoffnungen, Patientinnen und Patienten mit Locked-in-Syndrom einen Umweltkontakt zu ermöglichen, erfüllten sich allerdings bislang nicht (vgl. Grosse-Wentrup 2012).

In den Augen der Expertinnen und Experten besteht besonders großer Forschungsbedarf an der Schnittstelle von Nerven und Informationstechnologie. Es fehlen biokompatible Technologien und Materialien wie zum Beispiel multifunktionale Polymere oder langzeitstabile Siliziumverbindungen, die für ihre Nutzer verträglicher sind, eine lange Lebensdauer der Verbindungstechnik garantieren und eine höhere Auflösung der Signale erlauben. Die Optogenetik erforscht Wege, genetisch veränderte Nervenzellen über Lichtimpulse statt durch Elektrizität anzuregen (vgl. Merkel 2015).

damit sich die Patientinnen und Patienten mit den neuen Technologien wohlfühlen und sie leicht und intuitiv benutzen können. In den technischen Bereichen sind die deutschen Unternehmen sehr gut, bei den Themen Bedienbarkeit und Design sind noch innovative Ideen notwendig. Geräte und Anwendungen derart zu konstruieren und designen, dass auch Ältere, Kranke und Behinderte gut damit zurechtkommen, stellt dabei eine sehr große Herausforderung dar.

Ein Ziel der Forschung ist es, in Zukunft die bidirektionale Übertragung von Signalen zu nutzen, um beispielsweise Patientinnen und Patienten die Möglichkeit zu geben, durch mentale Techniken die Signalstärke ihres Schrittmachers an ihre jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Ebenfalls sind Intelligente Systeme denkbar, die selbstständig einen beginnenden epileptischen Anfall erkennen und diesen durch eine gezielte Stimulation abwenden.

Deutschland hat bislang keine starke Position auf dem Markt für Brain-Computer-Interfaces. Nach Expertenmeinung könnte eine Vernetzung der vorhandenen Expertise im Bereich Neuroinformatik, Biologie und Materialwissenschaften mit den Fertigungskompetenzen der Industrie (zum Beispiel Laserstrukturierung von Materialien) in konkurrenzfähige Implantate münden.

Die Akzeptanz der genannten Technologien hängt nach Expertenmeinung entscheidend davon ab, ob sie beim Einsatz als natürliche Erweiterungen des Körpers erlebbar werden, sich also ins Körperschema integrieren. Ebenso wichtig ist eine Sicherheitsarchitektur, die vor Schädigungen durch Fehlfunktionen und Manipulationsversuchen schützt. Ergänzend raten einige der befragten Expertinnen und Experten, der so denkbar werdenden Manipulationsmöglichkeit von Bewusstseinszuständen und des Verhaltens im Sinne eines Rechts auf mentale Selbstbestimmung auch eine rechtliche Schranke zu setzen (vgl. Merkel 2015).

Bei AAL und beim Gesundheitstracking durch Wearables, wie auch bei allen anderen technischen Assistenzsystemen, stellt der Schutz der entstehenden Daten eine zentrale Herausforderung dar. Die Angst der Nutzer vor einem Diebstahl ihrer persönlichen Daten ist laut einer Umfrage ein größeres Hindernis bei der Verbreitung von AAL-Technologien als die Kosten der Technologie (vgl. Icontrol Networks 2015, 15) (vgl. Kapitel 5.3).

Expertinnen und Experten weisen darauf hin, dass Medizingeräte derzeit noch mit vergleichsweise einfachen Verfahren angreifbar sind und dadurch vielfältige Risiken für die Patientinnen und Patienten entstehen können: Eingriffe in ferngesteuerte Operationsroboter, schleichende Vergiftungen durch Abschaltungen oder manipulierte Konfigurationen sowie Elektroschocks bei Defibrillatoren (vgl. allgemeiner Kapitel 3.4).

Gesellschaftliche Herausforderungen

Eine zentrale Herausforderung stellt die Klärung der Frage nach der Verantwortung für Fehler und Schäden, die von (teil-)autonomen Maschinen verschuldet werden, und der damit verbundenen Haftungsfrage dar (vgl. dazu Kapitel 5.2).

Im Feld Pflege werden Robotersysteme vor allem in Deutschland oft mit großer Skepsis betrachtet und es besteht sowohl bei Pflegenden als auch bei den Pflegebedürftigen die Befürchtung, dass menschliche Fürsorge durch Maschinen ersetzt werden könnte.

„Nicht die Technologie ist der limitierende Faktor, sondern die Akzeptanz in der Bevölkerung.“

Diesen Ängsten kann mit geeigneten Aufklärungsprogrammen sowie mit einem frühzeitigen Einbinden der Anwender in die Entwicklung neuer Technologien begegnet werden. Dabei besteht die Herausforderung vor allem darin, den Nutzen und den Mehrwert, der durch die neuen Technologien für alle Beteiligten entsteht, sichtbar zu machen. Nach Expertenmeinung ist es entscheidend, dass autonome Roboter nicht als Systeme gesehen werden, die Arbeitsplätze vernichten, sondern als unterstützende Systeme, die die Lebensqualität von vielen Menschen verbessern können.

Für die Akzeptanz von Robotersystemen ist es darüber hinaus auch notwendig, dass das Bedienkonzept in der jeweiligen Kultur verwurzelt ist. Die kulturell teils sehr

unterschiedlichen Kommunikations- und Umgangsformen müssen laut Expertenmeinungen bereits in der Entwicklung berücksichtigt werden, um eine Annahme durch die Nutzer zu ermöglichen. Dies kann für den europäischen Markt auch eine Abgrenzungsmöglichkeit zum asiatischen Markt darstellen und insbesondere für Deutschland neue Exportmöglichkeiten und Wertschöpfungspotenziale schaffen.

7.2 ANWENDUNGSBEREICH MOBILITÄT & LOGISTIK

Mobilität ist eine Voraussetzung für die Teilhabe von Personen an wirtschaftlichen, kulturellen und sozialen Ereignissen und damit ein menschliches Grundbedürfnis. Die Gewährleistung „intelligenter Mobilität“ ist in der High-tech-Strategie der Bundesregierung als eine der prioritären Zukunftsaufgaben definiert (vgl. BMBF 2014b, 26 f.).

In beiden Anwendungsbereichen der Mobilität wird nachfolgend aufgezeigt, wie moderne Benutzerschnittstellen und Assistenzsysteme sowie (teil-)autonom agierende Maschinen zum Einsatz kommen mit dem Ziel, Sicherheit, Komfort und Nutzerzufriedenheit für den Menschen zu steigern. Die aktuellen und zukünftigen Entwicklungen im Bereich Mobilität und Logistik werden dabei von folgenden gesellschaftlichen Megatrends und Herausforderungen beeinflusst (vgl. acatech 2012, 4 f.):

- Das im Kontext der Globalisierung steigende Handelsvolumen führt ceteris paribus zu einer Zunahme des Personen- und vor allem des Güterverkehrs, die sich aufgrund der Urbanisierung insbesondere in Ballungsräumen realisiert.
- Fragen der Mobilität sind damit eng mit Fragen nachhaltiger Wohnkonzepte und der Gestaltung urbaner Räume verknüpft.
- Durch die Ausweitung des Internethandels steigen individuelle Transportbedarfe und das Transportvolumen. Gleichzeitig ermöglicht das Internet der Dinge eine

- flexiblere und genauere Planung und Steuerung des Güter- und Personenverkehrs und kann damit einen Beitrag zu einem effizienteren Einsatz von Ressourcen leisten.
- Dabei kommt vor dem Hintergrund des Klimawandels dem effizienten Einsatz von Energieressourcen zur Reduktion von CO₂-Emissionen auch im Bereich von Mobilität und Logistik eine besondere Bedeutung zu.

- individuelle Mobilitätslösungen für unterschiedliche Alltagssituationen und alle Altersstufen ermöglichen,
- zuverlässig und robust funktionieren, das heißt tolerant gegenüber möglichen Bedienungsfehlern sind, und
- leicht und intuitiv zu bedienen sind, auch für Personen mit kognitiven und/oder sensomotorischen Einschränkungen.

7.2.1 ANWENDUNGSFELDER

In nahezu allen Bereichen des menschlichen Lebens und der Wirtschaft werden Menschen und Güter bewegt. Daher sind die hier genannten Anwendungsfelder nur ein kleiner Ausschnitt möglicher Einsatzbereiche von Mensch-Maschine-Interaktionen. Die ausgewählten Beispiele wurden von den befragten Expertinnen und Experten häufig genannt und spielen auch in der Fachliteratur eine prominente Rolle.

Individuelle Mobilität im Haushalt und Nahbereich

Die Bedeutung der individuellen Mobilität für das persönliche Wohlbefinden wird vielen Menschen erst bewusst, wenn sie zeitweise oder dauerhaft darauf verzichten müssen. Wer sich nicht selbst mit den Gütern des täglichen Bedarfs versorgen kann (zum Beispiel Einkaufen) oder nicht ohne externe Hilfe den Weg zum Arbeitsplatz absolvieren, Freunde besuchen und an Freizeitaktivitäten teilnehmen kann, empfindet diese Einschränkungen als einen erheblichen Verlust an Lebensqualität. Selbstbestimmtes Reisen – wann, wohin und wie man möchte – zählt zu einem Grundbedürfnis in unserer Gesellschaft. Aufgrund der Alterung der Bevölkerung werden altersbedingte Mobilitätseinschränkungen tendenziell zunehmen, sodass hier ein wachsender Bedarf an Technologien entsteht, mit denen diese Einschränkungen überwunden oder zumindest reduziert werden können.

Anforderungen an entsprechende Technologien und die Mensch-Maschine-Interaktion sind, dass sie

Weitverbreitete basale Gehhilfen wie zum Beispiel Rollatoren erfüllen zwar einen Teil dieser Anforderungen, sind aber wenig individuell und können nur bei bestimmten Defiziten helfen. Roboter, die Menschen im Haushalt (Staubsaugen) oder bei der Gartenarbeit (Rasenmähen) entlasten, können speziell für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen eine große Hilfe sein, finden aber auch darüber hinaus große Nachfrage.

Automatisiertes Fahren

Die bekanntesten Beispiele für MMI im Bereich der Mobilität sind aktuell das assistierte und das automatisierte Fahren (vgl. acatech 2015; Maurer et al. 2015). Dabei stellen sich nicht nur Fragen nach der Ausgestaltung einer vernetzten Verkehrsinfrastruktur, sondern auch nach den damit verbundenen Interaktionsaspekten.

