# Konferenz-Band:
# Roboter – Assistenz-Systeme – Künstliche Intelligenz

## Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion

IGZA
INSTITUT FÜR DIE GESCHICHTE
UND ZUKUNFT DER ARBEIT

# Vorwort

Dr. Christian Kellermann, Geschäftsführer des Instituts für die Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA)

Der Beirat „Zukunft der Arbeit“ (ZdA) der IG Metall und das Institut für die Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA) haben sich zum Ziel gesetzt, die Entwicklung der Robotik und Künstlichen Intelligenz möglichst umfassend und multidisziplinär unter die Lupe zu nehmen. Den Auftakt dafür machten wir mit einer gemeinsamen Konferenz zum Thema „Roboter, Assistenz-Systeme und Künstliche Intelligenz – Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion“. Im Juni 2017 brachten wir Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen und der betrieblichen Praxis in Marbach am Bodensee zusammen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen der Arbeits- und Techniksoziologie, der Ökonomie bis hin zur Philosophie konnten das Spektrum der Konferenz nochmals um eine umfassende Forschungsperspektive erweitern. Betriebsräte und Vertreterinnen und Vertreter des Managements brachten ihr Erfahrungs- und Fachwissen aus dem Praxisfeld ein. Nicht zuletzt war auch die politische Ebene vertreten, um Gestaltungsmöglichkeiten zu diskutieren. Unser Ziel war eine umfassende und realistische Bestandsaufnahme zur Frage, wo wir heute bei der Robotik und der Künstlichen Intelligenz stehen.

Konkret lag der inhaltliche Schwerpunkt der Konferenz auf der technischen Entwicklung sowie der betrieblichen Umsetzung von Automatisierungsprozessen. Im Mittelpunkt stand dabei die empirische Frage, wie die Verbreitung der Künstlichen Intelligenz in Fabrik, Büro und Alltagsleben vonstatten geht. Ferner wurde intensiv diskutiert, wie sich die Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt und – mit Blick auf eine weitere Humanisierung der Arbeit – am besten entwickeln sollte. Im vorliegenden Tagungsband finden sich entsprechend instruktive Beiträge zum aktuellen Stand in den Bereichen Künstliche Intelligenz und Robotik sowie zu praktischen und ethischen Ansätzen für das Handeln von Forschung, Unternehmen, Gewerkschaften und Politik in Deutschland. Auch die Makroperspektive mit Blick auf die potenziellen Beschäftigungswirkungen für Deutschland und andere Länder wurde kritisch beleuchtet. Weitere Videos, Podcasts, Fotos sowie Präsentationen sind auch auf der Webseite des IGZA zu finden.

Das Konferenzkonzept entspricht dem Arbeitsansatz des IGZA. Das Institut wurde 2016 gegründet mit dem Ziel, die Zukunft der Arbeit vor dem Hintergrund der langen Geschichte der Arbeit zu betrachten. Entwicklungen in Technik, Wissenschaft oder Alltag zu verstehen und gewonnene Erkenntnisse für die Gestaltung zukünftiger Arbeitswelten nutzbar zu machen, steht im Zentrum der Institutsarbeit.

> *„Unter den richtigen Voraussetzungen entstehen auch neue Potenziale für die Partizipation der Beschäftigten sowie interessante und sinnvolle Tätigkeiten – ohne dass wir auf breiter Basis eine ‚technologische‘ Arbeitslosigkeit befürchten müssen.“*

Insbesondere das heraufziehende digitale Zeitalter bringt neue Herausforderungen, aber auch neue Chancen für die Arbeit mit sich. Nicht zum ersten Mal in der Geschichte werden Arbeitsplätze in allen Sektoren Veränderungen unterworfen sein. Dies befördert viele verschiedene Probleme und Ängste, bietet gleichzeitig aber enorme Gestaltungsmöglichkeiten: Mit großer Sicherheit kann man sagen, dass schwere und belastende Tätigkeiten in der Produktion größtenteils automatisiert werden können. Repetitive, monotone Arbeit kann auf Roboter übertragen werden. Künstliche Intelligenz hat das Potenzial, die Wissensarbeit zu revolutionieren. Unter den richtigen Voraussetzungen entstehen auch neue Potenziale für die Partizipation der Beschäftigten sowie interessante und sinnvolle Tätigkeiten – ohne dass wir auf breiter Basis eine "technologische Arbeitslosigkeit" befürchten müssen.

Zusammen mit dem Beirat „Zukunft der Arbeit“ der IG Metall wollen wir in diesem Transformationsprozess Impulse für die Gestaltung guter Arbeit in der digitalen Arbeitswelt geben. Dazu wurde mit der gemeinsam organisierten Robotik-Konferenz eine Plattform geschaffen. Ausdrücklicher Dank gilt Claudia Pest und Dr. Detlef Gerst von der IG Metall, die diese Konferenz maßgeblich mitgestaltet haben.

## Einführung und Thesen

Gute Arbeit in der digitalisierten Arbeitswelt

Jörg Hofmann,
1. Vorsitzender der IG Metall 4

Zehn Thesen: Automatisierung und Zukunft der Mensch-Maschine-Interaktion

Dr. Horst Neumann,
Vorstand des Instituts für die Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA) 5


## Künstliche Intelligenz und Assistenzsysteme

Wir müssen auf die Revolution vorbereitet sein

Gespräch mit Prof. Dr. Alin Albu-Schäffer, Direktor des Instituts für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, TU München 8

Autonome Technik außer Kontrolle?

Prof. Dr. Johannes Weyer,
Techniksoziologe, TU Dortmund 12

Soll und kann Künstliche Intelligenz ethisch handeln?

Prof. Dr. Christoph Hubig, Fachgebiet Philosophie der wissenschaftlich-technischen Kultur, TU Darmstadt 16


## Robotik

Anwendungsfelder von Robotern in der Produktion

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer, Institutsleiter Fraunhofer IAO 22

Aus der Praxis

Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) im Volkswagen Konzern

Dr. Holger Heyn, Leiter Technologie-Management – Konzern Produktion / Leiter Technologieentwicklung Roboter, Volkswagen AG 29

Aus der Praxis

Wie der LBR iiwa als intelligenter Assistent den Menschen unterstützt

Dr. Till Reuter,
Vorstandsvorsitzender der KUKA AG 32

Assistenzroboter zur Pflegeunterstützung

Dr. Birgit Graf, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA 33


IGZA INSTITUT FÜR DIE GESCHICHTE UND ZUKUNFT DER ARBEIT

ZdA ZUKUNFT DER ARBEIT IG METALL

## Arbeitsgestaltung

Aus der Praxis

Abschied vom Fließband, Einzug von Künstlicher Intelligenz

Dipl.-Ing. Michael Breme, Leiter Produktions- und Werkplanung, AUDI AG 40

Smarte Technik – smarter Mensch?

Prof. Dr. Sabine Pfeiffer, Professorin für Soziologie, Universität Hohenheim 42

Perspektiven und Gestaltung digitaler Industriearbeit

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen, TU Dortmund 45


## Arbeitsmarkt-Perspektiven 2040

Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – eine Klarstellung

Kurt Vogler-Ludwig, Economix Research & Consulting, München 51

Robocalypse now?

Thorben Albrecht, Staatssekretär im Bundesministerium für Arbeit 63

„Wir alle werden künftig rascher von gestern sein“

Prof. Dr. Berthold Vogel, geschäftsführender Direktor SOFI 65

# Gute Arbeit in der digitalisierten Arbeitswelt

Jörg Hofmann,
1. Vorsitzender der IG Metall

„Die Computer-Revolution – Fortschritt macht arbeitslos“. Das ist keines der vielen Bedrohungsszenarien, die wir tagtäglich in Zeitungen oder – passend zum Thema – Online-Nachrichtenportalen lesen können und die Digitalisierung und Industrie 4.0 stets in einem Atemzug mit Beschäftigungsabbau sehen. Sondern so lautete der Titel einer Spiegel-Ausgabe aus dem Jahr 1978.

Wenn wir heute über „Gute Arbeit in der digitalisierten Arbeitswelt“ sprechen, muss man wissen: Die Arbeitswelt war schon immer im Wandel. Aber egal ob mit Erfindung der Dampfmaschine, Einführung des Fließband-Prinzips, dem ersten Einsatz von Elektronik und IT in der Fertigung oder jetzt deren Verschmelzung: Jede dieser industriellen Revolutionen trug und trägt die Gefahr in sich, dass gewachsene sozialstaatliche Ansprüche in Frage gestellt werden.