Eine hohe Marktdurchdringung haben schon seit vielen Jahren verschiedene Systeme der technischen Assistenz beim Fahren, die meist gar nicht wahrgenommen werden, zum Beispiel Bremskraftverstärker oder Spurhalteassistenten. Darüber hinaus kommen Technologien zum Einsatz und werden weiterentwickelt, die die Steuerung und Überwachung des Fahrzeugs unterstützen (zum Beispiel Einblenden von Navigationsdaten oder anderen Informationen auf die Frontscheibe) oder den Fahrer darin unterstützen, sich auf die Aufgabe des Fahrens zu konzentrieren. So kann zum Beispiel eine Handbedienung des Telefons oder der Klimaanlage durch Sprach- oder Gestensteuerung ersetzt werden, bei der der Fahrer weniger vom Verkehrsgeschehen abgelenkt wird. Schließlich können Interaktionstechnologien auch dazu genutzt werden, über

Sensoren Müdigkeit oder plötzlich auftretende gesundheitliche Probleme (zum Beispiel Herzinfarkt) beim Fahrer zu erkennen, mit der Folge, dass das Auto bei Bedarf automatisch anhält und den Notarzt ruft (zum Beispiel über eCall).

Zunehmend erfolgreich und verbreitet sind Lösungen, die in bestimmten Situationen die Fahrzeugsteuerung vollständig übernehmen, zum Beispiel das automatisierte Einparken (vgl. Wachenfeld et al. 2015, 14 ff.). Die Mensch-Maschine-Interaktion konzentriert sich dabei auf die Übergabe der Fahrzeugkontrolle vom Fahrer an das Fahrzeug und wieder zurück, die zum Beispiel auch über ein Smartphone geleistet werden kann. Leitbilder der Automobilhersteller orientieren sich beim automatisierten Fahren sowohl am souveränen Umgang mit dem Fahrzeug (Gebrauchssicherheit) als auch an der Begeisterungsfähigkeit für neue MMI-Funktionalitäten, die über das Notwendige hinausgehen, aber zu erhöhtem Komfort führen und so ein wichtiges Differenzierungsmerkmal darstellen.

Diese situative Übernahme der Fahrzeugsteuerung gilt als ein Einstiegsszenario in das vollautomatisierte Fahren. Während automatisierte Systeme für zum Beispiel Züge und Flugzeuge technisch vergleichsweise leicht beherrschbar beziehungsweise schon realisiert sind (zum Beispiel Skytrain am Flughafen, fahrerlose U-Bahn), weist der Straßenverkehr Merkmale auf, die für eine Automatisierung und die damit verbundene MMI eine größere Herausforderung darstellen: Die Umgebung ist wenig strukturiert, dynamisch, oft sogar chaotisch, es trifft eine große Anzahl von Verkehrsteilnehmern aufeinander und informelle Regeln spielen eine wichtige Rolle. Außerdem werden formale Regeln je nach Region beziehungsweise Kultur unterschiedlich ausgelegt beziehungsweise befolgt (vgl. dazu und im Folgenden: Färber 2015).

Folgende Fragen und Herausforderungen stellen sich dabei für die MMI:

- Inwiefern können automatisierte Fahrzeuge die mehrfach kontextabhängige Bedeutung von Signalen zutreffend erfassen, die vor allem im Mischverkehr und bei geringen Geschwindigkeiten notwendig sind? Die von Menschen typischerweise genutzten Kommunikationssignale (Blickkontakte, Gesten) oder die Nutzung technischer Hilfen haben je nach Kontext unterschiedliche Bedeutungen. Ein Signal mit der Lichthupe kann zum Beispiel eine Aufforderung sein, zu beschleunigen, aber auch anzuhalten.
- Welche Erwartung haben automatisierte Systeme an das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer? Wird einem Fußgänger, der sich potenziell auf Kollisionskurs befindet, zugesprochen, dass er am Straßenrand anhalten oder vielmehr über die Straße gehen wird? Hier verhalten sich Fußgänger regional und kulturell oft unterschiedlich.
- Welche Erwartungen haben Menschen an automatisierte Fahrzeuge? Denken sie, dass selbstfahrende Fahrzeuge weniger kompetent agieren als Menschen oder im Gegenteil immer vollständig regelkonform und quasi „perfekt“ agieren? Diese Einstellung wird ihr eigenes Verhalten beeinflussen. In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen, automatisierte Fahrzeuge zu kennzeichnen, analog zu Fahrschulfahrzeugen, bei denen die Verkehrsteilnehmer mit nicht-alltäglichem Agieren rechnen.
- Inwiefern können automatisierte Systeme Fahrfehler der anderen Verkehrsteilnehmer erkennen und damit umgehen?

Die meisten dieser Fragen sind vor allem im Mischverkehr virulent, das heißt, wenn automatisierte und von Menschen gesteuerte Fahrzeuge gemeinsam unterwegs sind.⁸ Eine zu lösende Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang auch die Erforschung der Übergänge von automatisierten zu fahrerkontrollierten Zuständen dar.

In einem Szenario komplett automatisierten Straßenverkehrs können über die Car-to-Car-Kommunikation (wenn entsprechende Standards vorhanden sind) viele dieser Fragen beantwortet werden. Darüber hinaus ergeben sich

vielfältige Potenziale zur Optimierung der Verkehrsströme, zum Beispiel wenn Fahrzeuge untereinander kommunizieren oder mit anderen Verkehrsträgern und -systemen (zum Beispiel ÖPNV), Infrastrukturen (zum Beispiel Ampeln) und Navigationssystemen vernetzt sind (Car-to-X-Kommunikation). Auf diese Weise können Engpässe im Verkehr prognostiziert, Alternativrouten oder alternative Verkehrsträger vorgeschlagen und so Staus und damit zusammenhängende, die Verkehrssicherheit einschränkende Probleme vermieden werden. Bei der Gestaltung der Übergänge (Umsteigezeiten und -orte) und einer integrierten Bezahlung der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel (durchgehendes elektronisches Ticket) bestehen noch erhebliche Potenziale, durch digitale Medien beziehungsweise intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen den Komfort für die Nutzer deutlich zu erhöhen (intermodale Mobilitätslösungen aus einer Hand).

Nicht wenige der hier genannten technologischen Entwicklungen haben einen Ursprung in der militärischen Forschung beziehungsweise wurden durch diese stark vorangetrieben. Hier ist vor allem die US-amerikanische Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) zu nennen, die unter anderem bereits bei der Entwicklung der Basistechnologien für das Internet eine wichtige Rolle spielte. Auch für die Entwicklung des autonomen Fahrens gingen von der DARPA *Grand Challenge* und von der DARPA *Urban Challenge* wichtige Impulse aus.

Transport und Mobilität in schwierigen Umgebungen

Für Mobilität und Logistik in schwierigen Umgebungen ist in diesem Kontext der von der Firma BostonDynamics im Auftrag von DARPA entwickelte Laufroboter ein interessantes Beispiel. Dieser bewegt sich autonom in schwierigem, unebenem Gelände und kann dabei schwere Lasten transportieren (Projekt *Big Dog*, vgl. BostonDynamics 2008; vgl. auch Dickow 2015). Prototypen davon wurden bereits vom US-Militär getestet. Der Roboter kann automatisch

Soldaten im Gelände folgen, deren Lasten tragen und reagiert auf Sprachbefehle.

Es ist leicht vorstellbar, dass solche Anwendungen auch im zivilen Einsatz eine große Hilfe sein könnten, zum Beispiel indem sie bei einem Katastropheneinsatz schwere (Hilfs-)Güter in unwegsames oder für Menschen gefährliches Gelände bringen können. Die Roboter können von einem sicheren Ort aus gesteuert werden und bei der Versorgung von Menschen in Not eine wichtige Rolle spielen. Auch ist denkbar, dass entsprechende autonome oder teilautonome Rettungsroboter zur Bergung von Menschen eingesetzt werden könnten (vgl. dazu BMBF 2015c).

Logistik

Die Logistik besitzt für den Industriestandort Deutschland mit seiner ausgeprägten Exporttätigkeit eine zentrale Bedeutung für die Realisierung von Wertschöpfung. Mit dem Einsatz smarterer Logistikkonzepte lassen sich zum Beispiel erhebliche Kosteneinsparungen bei den Verkehrsnetzen erzielen. Mit einem Anteil von 3,6 Milliarden Euro machen Logistiklösungen circa 45 Prozent der gesamten Reduktionspotenziale von 8 Milliarden Euro in diesem Bereich aus (vgl. BITKOM 2012, 30). Mithilfe neuer Sensoren und automatisierter Informationsflüsse (M2M, RFID) können Logistikkonzepte entwickelt werden, die Verkehrsrouten besser planen und damit Kraftstoff und Zeit einsparen. Darüber hinaus ergeben sich Wachstumsimpulse im Bereich neuer Dienste, die auf über zwei Milliarden Euro jährlich geschätzt werden.

Die Logistik ist mit einem Marktvolumen von über 230 Milliarden Euro und fast 3 Millionen Beschäftigten der drittstärkste Wirtschaftszweig in Deutschland nach Automobilwirtschaft und Handel (vgl. acatech 2012, 8; BVL 2015). Logistische Prozesse begleiten die komplette Wertschöpfungs- und Lieferkette in der Industrie und gewinnen immer mehr an Bedeutung. Mit der Veränderung der industriellen Produktion in Richtung Industrie 4.0 verändern sich auch die Logistikprozesse. Expertinnen und Experten

⁸ Mit dem Übergang vom teilautomatisierten zum hochautomatisierten Fahren befasst sich in Deutschland unter anderem der vom BMVI initiierte *Runde Tisch automatisiertes Fahren*, der zur IAA 2015 entsprechende Eckpunkte dazu veröffentlicht hat.

konstatieren, dass die Komplexität in der Logistik deutlich ansteigt: Die Individualisierung von Produkten, die Kürzung von Produktlebenszyklen und die Dynamisierung von Produktion und Handel (E-Commerce und M-Commerce)

führen zu zunehmend volatilen Waren- und Güterströmen (vgl. ten Hompel et al. 2014, 10). Daraus leiten sich neue Anforderungen ab, bei steigender Komplexität und gleichzeitig reduzierter Reaktions- und Planungszeit immer

Kasten 5: Der Coaster – intelligentes Assistenzgerät im Bereich Logistik

Die Einbindung des Menschen in die Welt von Industrie 4.0 stellt eine der zentralen Herausforderungen der nächsten Jahre dar. Aus Maschinen werden zunehmend cyberphysische Systeme (CPS), die lokal autonom sind, das heißt selbstständig Entscheidungen treffen. Sogenannte Smart Assistant Devices werden daher zukünftig eine große Rolle spielen, um mit diesen CPS zu interagieren. Das Fraunhofer IML hat aus diesem Grund ein erstes Gerät dieser neuen Generation von innovativen und kostengünstigen Mensch-Maschine-Schnittstellen entwickelt. Möglichst einfache Bedienung und unzählige Anwendungen direkt aus einem App-Store finden hier auf der Größe eines Bierdeckels Platz.