Deshalb muss man dem Spiegel auch gar keine mangelnde Kreativität unterstellen, wenn wir 2016, also fast 40 Jahre später, auf einem Titelblatt lesen konnten: „Sie sind entlassen! Wie uns Computer und Roboter die Arbeit wegnehmen – und welche Berufe morgen noch sicher sind.“

Auch wenn fast 40 Jahre zwischen beiden Ausgaben liegen, ist auf beiden Titeln zu sehen: Ein Mensch im Griff einer Roboterhand. 1978 noch in Arbeiterkluft, 2016 im Business-Dress. Das Kalkül dahinter: Je humanoider Technik rüberkommt, umso betroffener macht sie und wirft für jeden einzelnen die Frage auf: Was heißt das für mich und welche Rationalisierungsfolgen haben wir in der Konsequenz zu befürchten? Kaum ein anderes Thema steht so bildhaft für die Frage von Ängsten vor Arbeitsplatzabbau und fehlenden Perspektiven.

Wenn wir verhindern möchten, dass sich die Ängste der Beschäftigten bewahrheiten und aus Robotisierung Perspektivlosigkeit im Sinne von Arbeitslosigkeit entsteht, sind zwei Punkte wichtig:

- Zum ersten stellt sich für die deutsche und europäische Industrie die Frage, ob der Innovationstypus, der unsere Industrie in den letzten 20 bis 30 Jahren geprägt hat, auch für die nächsten 20 bis 30 Jahre prägend sein wird, wenn es um die Digitalisierung von Produkten und Prozessen geht. Die Antwort hierauf hat konkrete Auswirkungen auf Arbeitsplätze, Beschäftigung und die Position von abhängig Beschäftigten.
- Zum zweiten rückt die Frage sinkender Grenzproduktivität in den Vordergrund. Abnehmende Produktivität heißt nicht, dass automatisch der Ertrag abnimmt. Aber es beinhaltet kleiner werdende Zuwächse, die verteilt werden müssen, um beispielsweise unsere Sozialsysteme weiter finanzieren zu können.

> *„Jede dieser industriellen Revolutionen trug und trägt die Gefahr in sich, dass gewachsene sozialstaatliche Ansprüche in Frage gestellt werden.“*

In dieser Debatte erleben wir, dass auf der einen Seite aktuell Konzepte der 1960er und 1970er Jahre wie die Robotersteuer en vogue werden. Und auf der anderen Seite werden utopistische Konzepte wie das bedingungslose Grundeinkommen „gehyped“, die aber letztendlich nichts anderes bedeuten, als die Verabschiedung aus dieser Debatte. Dieses Phänomen kennen wir in anderen Zusammenhängen mit dem Strom. Solange der noch aus der Steckdose kommt, besteht kein Handlungsbedarf.

Es stellt sich die Frage: Verstehen wir Technik eigentlich richtig? Heute tun wir uns extrem schwer damit, fünf bis zehn Jahre vorauszuplanen und die Frage zu stellen: Was heißt Automatisierung eigentlich für Tätigkeitsprofile in der Produktion, im Büro, in der Industrie? Denn Qualifikationsanforderungen werden sich gravierend verändern. Und ohne Weiterqualifizierung wird es vor allem die Geringqualifizierten treffen, deren Tätigkeiten durch die Digitalisierung bedroht sind.

Auch wenn es nur mittelbar mit Robotisierung zu tun hat: Alleine die Annahme, dass 25 Prozent der Neuzulassungen in 13 Jahren elektrische Fahrzeuge sein werden, bedeutet für den Antriebsstrang im Fahrzeugbau, dass sich von den dort heute 320.000 Beschäftigten für 80.000 das Tätigkeits-

feld im besten Fall verändert, wenn sie weiterqualifiziert werden – im schlechtesten Fall wegfällt. Hierauf haben wir im Moment keine Antworten. Und 13 Jahre sind ein relativ enger Zeitraum für die Beantwortung einer Frage, auf die wir heute noch keine Antwort haben.

Was Transformation konkret bedeutet, müssen wir aber auch im Kontext unserer eigenen Arbeit weiter vertiefen. Welche Rolle nimmt die IG Metall hier ein, wie verortet sie sich? Wir haben Treiber wie die Klima- und Umweltregulation oder die Digitalisierung von Prozessen und Produkten, die auf eine Arbeitswelt und Gesellschaft treffen, die in Teilen zunehmend ungerecht ist oder zumindest als solche empfunden wird.

Wir als IG Metall müssen nun klären: Können wir eine Technologie wie die Robotik dafür einsetzen, damit aus der Transformation in die Arbeitswelt von morgen eine Transformation in gute Arbeit wird? Das betrifft die Frage von Sicherheit von Arbeitsplätzen; es betrifft aber auch die Frage, wie ich alle in diesem Prozess mitnehmen kann, damit keiner unter die Räder kommt oder – mit Blick auf das Titelbild des Spiegel – im Griff des Roboters hängen bleibt.

> *„Die größte Verteilungsfrage wird deshalb sein, wie wir die Rationalisierungsgewinne verwenden.“*

Die größte Verteilungsfrage der nächsten Jahre und Jahrzehnte wird deshalb sein, wie wir die Rationalisierungsgewinne verwenden, damit wir jeden in die Arbeitswelt von morgen mitnehmen.

# Zehn Thesen: Automatisierung und Zukunft der Mensch-Maschine-Interaktion

Dr. Horst Neumann,
Vorstand des Instituts für die Geschichte und Zukunft der Arbeit (IGZA)

## Ökonomisch-historische Dimension

1. Die letzten zweihundert Jahre sind eine in der Geschichte der Menschheit einmalige Epoche extremer Produktivitätssteigerung. Der US-amerikanische Ökonom Robert Gordon zeigt das in einem wegweisenden Aufsatz von 2013 anschaulich in zwei Grafiken. Die technisch-wissenschaftliche Revolution (verkürzt: Industrielle Revolution) führt zu einem jährlichen Produktivitätswachstum von zwei bis drei Prozent; die Glockenkurve startet nach 1800 und nähert sich wieder der Null – wann dies eintritt, ist umstritten.

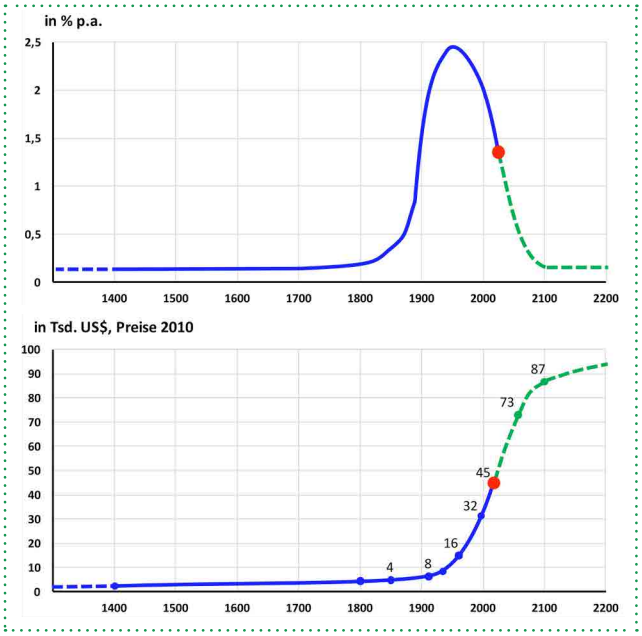



Abbildung 1: Produktivität (BIP je Kopf) nach Gordon; blau, tatsächliche Werte UK und USA; grün, Fortschreibung von Gordon.[1]

1) Quelle: Gordon, R. J. (2013). IS U.S. Economic Growth over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds. NBER Working Paper 18315, S. 6

2. Wie schnell der menschheitsgeschichtliche Produktivitätsschub endet, hängt ab von Möglichkeiten und Tempo weiterer Automatisierungen in der materiellen Produktion und den Dienstleistungen.

   „Das scheinbar Einfache ist schwer, das scheinbar Schwere ist einfach zu automatisieren“ – dieses vom Kybernetiker Hans Moravec in den 1980er Jahren formulierte Paradoxon ist evolutionsgeschichtlich begründet und spielt eine erhebliche Rolle für die gegenwärtige und künftige Geschwindigkeit der Digitalisierung.