Der Coaster stellt eine Universal-Schnittstelle für Logistikzwecke dar: Versehen mit einem einfachen Bedienkonzept wird er zum ständigen Begleiter des Menschen. Der Anwendung sind dabei keine Grenzen gesetzt – vom Scannen bis zum Konfigurieren, vom Transportmanagement bis zur Qualitätskontrolle, von der Wartung bis zur Steuerung. Das neuartige, multiaxial schaltende Display ermöglicht eine einfache und intuitive Bedienung mit haptischem und hörbarem Feedback in allen Bereichen, wie etwa bei der Kommissionierung. Zudem verfügt der Coaster über eine hochauflösende Kamera. Mit dieser nimmt er seine Umwelt wahr, erkennt Barcodes, Menschen und Maschinen. So sichert er die Qualität in logistischen Prozessen und Systemen.

Neben dem neuartigen Bedienkonzept unterstützt der Coaster seinen Benutzer intuitiv über seine Kontextsensitivität. Abhängig von der Rolle seines Benutzers stellt der Coaster

für die aktuelle Aufgabe die passende App zur Verfügung. Erreicht wird dies über die Verbindung zu einem Coaster-eigenen App-Store, gepaart mit einer Erkennung des aktuellen Kontexts, sei es unmittelbar über Identifikation einer Aufgabe oder implizit über die Lokalisierung des Coasters. Somit hat der Mensch mit dem Coaster zu jederzeit die richtige selbstkonfigurierende Schnittstelle zum logistischen System in der Hand. Die Schnittstelle kann durch weitere Apps jederzeit an kommende Herausforderungen angepasst werden – noch für dieses Jahr sind Apps für Sprachausgabe, Google Glass und vieles mehr geplant.

Da der Coaster in jede Hosentasche passt, wird er zum helfenden Begleiter to go. Wer keine Hand frei hat, hängt ihn einfach ans Regal oder an den Stapler, denn das Smart Device ist magnetisch. Des Weiteren zeichnet sich der Coaster durch sein geringes Gewicht aus – vor allem im Vergleich zu konventionellen Kommissionier- und Arbeitsgeräten. Die haptische Größe und sein Gewicht in Kombination mit der technischen Funktionalität machen den Coaster zu einer großen Hilfe bei der Arbeit.

Der Coaster vernetzt sich mit allem und jedem: vom cyberphysischen System der Industrie 4.0 über die Cloud bis zu den sozialen Netzwerken eines zukünftigen Supply Chain Management.

Die Einsatzbereiche für den Coaster sind vielfältig. Der Coaster passt sich per Software an. Alles, was gefordert ist, soll machbar werden. Diese Vielfältigkeit und Flexibilität wird durch verschiedene Apps, die kontextbezogen auf ihn aufgespielt werden können, erzielt. Dadurch werden unterschiedliche Szenarien möglich.

dynamischer und flexibler zu agieren. Dies erfordert neue IT-gestützte Werkzeuge und proaktive Planungsprozesse, mit denen die Kluft zwischen verfügbarer und benötigter Reaktionszeit geschlossen werden kann.

Für die MMI bedeutet dies, die Schnittstellen so zu gestalten, dass eine Erhöhung der Prozess- und Produktqualität mit gesteigerter Arbeits- und Kundenzufriedenheit einhergeht. Wesentliche Zukunftsfelder in der Logistik werden sowohl in der Sensorik und Robotik als auch im Bereich der Software und Produktionssysteme gesehen. Als Anwendungsfelder für MMI kommen sowohl die Intralogistik als auch das Supply Chain Management zwischen Produzenten, Lieferanten und Kunden in Betracht.

Unterstützung durch intelligente Assistenzsysteme

Güter und Waren in der Industrie werden zunehmend erst in Reaktion auf Kundenaufträge und lokal verteilt produziert und ausgeliefert (Atomisierung der Auftragsstrukturen, vgl. Zweck et al. 2015, 108). Dies lässt Prozesse komplexer werden und stellt erhöhte Anforderungen an ihre Bearbeitung. Trotz des dynamischen Wandels in der Logistik, der mit dem Einzug automatisierter Lager- und Robotersysteme wie zum Beispiel KIVA bei Amazon einhergeht, bleibt der Mensch nach Meinung vieler Expertinnen und Experten auf absehbare Zeit im Vordergrund. Allerdings wird er zukünftig in höherem Maße von Assistenzsystemen unterstützt (vgl. Kasten 5).

Aktive Fehlervermeidung bei der manuellen Kommissionierung mit Augmented Reality

Im Bereich der Lagerlogistik sind häufig manuelle Kommissioniersysteme im Einsatz, diese sind gleichzeitig aber auch besonders fehleranfällig. Nach einer Umfrage der Bundesvereinigung Logistik (vgl. ten Hompel et al. 2014) besteht hoher Bedarf, mittels neuer Informationstechnologien Innovationen im Logistikbereich stärker zu fördern. Ein vielversprechender Ansatz besteht in der Integration von Augmented-Reality-Technologien. Hierbei wird

der Beschäftigte zum Beispiel bei der Kommissionierung durch eine Datenbrille unterstützt (Pick by Vision). Diese blendet nützliche Informationen zur Zusammenstellung der Artikel ein, weist den kürzesten Weg zum Regal und überprüft mittels Kamera den vollständigen Warenkorb. Die tatsächliche Umgebung wird hierbei mit virtuellen Informationen ergänzt.

„In Zukunft wird es normal sein, mit seinem Regal zu reden.“

Mit diesem Verfahren reduziert sich die Fehlerquote gegenüber der klassischen Kommissionierung um bis zu 40 Prozent (vgl. BVL 2015). Dies vermeidet Folgekosten durch fehlerhafte Auftragsbearbeitung und erhöht die Kundenzufriedenheit. Das Verfahren hat den Sprung aus der Forschung in die Marktreife geschafft und wird gegenwärtig von spezialisierten Logistikern in der Automobilindustrie eingeführt. Zudem ergänzen weitere Anwendungen technischer Assistenzsysteme die Kommissionierung, zum Beispiel Pick by Light oder Pick by Voice. Allerdings müssen die Potenziale des Einsatzes sichtbarer vermittelt und Lösungen bedarfsgerecht angepasst werden, damit solche Assistenzsysteme breitflächig auch bei kleinen und mittleren Unternehmen zum Einsatz kommen (vgl. Agiplan GmbH et al. 2015, 94).

7.2.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG

Technologische Herausforderungen

Beim Einsatz neuer Assistenzsysteme sowohl bei der personalisierten Mobilität wie auch bei der Logistik gilt wie für alle MMI-Anwendungen, dass die System-, Prozess- und Datensicherheit der Systeme zu jeder Zeit gewährleistet sein muss. Bei selbstfahrenden Fahrzeugen muss die

Grundfunktionalität in ausnahmslos jeder Situation gewährleistet sein (vgl. Kapitel 3.4).

Zudem besteht im Bereich des Schutzes von Daten ein weiteres Spannungsfeld: Private Daten müssen geschützt werden, öffentlich verfügbare Verkehrsdaten müssen dagegen allgemein zugänglich sein. Das japanische Vehicle Information and Communication System (VICS) zeigt, wie eine mögliche Rollenverteilung bei der Koordination der Verkehrsdaten aussehen kann. VICS wurde von staatlicher Seite initiiert und unter staatlicher Aufsicht durch ein Konsortium von rund neunzig Firmen realisiert und finanziert. Die Straßenverkehrsteilnehmer können kostenfrei auf die umfangreichen Verkehrsinformationen des Systems zugreifen. Die notwendigen Daten für das intelligente Verkehrsnetz werden landesweit durch ein von der öffentlichen Hand betriebenes Sensornetzwerk erhoben. In den Fahrzeugen sind sogenannte VICS OnBoard Units notwendig, die inzwischen zur Serienausstattung in Neufahrzeugen in Japan gehören (vgl. BITKOM 2012, 31).

Entwicklungsbedarf ist zudem bei der Entwicklung (teil-)autonomer Systeme für Katastropheneinsätze vorhanden. Es bestehen außerdem technologische Bedarfe bei der kontextsensitiven Interpretation von Signalen und Gesten im Straßenverkehr. Darüber hinaus gibt es beispielsweise auch dringende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe in den Bereichen Rollstühle, Beinprothesen oder barrierefreie Mobilität wie automatisches Ausfahren von Rampen beim Erkennen von Rollstühlen oder Kinderwagen.

Auch im Bereich der Logistik ergeben sich durch die zunehmende informationslogistische Vernetzung neue Herausforderungen für den Aufbau digitaler Infrastruktur und den Schutz von Daten. Dazu zählen Fragen der Miniaturisierung von IT, die Organisation einer sicheren Cloud-Landschaft und der angemessene Umgang mit Big-Data-Themen. Der Informationslogistik als Bindeglied zwischen IT und Produktion kommt eine Schlüsselrolle sowohl beim Management

als auch beim Design dieser Systeme zu (vgl. ten Hompel et al. 2014, 8).

Mit Bezug auf die Vernetzung von Verkehrsträgern ist diese bereits in einigen Fällen umgesetzt, eine weiter gehende Vernetzung würde nach Ansicht der Expertinnen und Experten einen Ausbau der dafür notwendigen Telematik-Infrastrukturen notwendig machen. Perspektivisch werden sich verkehrsträgerübergreifende und intermodale Transportkonzepte entwickeln, bei denen alle Akteure (Fahrzeuge, Geräte, Unternehmen und Personen) entlang ganzheitlicher, transmodaler Logistikketten verbunden wären.

Gesellschaftliche Herausforderungen

Hinsichtlich gesellschaftlicher Herausforderungen im Bereich Mobilität verbinden sich viele Fragen, die übergeordnete Bedeutung haben und deshalb in Kapitel 5 bereichsübergreifend behandelt werden, zum Beispiel Haftungsfragen oder der ethische Umgang mit kritischen Entscheidungssituationen.

Mit Bezug zum spezifischen Bereich des automatisierten Fahrens stellt sich die Frage nach dem rechtlichen Rahmen, der die Nutzung überhaupt erst ermöglicht. Von Expertinnen und Experten wird eine Anpassung des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr von 1968 gefordert, nach dem jeder Fahrzeugführer sein Fahrzeug dauerhaft beherrschen können muss. Hier sind Verantwortungsgrenzen mit Blick auf Haftungs- und Versicherungsrecht neu zu definieren. Zudem ist eine Anpassung der technischen Infrastruktur zu diskutieren und auch Fragen des Besitzanspruchs auf die erhobenen Daten sind zu klären. Dies ist zum Beispiel insbesondere bei der Geolokalisierung relevant: Sollen die Bewegungen von Menschen lückenlos nachvollzogen und überwacht werden?

Für den Bereich der Logistik ergeben sich ebenfalls Herausforderungen mit gesellschaftlichem Bezug. Dabei steht der vernetzte Mensch im Vordergrund, an dessen Bedürfnisse

und Mobilitätsgewohnheiten Logistikservices individuell angepasst werden müssen (Social Logistics).