   Zum aktuellen Zeitpunkt dürfte in etwa die Hälfte des Automatisierungspotenzials der materiellen Produktion in den hochentwickelten Industrieländern ausgeschöpft sein. Bis neunzig Prozent der materiellen Produktion und der wünschbare Teil der Dienstleistungen weltweit automatisiert sind, dürften nochmals hundert Jahre vergangen sein.

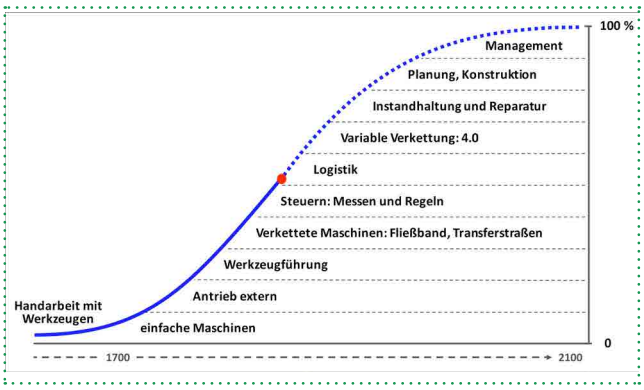



Abbildung 2: Automatisierungsgrad

3. Dieser Produktivitätssprung hat zu einer enormen Steigerung des realen Bruttoinlandsprodukts (BIP) je Kopf der Bevölkerung bei gleichzeitiger Verkürzung der Arbeitszeit geführt. Seit der Zeit des Manchesterkapitalismus hat sich die Arbeitszeit von 3.000 Stunden pro Jahr auf heute 1.500 Stunden halbiert. Die weitergehende Automatisierung wird weitere Produktivitätssteigerungen und damit Spielräume für Arbeitszeitverkürzungen bei gleichem oder steigenden Wohlstandsniveau eröffnen. Eine zentrale Zukunftsfrage lautet, wie lange wir in Zukunft arbeiten werden und wollen: 30 Wochenstunden, 1.000 Stunden Jahres-, 40.000 Stunden Lebensarbeitszeit? Dabei spielen unterschiedliche Präferenzen und eine gute Balance zwischen Lebens- und Arbeitssphäre eine wichtige Rolle (s. Abb. 3).

4. Die graduelle Automatisierung und der dadurch entstehende Wegfall von Arbeit auf betrieblicher Ebene führen in einer Volkswirtschaft bei gleichbleibender Nachfrage entweder zur Produktion einer höheren Gütermenge

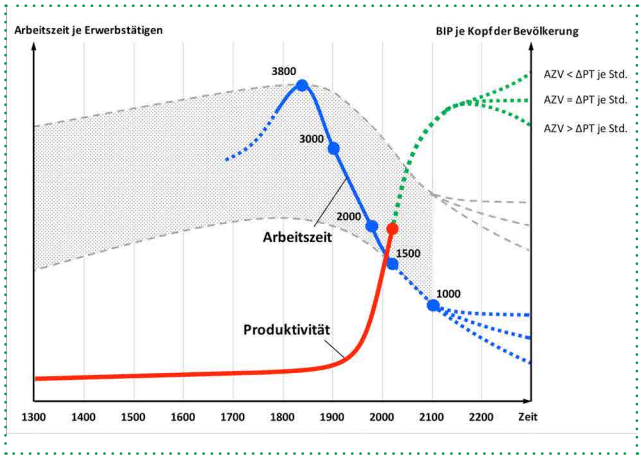



Abbildung 3: Entwicklung von Arbeitszeit und Produktivität

(bestehender oder neuer Güter) oder zu Arbeitszeitverkürzungen. In diesem Sinne gibt es gesamtwirtschaftlich betrachtet keine ‚technologische Arbeitslosigkeit’.

Allerdings gibt es Arbeitsplatzverluste, Entwertung von Qualifikationen und Unsicherheit auf betrieblicher und individueller Ebene. Die Verunsicherung und Besorgnis der Menschen ist durch Globalisierung, entfesselte Finanzmärkte und apokalyptische Szenarien über die Folgen der Digitalisierung gewachsen. Skepsis gegenüber der handelnden Politik bezüglich der Bewältigung und Gestaltung dieser Herausforderungen schlägt sich auch in entsprechenden Wahlergebnissen nieder.