Gesellschaftliche Herausforderungen stellen sich auch bei der Compliance-Thematik, zum Beispiel bei Lebensmittelketten: So führen Lebensmittelskandale regelmäßig zu Forderungen nach mehr Transparenz und Compliance. Für die Supply Chains im Lebensmittel- und Pharmabereich zieht dies eine Reihe von Herausforderungen nach sich, etwa Fragen der Rechtskonformität von Daten-/Diensteangebot und -nutzung, die Sicherheit und der Schutz der ausgetauschten Daten, Compliance-Analysen, welche Daten/Dienste angeboten werden, Risikobetrachtungen, Filterung, Anonymisierung/Pseudonymisierung, Monitoring oder die Verwendung der Daten zu Abrechnungszwecken. Diese Herausforderungen sind nur zu bewältigen, wenn es gelingt, automatisierte und dezentrale Verfahren zur Herstellung und Prüfung von Transparenz und Compliance zu entwickeln.

7.3 ANWENDUNGSBEREICH PRODUKTION

Der Produktionsbereich ist für die Sicherung der globalen Wettbewerbsfähigkeit und die wirtschaftliche Prosperität Deutschlands von herausragender Bedeutung. Maschinen- und Anlagenbau, Automobilindustrie, Metallindustrie und die chemische Industrie stehen traditionell für die Stärken des Wirtschaftsstandortes Deutschland und besitzen eine hohe Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit, insbesondere bei Technologien mit hoher Forschungs- und Entwicklungsintensität (vgl. EFI 2015). Gleichzeitig betrug der Anteil der Industrie an der Bruttowertschöpfung in Deutschland im Jahr 2014 22,3 Prozent und war damit im internationalen Vergleich deutlich höher als in anderen Ländern (Statistisches Bundesamt 2015). Der Entwicklung dieser Branchen und der Industrie insgesamt fällt somit in volkswirtschaftlicher Sicht ein besonderes Gewicht zu.

Im Bereich der Industrie finden sich zahlreiche Anwendungsfelder der MMI, in denen sich neue Entwicklungen abzeichnen. Ein Schwerpunkt liegt zunehmend auf der Kollaboration mit intelligenten und autonomen Robotern (Cobots), die in Fabriken nicht mehr durch Zäune von den Beschäftigten getrennt sind, sondern sich die Arbeitsfläche mit ihnen teilen. Die Expertinnen und Experten bescheinigen einstimmig, dass in der Robotik gegenwärtig ein neues Zeitalter anbreche, das mit einer Vielzahl neuer Anwendungen verbunden ist und enorme Wachstumspotenziale bereithält.

Neben den klassischen Industrierobotern in Fertigungsstraßen, die weiterhin einen Wachstumsmarkt bilden, steigt auch das Geschäft mit Servicerobotern, die sowohl im Fertigungsprozess als auch bei industrienahen Dienstleistungen neue Aufgaben übernehmen (zum Beispiel Wartung, Montage, Justage). Jenseits der Produktion entstehen darüber hinaus ganz neue Anwendungen, die von Robotern angeboten werden (zum Beispiel Reinigung, Exploration, Einsatz in gefährlichen Umgebungen).

„Bei diffizilen Montageprozessen werden wir noch lange Menschen brauchen.“

Daneben entstehen neue leistungsfähige Informations- und Assistenzsysteme (zum Beispiel intelligente Benutzeroberflächen, automatische Spracherkennungssysteme, Verfahren der Augmented Reality), welche die Beschäftigten effektiv und in Echtzeit bei der Planung und Durchführung ihrer Aufgaben unterstützen. In der Prozessindustrie haben neue Sensorsysteme einen hohen Stellenwert und werden zur Qualitätssicherung in der Produktion sowie für die Gewährleistung der Arbeitsplatzsicherheit im Rahmen einer sicheren Mensch-Maschine-Interaktion eingesetzt.

Nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten werden diese Entwicklungen in Deutschland vom Leitbild

einer humanzentrierten Automatisierung getragen, in der Maschinen die Sicherheit, Gesundheit, Kompetenz und Produktivität der Beschäftigten unterstützen, anstatt mit diesen zu konkurrieren.

7.3.1 ANWENDUNGSFELDER

Die Darstellung der Anwendungsfelder kann im Rahmen dieser Studie nur cursorisch erfolgen, für den Bereich Produktion werden deshalb zwei Schwerpunkte gewählt: Neben Industrie- und Servicerobotern werden Beispiele intelligenter Informations- und Assistenzsysteme ausgeführt, die die Arbeiterin oder den Arbeiter bei der Ausübung ihrer beziehungsweise seiner Tätigkeit in der Produktion unterstützen.

„Welche Länder haben die geringste Arbeitslosenquote? Die mit der höchsten Roboterdichte.“

Die Mensch-Maschine-Interaktion in der Industrie wird stark von neuen Technologien getrieben. Aus betrieblicher Sicht können die Beschäftigten in der Produktion hierdurch zukünftig auf neue Art und Weise in ihren Arbeitsprozessen unterstützt werden. Gleichzeitig ergeben sich aus volkswirtschaftlicher Sicht erhebliche Wertschöpfungspotenziale für die Länder, die sich in Forschung und Wirtschaft in diesem Bereich einen Vorsprung erarbeiten können (vgl. McKinsey/VDMA 2014).

Unterstützung durch Industrie- und Servicerobotik

Alle großen Industrieländer haben Roboterstrategien entwickelt, um die weitere Entwicklung systematisch zu begleiten und für sich zu nutzen (vgl. zum Beispiel USA Robotics VO 2013; EU: euRobotics AISBL 2014; Japan: Robot Revolution Realization Council 2015).

Deutschland ist nach Meinung der Expertinnen und Experten in Forschung und Entwicklung zur Robotik gut aufgestellt und nimmt im weltweiten Wettbewerb einen Spitzenplatz ein. Mit Blick auf die Robotik- und Automationsbranche im engen Sinne ist festzuhalten, dass sie mit einem Wachstum von 13,8 Prozent pro Jahr (2010–2012) und einer Marge von 7,4 Prozent (2012) sehr erfolgreich agiert und besser abschneidet als der Maschinen- und Anlagenbau insgesamt (vgl. McKinsey/VDMA 2014, 7). Aber auch die deutsche Anwenderindustrie, wie zum Beispiel die Automobilindustrie, verbessert ihre Wettbewerbsposition durch die konsequente Anpassung der Produktion an die neuesten Entwicklungen der Industrie- und Servicerobotik nachhaltig.

Mit der weiteren Entwicklung der Robotik werden die Möglichkeiten des Einsatzes vielfältiger, die Produktion kann zunehmend individualisierter erfolgen. Für die Mensch-Maschine-Interaktion bedeutet dies, dass die Zusammenarbeit zwischen Roboter und Beschäftigtem deutlich ausgeweitet wird und neue sozio-technische Systeme entstehen (Stichwort „Arbeitskollege Computer“ im BMBF-Foresight-Prozess, vgl. Zweck et al. 2015). Die Kollaboration und einzelne Arbeitsprozesse sind zwischen Mensch und Maschine neu auszutarieren und erfordern deshalb auch neue Arrangements im betrieblichen Verhältnis zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern.

Die Fortschritte in der Robotik und bei softwaregestützten Informationsangeboten ermöglichen Anwendungen in vielen Feldern, von denen hier einige aus dem industrienahen Umfeld exemplarisch vorgestellt werden.

Assistenz in gefährlichen und unzugänglichen Umgebungen

Die Robotik unterstützt seit den 1950er-Jahren Menschen bei Arbeiten in schwierigen Umgebungen. Mithilfe der Telerobotik können einfache Roboter seit Langem aus der Distanz gesteuert werden, beispielsweise um radioaktive

Gegenstände aus der Entfernung zu manipulieren. Diese Systeme haben rein mechanische Kopplungen zwischen einem externen Handhabungssystem und einfachen Roboterarmen. Die Motivation, Menschen von gefährlichen Umgebungen oder Gegenständen fernzuhalten, bleibt auch weiterhin aktuell. Idealerweise werden künftig autonome oder teilautonome Roboter verwendet, die mit Expertinnen und Experten zusammenarbeiten oder von ihnen gesteuert werden und wesentlich komplexere Aufgaben durchführen können. Nur so kann der Mensch auch tatsächlich sehr weit vom Roboter entfernt sein, was in vielen Szenarien zu mehr Möglichkeiten und mehr Sicherheit führt:

- Themenfeld CBRNE (chemische, biologische, radiologische, nukleare und explosive Gefahrstoffe): Es gibt zahlreiche Bereiche, in denen mit Radioaktivität, gefährlichen Chemiestoffen oder auch gefährlichen Viren oder Bakterien gearbeitet werden muss. Menschen von diesen Stoffen fernzuhalten, hat höchste Priorität, um bei Bedrohungs- und Gefahrenlagen, die zum Beispiel durch Industrieunfälle entstehen können, möglichst wenige Menschen Risiken auszusetzen. Autonome Roboter, die als Laborassistenten arbeiten können, nukleare Abfälle handhaben etc., wären hier sehr wünschenswert, existieren jedoch noch nicht.
- Tiefseebergbau: Der Tiefseebergbau stellt eine bisher wenig beachtete Alternative zum Landbergbau dar, die die Rohstoffversorgung mit fortschrittlichen und nachhaltigen Technologien ergänzen kann. Autonome Unterwasserfahrzeuge in Kombination mit schiffsgebundenen Messverfahren werden zur Erkundung potenzieller Abbaugelände genutzt. Der Abbau in Tiefen von 3.000 bis 5.000 Metern kann nur von autonomen oder ferngesteuerten Systemen durchgeführt werden. Diese existieren bisher nur im Rahmen von Forschungsaufträgen.
- Weltraumforschung und Raumfahrt: Die Vorstellung, Objekte im Weltall zu erforschen, zum Beispiel Planeten, Asteroiden, Kometen, bleibt weiterhin

aktuell. Eine andere Vision ist der Bau und die Instandhaltung von Raumbasen, Weltraumstützpunkten oder Raumstationen, die für die industrielle oder energietechnische Versorgung wichtig werden könnten. Im Rahmen des Robonaut-Projekts der NASA wird seit vielen Jahren an Robotern für diese Aufgaben geforscht. Die Mars-Rover von JPL waren auf diesem Gebiet ein sehr erfolgreiches Projekt, wenngleich die Rover nur einen sehr geringen Grad an Autonomie hatten. Zudem gewinnt die Raumfahrt an Bedeutung. Das heißt, dass die Satelliteninfrastruktur um die Erde für Bereiche wie Kommunikation, Navigation, Wettervorhersage, Broadcasting, Erdbeobachtung und Sicherheit sich zukünftig von „Wegwerfsatelliten“ hin zu wartbaren, unbemannten Systemen und Stationen entwickeln wird. Hierbei wird die Raumfahrtrobotik sicher eine umfassende Rolle spielen.

Unterstützung durch intelligente Informations- und Assistenzsysteme

Nach Meinung der Expertinnen und Experten werden im Produktionsumfeld technische Innovationen bei Maschinen für Industriekunden immer selbstverständlicher, weshalb Fragen der Ergonomie von Systemen und integrierte Assistenzsysteme zur Differenzierung zunehmend wichtiger werden. Intelligente MMI-Systeme können einen wertvollen Beitrag zu wesentlichen Kommunikations- und Koordinationsaufgaben leisten (vgl. Peissner/Hipp 2013). Das Wissensmanagement kann unterstützt werden durch selbstlernende Bedienhilfen, zu denen sowohl intelligente Sensoren als auch menschliche Bediener mit Wissen über Abläufe, Strategien zur Fehlerbehebung, Verfahrensanweisungen etc. beitragen.

Intelligente Mechanismen zur optimierten Kapazitätsplanung und kooperativen Aufgabendelegation können Kosten in der Produktion einsparen und zugleich Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine selbstbestimmte Arbeits- und Zeitplanung ermöglichen (vgl. zum Beispiel

Kasten 6: Smart Textiles

Smart Textiles zeichnen sich dadurch aus, dass elektronische Komponenten direkt in den Stoff integriert werden, zum Beispiel leitendes Garn, biegsame Antennen und Sensoren, Mikro-Controller oder auch Heiz- und Leuchtelemente. Wearables sind so nicht mehr auf starre Accessoires wie Brillen oder Armbänder beschränkt. Von jedem Menschen bereits jetzt am Körper – zum Beispiel in Form von Kleidungsstücken und Schuhen – sowie im Lebensumfeld genutzte Alltagsgegenstände lassen sich mit Intelligenz und zusätzlichen Funktionen anreichern, die sich nahtlos in seinen Tagesablauf einfügen. Die taktile, körpernahe Interaktion der

Smart Textiles ermöglicht dabei auch barrierefreie Zugänge für Menschen, die klassische Steuerungs- und Eingabewege aus unterschiedlichsten Gründen nicht nutzen können.

Smart Textiles bieten eine Chance, die früh aus Deutschland abgewanderte Textilindustrie in Form digitaler Design- und Produktionsökosysteme für Funktionstextilien wieder anzusiedeln (Re-Shoring). Statt auf eine Massenfertigung sind diese auf eine flexible Skalierung der Fertigung vom Einzelstück bis hin zur Serienproduktion und auf die Anpassbarkeit jedes Schritts in der Prozesskette an die Anforderungen des Auftraggebers ausgelegt.

Bauer et al. 2014). Ein Beispiel hierfür stellt das vom BMBF geförderte und am Fraunhofer IAO entwickelte *KapaflexCy*-Projekt dar. Gleichzeitig ist es jedoch noch offen, inwieweit Herausforderungen durch mögliche zeitliche Überforderungen für die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer entstehen können.

Im Bereich der intelligenten Informations- und Assistenzsysteme gibt es eine Reihe interessanter Entwicklungen, die sich aber oft noch in der Forschungs- und Erprobungsphase befinden. Entsprechend gestalten sich Aussagen über Kundenbedürfnisse sowie Markt- und Wertschöpfungspotenziale im Vergleich zur Robotik deutlich schwieriger. An dieser Stelle werden einige Anwendungsfelder aufgezeigt, die das Arbeiten im industriellen Umfeld sicherer, effizienter und nutzerfreundlicher machen könnten.

Intelligente Benutzeroberflächen

Als Adaptive User Interfaces werden intelligente Benutzeroberflächen bezeichnet, die sich selbstständig an die individuellen Bedürfnisse des Benutzers anpassen. Diese Individualisierung erfolgt durch eine semantische User-Modellierung, die alle relevanten Aktivitäten und Daten des Nutzers und des Einsatzkontexts zusammenführt und auswertet. Das System passt sein Verhalten dann dynamisch

an die Erfordernisse, zum Beispiel den Aufmerksamkeitsgrad des Nutzers und die Komplexität der Aufgabe, an.

„Der Nutzer soll zum Konstrukteur seiner Hilfsmittel werden.“

Diese Anpassung kann folgende vier Gestaltungsbereiche umfassen: die Auswahl des Inhalts durch die Priorisierung relevanter Elemente (Content) (1), die Anpassung der Darstellung der Informationen inklusive Farben, Schriftgröße, Layout etc. (Presentation) (2), multimodale Eingabemechanismen, die verschiedene Eingabegeräte und Technologien unterstützen (Interaction) (3), und die Navigation im System durch Definition effizienter Pfade der Nutzer zu benötigten Informationen oder Funktionalitäten (4). Die technische Umsetzung ist hier sehr anspruchsvoll, aber inzwischen weit fortgeschritten. Der Ansatz ist vor allem für komplexe Anwendungen in einem dynamischen Umfeld und zum Beispiel für ältere Nutzer interessant (vgl. zum Beispiel Peissner et al. 2012).

Nutzung von Augmented-Reality-Verfahren

Unter Augmented Reality (AR) ist die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung zu verstehen

(vgl. Kapitel 3.3). So kann bei der Montage beispielsweise virtuell genau angezeigt werden, wo einzelne Bauteile angebracht werden sollen. Ein zukunftsweisendes Konzept verfolgt Google mit seinem *Project Glass*, der Vision einer intelligenten Datenbrille mit AR-Elementen. Während sie im Alltag eher auf Ablehnung stieß, schätzen die befragten Expertinnen und Experten das Potenzial von Datenbrillen im beruflichen Bereich als sehr hoch ein. Für die industrielle Anwendung wurde bereits in großen Verbundprojekten (wie zum Beispiel *AVILUS*) viel Forschungsarbeit geleistet.

Während die ersten AR-Systeme noch Speziallösungen waren, treten diese ihre Funktion immer mehr an universale Geräte ab. Mit GPS-Empfang, Wi-Fi-Hotspot-Lokalisierung, Magnetfeld- und Inertialsensorik bringen zum Beispiel Smartphones heute alle Voraussetzungen für die orts- und lageabhängige Informationsdarstellung mit.

Mögliche Einsatzgebiete in der Produktion sind mobile Unterstützungssysteme zur Instandhaltung sowie der Bedienung von Werkzeug und Produktionsmaschinen. Noch sind AR-Systeme zu aufwendig und kostenintensiv für die breite Anwendung in den gegenwärtigen Produktionsanlagen.

7.3.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG

Die Entwicklung von Servicerobotern und intelligenten Assistenzsystemen befindet sich zum Großteil noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase, mit wenigen Fällen der Kommerzialisierung. Die Entwicklung in verschiedensten Technologiebereichen schreitet jedoch rasant voran und wird mittelfristig zu kooperativen und integrierten Roboterlösungen führen. Expertinnen und Experten prognostizieren eine nachhaltige Durchdringung der verschiedenen Industriebranchen mit Assistenzrobotern für die Zeit nach 2020.

Technologische Herausforderungen

Übergeordnete Herausforderungen für alle neuen Formen der MMI in diesem Bereich sind der sichere Umgang mit den Anwendungen (zum Beispiel Einpassung der Arbeitsabläufe bei Wegfall von Schutzzäunen), die intuitive Bedienbarkeit (Usability), die Akzeptanz der Technik und die Integration der MMI in die bestehende Lebens- und Arbeitswelt der Beschäftigten (vgl. Kapitel 5).

„Wirkliche Innovationen werden auf der Softwareseite stattfinden, auch bei der Robotik.“

Herausforderungen in der Forschung stellen sich im Bereich der Grundlagen bei den Kognitionswissenschaften, bei der Entwicklung teil- oder vollautomatisierter technischer Systeme, aber auch im Bereich der Arbeits- und Organisationsforschung zur Schaffung optimierter MMI-Schnittstellen beziehungsweise beim gesellschaftlichen Umgang mit den laufenden Veränderungen. Im Bereich der Entwicklung anwendungsnaher Technologien für die Industrie bestehen nach wie vor Fragen zu allen Kernbereichen der MMI. Mit Blick auf die Robotik bleibt festzuhalten, dass der momentane Stand der Technik nach Expertenmeinung noch ziemlich weit davon entfernt ist, um von einem kognitiven Wettbewerb zwischen Mensch und Maschine zu sprechen.

Gegenwärtige Forschung konzentriert sich auf Blick-, Gesten- und Zustandserkennung. Außerdem arbeitet die Entwicklung an neuen Modellen von Leichtbaurobotern, die vielfältiger einsetzbar und kostengünstiger und damit für den Mittelstand attraktiver werden sollen. Softwareseitig dreht sich die Forschung um Betriebssysteme und intuitive, industriespezifische App-Stores für Robotik, analog zu den erfolgreichen Modellen aus der Konsumindustrie.

Gesellschaftliche Herausforderungen

Viele Fragen, die sich in gesellschaftlicher Hinsicht aus dem Industriebereich ableiten, sind verallgemeinerbar und wurden deshalb in Kapitel 5 zu den sozialen, ethischen und rechtlichen Aspekten innovativer MMI ausführlicher behandelt.

Einig sind sich die Expertinnen und Experten, dass sich das normative Leitbild der MMI im Produktionsbereich in Deutschland an einer nutzerfreundlichen Zusammenarbeit des Menschen mit intelligenten Maschinen und Robotern über geeignete intuitive Schnittstellen und der Ermöglichung guter Arbeit durch neue Assistenzsysteme orientieren sollte (vgl. Forschungsunion/acatech 2013; Kurz 2013).

LITERATUR

acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Menschen und Güter bewegen*, Berlin/Heidelberg: 2012.

acatech 2015

acatech (Hrsg.): *Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft*, 2015. URL: <http://www.acatech.de/neue-automobilitaet> [Stand: 01.02.2016].

ADL 2014

ADL (Arthur D. Little): *Succeeding with Digital Health. Winning Offerings and Digital Transformation*, 2014.

Agiplan GmbH et al. 2015

Agiplan GmbH/Fraunhofer IML/ZENIT GmbH (Hrsg.): *Er-schließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand* (Studie im Auftrag des BMWi), Mülheim an der Ruhr: 2015.

Altman 2015

Altman, R.: „Distribute AI Benefits Fairly“. In: *Nature*, 521, 2015, S. 417–418.

AMA Verband Sensorik und Messtechnik 2015

AMA Verband für Sensorik und Messtechnik: *Sensorik und Messtechnik mit sechs Prozent Umsatzwachstum*, Pressemitteilung, 2015. URL: <http://www.ama-sensorik.de/de/presse/pressemitteilungen-2015> [Stand: 01.02.2016].

Amos/Müller 2013

Amos, A./Müller, B.: „Herausforderungen und Perspektiven für Märkte im Bereich kognitiver und robotischer Systeme“. In: Hilgendorf, E./Günther, J. (Hrsg.): *Robotik und Gesetzgebung*, Baden-Baden: 2013, S. 29–50.

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015

Arbeitskreis *Smart Service Welt/acatech: Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft*, Berlin: 2015.

Asfour 2014

Asfour, T.: „Active Visual Perception for Humanoid Robots“. In: *ICRA 2014 – Workshop on „Active Visual Learning and Hierarchical Visual Representations for General-Purpose Robot Vision*, 2014.

Bain & Company 2015

Bain & Company: *Presentation on HMI Overview*, München: 2015.

Battaglia/Carnevale 2014

Battaglia, F./Carnevale, A.: „Epistemological and Moral Problems with Human Enhancement“. In: Battaglia, F./Carnevale, A. (Hrsg.): *Humana Mente. Reframing the Debate on Human Enhancement* (Issue 26), 2014, S. III–XXI.

Bauer et al. 2014

Bauer, W./Schlund, S./Marrenbach, D./Ganschar, O.: *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, BITKOM und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hrsg.), 2014.

BCG 2014

BCG (The Boston Consulting Group): *The Rise of Robotics*, 2014. URL: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/business_unit_strategy_innovation_rise_of_robotics/ [Stand: 01.02.2016].

BCG 2015a

BCG: *BCG Studie – Industrie 4.0. Beschäftigung und Wachstum durch Industrie 4.0*, 2015.

BCG 2015b

BCG: *Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce through 2025?*, 2015.

BDI 2015

BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.): *Digitale Agenda der deutschen Wirtschaft. Chancen nutzen. Vertrauen stärken. Gemeinsam handeln*, Berlin: 2015.

Beck 2013

Beck, S.: „Über Sinn und Unsinn von Statusfragen – zu Vor- und Nachteilen der Einführung einer elektronischen Person“. In: Hilgendorf, E./Günther, J. (Hrsg.): *Robotik und Gesetzgebung*, Baden-Baden: 2013, S. 239–262.

Benedikter 2015

Benedikter, R.: „Drei Schritte zum ‚Transhumanismus‘“. In: *Heise Telepolis vom 11.01.2015*. URL: <http://www.heise.de/tp/artikel/43/43788/1.html> [Stand: 01.02.2016].

BfA 2013

BfA (Bundesagentur für Arbeit): *Der Arbeitsmarkt in Deutschland – Fachkräfteengpassanalyse Dezember 2013*, Nürnberg: 2013.

BfDI 2015

BfDI (Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit): *Pressemitteilung vom 16.07.2015* (18/2015). URL: http://www.bfdi.bund.de/DE/Infothek/Pressemitteilungen/2015/18_WarnungVorFitnessapps.html [Stand: 01.02.2016].

Bishop 2006

Bishop, C. M.: *Pattern Recognition and Machine Learning. Information Science, Statistics*, Springer 2006.

BITKOM 2012

BITKOM: *Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland*, Berlin: 2012.

BMBF 2011

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung): *BMBF-Projekt SELBST: Ein innovatives Dienstleistungskonzept zur Unterstützung älterer Menschen und deren Angehörige*, 2011. URL: <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/453323008.html> [Stand: 01.02.2016].

BMBF 2014a

BMBF: *Bekanntmachung vom 29. Oktober 2014 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet „Pflegeinnovationen zur Unterstützung informell und professionell Pflegenden“ im Rahmen der BMBF-Initiative „Pflegeinnovationen 2020“*, 2014. URL: <http://www.bmbf.de/foerderungen/25022.php> [Stand: 01.02.2016].

BMBF 2014b

BMBF: *Die neue Hightech-Strategie, Innovationen für Deutschland*, Berlin: BMBF 2014.

BMBF 2015a

BMBF: *Technik zu Menschen bringen. Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion*, Berlin: 2015.

BMBF 2015b

BMBF: *ZukunftsMonitor „Gesundheit neu denken“. Ergebnisse*, Berlin: 2015.

BMBF 2015c

BMBF: *Bekanntmachung vom 12. Mai 2015 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien über die Förderung zum Themenfeld „Zivile Sicherheit – Innovative Rettungs- und Sicherheitssysteme“ im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit 2012 – 2017“ der Bundesregierung*, 2015. URL: <http://www.bmbf.de/foerderungen/27179.php> [Stand: 01.02.2016].

BMG 2013

BMG (Bundesministerium für Gesundheit): *Abschlussbericht zur Studie Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme*, Berlin: 2013.

BMVI 2015

BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur): *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten*, Berlin: 2015.

BMWi 2013a

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie): *Multimodale Sensorik – Konzepte der Umwelterkennung/-modellierung. Leitfaden für Hersteller und Anwender*, Berlin: 2013.

BMWi 2013b

BMWi: *Mensch-Technik-Interaktion. Leitfaden für Hersteller und Anwender*, Berlin: 2013.

BMWi 2015a

BMWi: *Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation*, Berlin: 2015.

BMWi 2015b

BMWi: *Die Gesundheitswirtschaftliche Gesamtrechnung für Deutschland*, Berlin: 2015.

BMWi 2015c

BMWi: *Schlaglichter der Wirtschaftspolitik. Monatsbericht September 2015*, Berlin: 2015.

Bogue 2013

Bogue, R.: „Recent Developments in MEMS Sensors: a Review of Applications, Markets and Technologies“. In: *Sensor Review*, 33, 2013, S. 300–304.

Bohannon 2015

Bohannon, J.: „The Synthetic Therapist“. In: *Nature*, 349, 2015, S. 250–251.

BostonDynamics 2008

BostonDynamics: *Big Dog, the Rough-Terrain Quaduped Robot*. URL: http://www.bostondynamics.com/img/BigDog_IFAC_Apr-8-2008.pdf [Stand: 01.02.2016].

Bostrom 2008

Bostrom, N.: „Why I Want to be a Posthuman When I Grow Up“. In: Gordijn, B./Chadwick, R. (Hrsg.): *Medical Enhancement and Posthumanity*, Berlin: Springer 2008, S. 107–137.

Burkhart et al. 2012

Burkhart, M./Ostwald, D. A./Ehrhard, T.: *112 – und niemand hilft*, PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) in Kooperation mit dem Wirtschaftsforschungsinstitut WifOR (Hrsg.), 2012.

BVL 2015

BVL (Bundesvereinigung Logistik): *Innovation in der Logistik – Fallbeispiel 4 „Pick-by-Vision“*, 2015. URL: <http://www.bvl.de/thema/innovation-in-der-logistik/fallbeispiele/beispiel4> [Stand: 01.02.2016].

Danish Council of Ethics 2010

Danish Council of Ethics: *Recommendations Concerning Social Robots*, Kopenhagen: 2010.

Davison 2003

Davison, A. J.: „Real-time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera“. In: *IEEE: 9th IEEE International Conference on Computer Vision. Proceedings*, 2, 2003, S. 1403–1410.

Deloitte 2014

Deloitte: *Perspektive E-Health. Consumer-Lösungen als Schlüssel zum Erfolg?*, 2014.

Deng 2015

Deng, B.: „Machine Ethics: The Robot's Dilemma“. In: *Nature*, 523, 2015, S. 24–26.

Deutsche Bank Research 2015

Deutsche Bank Research: *Augmented Reality*, Frankfurt a. M.: 2015.

Dickow 2015

Dickow, M.: *Robotik – ein Game-Changer für Militär und Sicherheitspolitik?* (SWP-Studien 2015/S 14, Juni 2015), Berlin: 2015.

Dietterich/Horvitz 2015

Dietterich, T./Horvitz, E.: „Rise of Concerns about AI: Reflections and Directions“. In: *Communications of the ACM*, 58: 10, 2015, S. 38–40.

DLR 2014

DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt): *Erstes Projekt des Helmholtz-Validierungsfonds erfolgreich bewertet*, 2014. URL: http://www.dlr.de/tm/desktopdefault.aspx/tabid-7986/14962_read-39485/ [Stand: 01.02.2016].

EFI 2015

EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation: *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015*, Berlin: EFI 2015.

Ethikrat 2015

Ethikrat: *Die Vermessung des Menschen – Big Data und Gesundheit* (Jahrestagung des Deutschen Ethikrats), 2015.

euRobotics AISBL 2014

euRobotics AISBL: *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap. For Robotics in Europe*, Brüssel: 2014.

Färber 2015

Färber, B.: „Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: Springer 2015, S. 127–146.

Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft/acatech 2013

Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft/acatech (Hrsg.): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*, Berlin: 2013.

Fraunhofer IAO 2015

Fraunhofer IAO: *Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen* (Studie im Auftrag des BMWi), 2015.

Frey/Osborne 2013

Frey, C./Osborne, M.: *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?*, Oxford: Oxford Martin School 2013.

Future of Life Institute 2015a

Future of Life Institute: *Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence: an Open Letter*, 2015. URL: http://futureoflife.org/AI/open_letter [Stand: 01.02.2016].

Future of Life Institute 2015b

Future of Life Institute: *Autonomous Weapons: an Open Letter from AI & Robotics Researchers*, 2015. URL: http://futureoflife.org/AI/open_letter_autonomous_weapons [Stand: 01.02.2016].

Garcia Rosa 2013

Garcia Rosa, J. L.: „Biologically Plausible Artificial Neural Networks“. In: Suzuki, K. (Hrsg.): *Artificial Neural Networks - Architectures and Applications*, Rijeka: 2013, S. 25–52.

Gasser 2015

Gasser, T.: „Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: 2015, S. 543–574.

Gerdes/Thornton 2015

Gerdes, J./Thornton, S.: „Implementable Ethics for Autonomous Vehicles“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: 2015, S. 87–102.

Gigerenzer 2015

Gigerenzer, G.: „On the Supposed Evidence for Libertarian Paternalism“. In: *Review of Philosophy and Psychology*, September 2015, 6: 3, 2015, S. 361–383.

Greenberg 2015

Greenberg, A.: *Hackers Remotely Kill a Jeep on the Highway – with Me in It*, 2015. URL: <http://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-kill-jeep-highway/> [Stand: 01.02.2016].

Grosse-Wentrup 2012

Grosse-Wentrup, M.: „Gehirn-Computer-Schnittstelle – eine neue Form der Kommunikation“. In: *Forschungsbericht 2012 – Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme*, 2012.

Gruber 2013

Gruber, M.: „Zumutung und Zumutbarkeit von Verantwortung in Mensch-Maschine-Assoziationen“. In: Hilgendorf, E./Günther, J. (Hrsg.): *Robotik und Gesetzgebung*, Baden-Baden: 2013, S. 123–162.

Grunwald 2015

Grunwald, A.: „Gesellschaftliche Risikokonstellationen für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: Springer 2015, S. 661–685.

Hamari/Koivisto 2013

Hamari, J./Koivisto, J.: *Social Motivations to Use Gamification: An Empirical Study of Gamifying Exercise* (ECIS 2013 Proceedings), 2013.

Hanisch 2014

Hanisch, J.: „Zivilrechtliche Haftungskonzepte für Robotik“. In: Hilgendorf, E. (Hrsg.): *Robotik im Kontext von Recht und Moral*, Baden-Baden: 2014, S. 27–62.

Harris 2015

Harris, M.: *Wie Roboter und Menschen am besten kooperieren*, 2015. URL: <http://www.heise.de/tr/artikel/Wie-Roboter-und-Menschen-am-besten-kooperieren-2787281.html> [Stand: 01.02.2016].

Helbing 2015

Helbing, D.: „Societal, Economic, Ethical and Legal Challenges of the Digital Revolution: From Big Data to Deep Learning, Artificial Intelligence, and Manipulative Technologies“. In: *Jusletter IT*, 2015.

Hertz et al. 1991

Hertz, J./Krogh, A./Palmer, R. G.: *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Boston, MA, USA: Addison Wesley 1991.

Hild 2013

Hild, M.: „Roboter mit robustem Verhalten“. In: *Bulletin*, 10s/2013, S. 12-15.

Hirschberg/Manning 2015

Hirschberg, J./Manning, C.: „Advances in Natural Language Processing“. In: *Science*, 349, 2015, S. 261-265.

Huang et al. 2015

Huang, C./Cakmak, M./Mutlu, B.: *Adaptive Coordination Strategies for Human-Robot Handovers* (Conference Paper), 2015.

Huber 2014

Huber, M.: *Google fürchtet Glassholes* (Süddeutsche Zeitung Online vom 19.02.2014). URL: <http://www.sueddeutsche.de/digital/datenbrille-google-fuerchtet-glassholes-1.1892992> [Stand: 01.02.2016].

Icontrol Networks 2015

Icontrol Networks: *2015 State of the Smart Home Report*, 2015.

IDC 2015

IDC (International Data Corporation): *Pressemitteilung vom 30.03.2015*. URL: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25519615> [Stand: 01.02.2016].

IDTechEx 2015

IDTechEx: *Wearable Technology 2015-2025: Technologies, Markets, Forecasts*, 2015. URL: <http://www.idtechex.com/research/reports/wearable-technology-2015-2025-technologies-markets-forecasts-000427.asp> [Stand: 01.02.2016].

IFR Statistics 2015

IFR Statistics: *World Robotics 2015 Industrial Robots*, 2015. URL: <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/> [Stand: 01.02.2016].

ING DiBa 2015

ING DiBa: *Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den Arbeitsmarkt* (Studie veröffentlicht am 30.05.2015). URL: <https://www.ing-diba.de/pdf/ueberuns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf> [Stand: 01.02.2016].

INOVA+ 2013

INOVA+: *Network for the Market Uptake of ICT for Ageing Well*, 2013. URL: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/8/297298/080/deliverables/001-D35V002.pdf> [Stand: 01.02.2016].

Jacobs et al. 1991

Jacobs, R. A./Jordan, M. I./Nowlan, S. J./Hinton, G. E.: „Adaptive Mixtures of Local Experts“. In: *Neural Comput*, 3, 1991, S. 79-87.

Jones 2014

Jones, N.: „The Learning Machines“. In: *Nature*, 505, 2014, S. 146-148.

Kirn/Müller-Hengstenberg 2014

Kirn, S./Müller-Hengstenberg, C.: *Intelligente (Software-) Agenten: Eine neue Herausforderung für die Gesellschaft und unser Rechtssystem?* (FZID Discussion Paper, No. 86-2014). URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:100-opus-9463> [Stand: 01.02.2016].

Kostavelis/Gasteratos 2015

Kostavelis, I./Gasteratos, A.: „Semantic Mapping for Mobile Robotic Tasks: a Survey“. In: *Robotics and Autonomous Systems*, 66, 2015, S. 86-103.

Kurz 2013

Kurz, C.: *Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit*, 2013. URL: <http://www.gegenblende.de/24-2013/++co++c6d14efa-55cf-11e3-a215-52540066f352> [Stand: 01.02.2016].

LeCun et al. 2015

LeCun, Y./Bengio, Y./Hinton, G.: „Deep Learning“. In: *Nature*, 521, 2015, S. 436–444.

Lin 2015

Lin, P.: „Why Ethics Matters for Autonomous Cars“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: Springer 2015, S. 69–85.

Littmann 2015

Littmann, S.: *Einige Krankenkassen fördern Fitness-Tracker*, 2015. URL: <http://www.wiwo.de/finanzen/vorsorge/einige-krankenkassen-foerdern-fitness-tracker-bundesversicherungsamt-sollte-werbetraechtige-leistungen-verbieten/12174652.html> [Stand: 01.02.2016].

Manzeschke et al. 2013

Manzeschke, A./Weber, K./Rother, E./Fangerau, H.: *Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“*, BMBF Begleitforschung AAL (Hrsg.), 2013.

Martinez et al. 2015

Martinez, M./Rybok, L./Stiefelhagen, R.: „Action Recognition in Bed Using BAMs for Assisted Living and Elderly Care“. In: *2015 14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA)*, 2015, S. 329–332.

Maurer et al. 2015

Maurer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: Springer 2015.

Max-Planck-Gesellschaft 2010

Max-Planck-Gesellschaft: „Multimodale Verarbeitung und Interaktion. Maschinen spiegeln Menschen“. In: *Forschungsperspektiven der Max-Planck-Gesellschaft 2010+*, 2010, S. 58–59.

McKinsey 2015

McKinsey & Company: *10 Ways in Which Autonomous Vehicles Could Reshape Our Lives*, 2015.

McKinsey/VDMA 2014

McKinsey & Company/VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.): *Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau. Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren*, Frankfurt a. M.: 2014.

McMillan/Dwoskin 2015

McMillan, R./Dwoskin, E.: *IBM Crafts a Role for Artificial Intelligence in Medicine* (The Wall Street Journal, 11.08.2015). URL: <http://www.wsj.com/articles/ibm-crafts-a-role-for-artificial-intelligence-in-medicine-1439265840> [Stand: 01.02.2016].

Merkel 2015

Merkel, R.: „Neuroenhancement aus normativ-rechtlicher Sicht“. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Mai 2015, S. 70–78.

Mnih et al. 2015

Mnih, V./Kavukcuoglu, K./Silver, D. et al.: „Human-level Control through deep Reinforcement Learning“. In: *Nature*, 518, 2015, S. 529–533.

Mukerji/Nida-Rümelin 2014

Mukerji, N./Nida-Rümelin, J.: „Towards a Moderate Stance on Human Enhancement“. In: Battaglia, F./Carnevale, A. (Hrsg.): *Humana Mente. Reframing the Debate on Human Enhancement* (Issue 26), 2014, S. 17–34.

Oberer-Treitz et al. 2013

Oberer-Treitz, S./Dietz, T./Verl, A.: *Safety in Industrial Applications: From Fixed Fences to Direct Interaction*, Seoul: 2013.

Ortiz-Catalan et al. 2014

Ortiz-Catalan, M./Håkansson, B./Brånemark, R.: „An Osseo-integrated Human-machine Gateway for Long-term Sensory Feedback and Motor Control of Artificial Limbs“. In: *Science Transnational Medicine*, 6: 257, 2014.

Oviatt/Cohen 2015

Oviatt, S./Cohen, P.: *The Paradigm Shift to Multimodality in Contemporary Computer Interfaces*, Morgan & Claypool Publishers 2015.

Peissner et al. 2012

Peissner, M./Häbe, D./Janssen, D./Sellner, T.: „MyUI: Generating Accessible User Interfaces from Multimodal Design Patterns“. In: *Proceedings of the 4th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, 2012, S. 81-90.

Peissner/Hipp 2013

Peissner, M./Hipp, C.: *Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen*, Spath, D./Weisbecker, A. [Fraunhofer IAO], 2013.

Poggio/Girosi 1990

Poggio, R./Girosi, F.: „Regularization Algorithms for Learning That Are Equivalent to Multilayer Networks“. In: *Science*, 247, 1990, S. 213-225.

Pogue 2013

Pogue, D.: *Wearable Devices Nudge You to Health* (New York Times vom 26.06.2013). URL: http://www.nytimes.com/2013/06/27/technology/personaltech/wearable-devices-nudge-you-to-a-healthier-lifestyle.html?_r=0 [Stand: 01.02.2016].

Pratt 2015

Pratt, G.: „Is a Cambrian Explosion Coming for Robotics?“. In: *Journal of Economic Perspectives*, 29, 2015, S. 51-60.

PwC 2014a

PwC (PricewaterhouseCoopers): *Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*, 2014.

PwC 2014b

PwC: *The Wearable Future. Consumer Intelligence Series*, 2014.

Rannenberg 2015

Rannenberg, K.: „Erhebung und Nutzbarmachung zusätzlicher Daten – Möglichkeiten und Risiken“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: Springer 2015, S. 515-538.

Reiche 2015

Reiche, L.: *Die Allianz lässt den Spion ins Auto* (Manager Magazin Online vom 03.06.2015). URL: <http://www.managermagazin.de/finanzen/versicherungen/a-1036945.html> [Stand: 01.02.2016].

RoboLaw 2014

RoboLaw: *Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics*, Brüssel: 2014.

Robot Revolution Realization Council 2015

Robot Revolution Realization Council: *New Robot Strategy. Japan's Robot Strategy. Vision, Strategy, Action Plan*, 2015.

Roland Berger 2015

Roland Berger Strategy Consultants: *Die Digitale Transformation der Industrie. Was sie bedeutet. Wer gewinnt. Was jetzt zu tun ist*, Berlin: 2015.

Royakkers/van Est 2015

Royakkers, E./van Est, R.: *A Literature Review on New Robotics: Automation from Love to War*, 2015.

Rumelhart/McClelland 1986

Rumelhart, D. E./McClelland, J. L.: *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, MIT Press 1986.

Rumelhart 1989

Rumelhart, D. E.: *Parallel Distributed Processing: Implications for Psychology and Neurobiology*, Clarendon Press 1989.

Rus/Tolley 2015

Rus, D./Tolley, M.: „Design, Fabrication and Control of Soft Robots“. In: *Nature*, 521, 2015, S. 467–475.

Saller 2014

Saller, S.: *Smarte Technologien im Verbundprojekt KoSiF*, Freiburg: 2014.

Schaal 2014

Schaal, S.: „Roboter werden selbständig“. In: *Jahresbericht der Max-Planck-Gesellschaft 2014*, München: 2014, S. 27–31.

Schick/Sauer 2013

Schick, A./Sauer, O.: „Gestenbasierte Qualitätskontrolle. Intuitive Mensch-Maschine-Interaktion in der Industrie“. In: *wf Werkstattstechnik online*, 103: 9, 2013, S. 731–732.

Schiebener et al. 2014

Schiebener, D./Vahrenkamp, N./Asfour, T.: „Visual Collision Detection for Corrective Movements during Grasping on a Humanoid Robot“. In: *14th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 2014, S. 105–111.

Schölkopf 2015

Schölkopf, B.: „Learning to See and Act“. In: *Nature*, 518, 2015, S. 486–487.

Sensor Magazin 2012

Sensor Magazin: „Sensor Märkte bis 2016. Dynamisches Wachstum des Weltmarktes für Sensorik“. In: *Sensor Magazin*, 1/2012, S. 6–8.

Siemens 2014

Siemens: Facts and Forecasts: *Boom for Learning Systems*, 2014. URL: <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/artificial-intelligence-facts-and-forecasts.html> [Stand: 01.02.2016]

Smith 2015

Smith, B.: „Regulation and the Risk of Inaction“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: 2015, S. 593–609.

Spatz/Schaal 2014

Spatz, J. P./Schaal, S.: *Intelligent Systems Research* (Basertext zu Forschungsperspektiven der Max-Planck-Gesellschaft 2014). URL: http://www.mpg.de/9330879/intelligent_systems_basetext.pdf [Stand: 01.02.2016].

Spindler 2014

Spindler, G.: „Zivilrechtliche Fragen beim Einsatz von Robotern“. In: Hilgendorf, E. (Hrsg.): *Robotik im Kontext von Recht und Moral*, Baden-Baden: 2014, S. 63–80.

Statistisches Bundesamt 2015

Statistisches Bundesamt: *Anteil der Industrie am BIP seit 20 Jahren nahezu konstant* (Pressemitteilung vom 08.04.2015, 124/15). URL: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/04/PD15_124_811.html [Stand: 01.02.2016].

Stirn 2014

Stirn, A.: „Mit Sicherheit pünktlich“. In: *MaxPlanckForschung. Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft*, 1.2014, S. 24–29.

Sung et al. 2008

Sung, J.-Y./Grinter; J.-E./Christensen, H. I./Lan, G.: „Housewives or Technophiles?: Understanding Domestic Robot Owners“. In: *IEEE: 3rd ACM/IEEE Conference on Human-Robot Interaction*, 2008, S. 129–136.

Swindells 2014

Swindells, F.: „Economic Inequality and Human Enhancement Technology“. In: Battaglia, F./Carnevale, A. (Hrsg.): *Humana Mente. Reframing the Debate on Human Enhancement* (Issue 26), 2014, S. 213–222.

ten Hompel et al. 2014

ten Hompel, M./Rehof, J./Heistermann, F.: *Logistik und IT als Innovationstreiber für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Die neue Führungsrolle der Logistik in der Informationstechnologie* (Positionspapier der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V.), Bremen: 2014.

Thaler/Sunstein 2008

Thaler, R./Sunstein, C.: *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, New Haven: Yale University Press 2008.

Thrun 1992

Thrun, S.: „The Role of Exploration in Learning Control“. In: White, D. A./Softge, D. A. (Hrsg.): *Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy, and Adaptive Approaches*, 1992, S. 9–18.

Turk 2014

Turk, M.: „Multimodal Interaction: A Review“. In: *Pattern Recognition Letters*, 36, 2014, S. 189–195.

USA Robotics VO 2013

USA Robotics VO: *A Roadmap for U.S. Robotics. From Internet to Robotics*, 2013. URL: <https://robotics-vo.us/> [Stand: 01.02.2016].

Vaquero/Rodero-Merino 2014

Vaquero, L./Rodero-Merino, L.: „Finding Your Way in the Fog: Towards a Comprehensive Definition of Fog Computing“. In: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44: 5, 2014, S. 27–32.

VDMA 2015

VDMA (Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.): *Roboter sichern Wettbewerbsfähigkeit und damit Beschäftigung* (Presseinformation vom 11.06.2015). URL: http://rua.vdma.org/documents/106005/8452765/PI_VDMA_R%2BA_2015-06-11.doc/662aeb9d-75ba-4c68-8dd7-39dedadd0d26 [Stand: 01.02.2016].

Wachenfeld et al. 2015

Wachenfeld, W./Winner, H./Gerdes, C./Lenz, B./Maurer, M./Beiker, S./Fraedrich, E./Winkle, T.: „Use-Cases des autonomen Fahrens“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: 2015, S. 9–37.

Wagner 2015

Wagner, T.: *Unsterblichkeit als Parteiprogramm* (Junge Welt vom 23.09.2015). URL: <https://www.jungewelt.de/2015/09-23/011.php> [Stand: 01.02.2016].

Windelband 2014

Windelband, L.: „Zukunft der Facharbeit im Zeitalter ‚Industrie 4.0‘“. In: *Journal of Technical Entertainment (JOTED)*, 2: 2, 2014, S. 138–160.

Winkle 2015

Winkle, T.: „Entwicklungs- und Freigabeprozess automatisierter Fahrzeuge: Berücksichtigung technischer, rechtlicher und ökonomischer Risiken“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin 2015, S. 611–635.

Woisetschläger 2015

Woisetschläger, D.: „Marktauswirkungen des automatisierten Fahrens“. In: Maurer, M. et al. (Hrsg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Berlin: 2015, S. 709–732.

Xu et al. 2015

Xu, K./Lei Ba, J./Kiros, R./Cho, K./Courville, A./Salakhutdinov, R./Zemel, R./Bengio, Y.: „Show, Attend and Tell: Neural Image Caption Generation with Visual Attention“. In: *Proc. 32nd International Conference on Machine Learning*, 2015.

Yilmaz et al. 2010

Yilmaz, T./Foster, R./Hao, Y.: „Detecting Vital Signs with Wearable Wireless Sensors“. In: *Sensors 10*, 2010, S. 10837–10862.

Zweck et al. 2015

Zweck, A./Holtmannspötter, D./Braun, M./Hirt, M./Kimpeler, S./Warnke, P.: *Gesellschaftliche Veränderungen 2030. Ergebnisband 3 zur Suchphase von BMBF-Foresight Zyklus II*, Düsseldorf: VDI-TZ 2015.

GLOSSAR

Die Definitionen der folgenden Begriffe lehnen sich unter anderem an das Glossar im Abschlussbericht Industrie 4.0 (Forschungsunion/acatech 2013) sowie die Definitionen der ISO an und sollen ein grundlegendes Verständnis ermöglichen.

AKTOR

Komponente aus Software, Elektronik und/oder Mechanik, die elektronische Signale, etwa von einem Steuerungscomputer ausgehende Befehle, in mechanische Bewegung oder andere physikalische Größen, zum Beispiel Druck oder Temperatur, umsetzt und so regulierend in einen Produktionsprozess eingreift.

AMBIENT ASSISTED LIVING (AAL)

AAL steht für intelligente Umgebungen, die sich selbstständig, proaktiv und situationsspezifisch den Bedürfnissen und Zielen des Benutzers anpassen, um ihn im täglichen Leben zu unterstützen. Intelligente Umgebungen sollen insbesondere auch älteren, behinderten und pflegebedürftigen Menschen ermöglichen, selbstbestimmt in einer privaten Umgebung zu leben.

AUGMENTED REALITY

Augmented Reality bezeichnet eine computerunterstützte Wahrnehmung beziehungsweise Darstellung, welche die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert.

AUTONOME SYSTEME

Autonome kognitive Systeme führen sensor- und planbasiert Handlungen in ihrer Umgebung aus. Sie realisieren intelligentes Verhalten durch die Kombination verschiedener Merkmale: Selbsterklärungsfähigkeit, Fehlertoleranz, Selbstlernfähigkeit, Kooperativität und Proaktivität.

HUMAN ENHANCEMENT

Unter Human Enhancement wird der Versuch verstanden, die Limitationen des menschlichen Körpers mithilfe von natürlichen oder künstlichen Methoden zeitweise oder dauerhaft zu überschreiten. Dazu zählt insbesondere auch,

technologische Errungenschaften zur Veränderung menschlicher Eigenschaften oder Fähigkeiten zu nutzen.

INDUSTRIEROBOTER

Ein Industrieroboter ist nach ISO 8373 ein programmierbarer Manipulator mit mehr als zwei Bewegungsachsen, der sich in einer Umgebung bewegt oder ortsfest ist, um Fertigungsaufgaben automatisch auszuführen.

INTELLIGENTE SYSTEME

Intelligente Systeme sind Systeme, die von der Wahrnehmung zum Beispiel ihrer Umgebung ausgehend ihre Aktivitäten steuern und daraus lernen können. Intelligente Systeme schließen autonom die Wahrnehmen-Handeln-Lernen-Schleife.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (KI)

Die KI ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Erforschung von Mechanismen intelligenten Verhaltens (bei Mensch und Tier) und deren Automatisierung befasst.

MASCHINE

Der Begriff der Maschine wird im alltäglichen Gebrauch sehr unterschiedlich verwendet. In der vorliegenden Studie wird von einer sehr weiten Definition ausgegangen. Unter Maschinen werden dabei technische Konstrukte verstanden, die so angeordnet und gesteuert werden können, dass sie als einheitliches Ganzes funktionieren, um das vom Nutzer gewünschte Ziel zu erreichen. Es fallen also sowohl technische Apparate als auch Softwarelösungen unter diesen Begriff.

MASCHINELLES LERNEN (ML)

ML bezeichnet die Erforschung und Anwendung von Verfahren, durch die Computersysteme befähigt werden, selbstständig Wissen aufzunehmen und zu erweitern, um ein gegebenes Problem besser lösen zu können als vorher.

SENSOR

Ein Sensor ist ein technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.

SERVICEROBOTER

Ein Serviceroboter ist gemäß der aktuellen Definition der IFR ein Roboter, der teil- oder vollautonom Dienstleistungen zum Nutzen menschlichen Wohlbefindens und für Einrichtungen ausführt. Serviceroboter werden unterschieden nach Servicerobotern für gewerbliche Anwendungen (üblicherweise bedient durch eine eingewiesene Person) und Servicerobotern für persönliche und heimische Anwendungen (bedient durch Laien, nicht eingewiesene Personen).

SOFTWARE-AGENT

Ein Software-Agent (oder auch Softbot) ist ein Computerprogramm, das zu einem (teil-)autonomen Verhalten fähig ist. Es reagiert auf die Eingabe eines Nutzers oder eines anderen Programms.

TRANSHUMANISMUS

Transhumanismus ist der Sammelbegriff für eine Reihe heterogener philosophischer und politischer Strömungen. Sie eint ein grundsätzlicher Technioptimismus und das Interesse an radikalen technologischen Fortschritten zur Überwindung der Beschränkungen der menschlichen Existenz (zum Beispiel Alter, Tod, Leistungsfähigkeit des Geistes und der Sinne) und zur Lösung gesellschaftlicher Probleme, während sie sich in ihren konkreten Vorstellungen über die gelungene Umsetzung und Ausgestaltung dieser Zukunftsvisionen voneinander unterscheiden.

WEARABLES

Wearables sind Computersysteme, in der Regel integriert in Accessoires (Uhr, Armband, Brille) oder Kleidung, die während der Anwendung am Körper des Benutzers getragen werden und mithilfe von Sensoren Daten über den Körper des Benutzers sammeln und analysieren.

> acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de