> *„Die Verunsicherung und Besorgnis der Menschen ist durch Globalisierung, entfesselte Finanzmärkte und apokalyptische Szenarien über die Folgen der Digitalisierung gewachsen.“*

### Betriebliche Dimension

5. Dabei sind große Chancen durch die weitere Digitalisierung gegeben. Immer noch sind gefährliche, schwere oder ermüdende Arbeiten vorhanden, die automatisiert werden können.

   Mit der demographischen Entwicklung der Babyboomer, die in den nächsten 30 Jahren in Rente gehen, ergibt sich in Deutschland die Chance, Automatisierungspotenziale so zu nutzen, ohne dass die Arbeitslosigkeit steigt oder die

jungen Generationen vom Arbeitsmarkt ausgeschlossen bleiben.

Mit Maschinenbau, Elektrotechnik, Fahrzeug- und Flugzeugbau gibt es in Deutschland starke Schlüsselbereiche für die Industrie und Logistik 4.0. Ein innovativer Mittelstand und die privaten und öffentlichen Forschungsnetzwerke verstärken potenziell die gute Wettbewerbsposition Deutschlands auf den Weltmärkten.

Die „Digitalisierungs-Dividende“, d.h. die künftigen Produktivitäts- und Wertschöpfungsgewinne müssen dafür aber primär zur Qualifizierung der Beschäftigten und Stabilisierung der Sozialsysteme genutzt werden.

> *„Das deutsche und europäische System der dualen Ausbildung, die Facharbeiter und Meister, ihre Berufserfahrung und Kompetenz sind ein großer Vorteil für die Gestaltung leistungsfähiger, qualitätsorientierter Mensch-Maschinen-Systeme.“*

6. Das deutsche und europäische System der dualen Ausbildung, die Facharbeiter und Meister, ihre Berufserfahrung und Kompetenz sind ein großer Vorteil für die Gestaltung leistungsfähiger, qualitätsorientierter Mensch-Maschinen-Systeme. Diese Kompetenz muss genutzt werden. Berufliche Fortbildung, duale Ausbildung, duales Studium müssen gestärkt werden.

7. Die Arbeits- und Produktionssysteme sind so zu gestalten, dass die Mensch-Maschine-Interaktion eine interessante, gute, qualifizierte Arbeit ermöglicht. Die verbleibenden zehn Prozent menschlicher Tätigkeit in einem automatisierten Produktionssystem sollen der Fachkompetenz und Berufserfahrung, dem Gestaltungswillen und Wunsch nach Autonomie und Verantwortung der Beschäftigten Rechnung tragen. Auf Arbeitswissenschaft, Produktionsplanung und Arbeitsgestaltung kommen große Aufgaben zu.

### Gesellschaftliche Dimension

8. Automatisierung und Produktivitätssteigerungen greifen naturgemäß besonders in der materiellen Produktion. Mit der Entwicklung von IT und KI sind aber auch Dienstleistungen, wissenschaftliche, kaufmännische und technische Analyse, Planung und Beratung zunehmend rationalisierbar und automatisierbar. Notwendig ist eine gesellschaftliche Diskussion über den Einsatz von Robotern und Assistenzsystemen im Bereich persönlicher Dienstleistungen, in Bildung, Gesundheit und persönlicher Betreuung. Nicht alles was technisch machbar und renditesteigernd ist, ist auch menschlich erträglich, sinnvoll oder wünschenswert.

9. Wie Vieles in der Geschichte der Technik sind auch IT und KI ambivalent: Mittel zum Segen oder Fluch der Menschen. Es besteht kein Grund zur Panik, aber zur Aufmerksamkeit und Einflussnahme. Die Sicherheit und die Entscheidungshoheit der Beschäftigten, Nutzer und Konsumenten in der Mensch-Maschine-Interaktion darf nicht dem Wettbewerb oder der Rendite geopfert werden. KI- und Roboter-Ethik müssen deshalb auf Augenhöhe mit der KI-Forschung und technischen Entwicklung, der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und ihrer politisch-gesellschaftlichen Regulierung sein.

Rainer Zugehör, Stefanie Sawicki, Till Reuter, Jörg Hofmann und Horst Neumann (v. l. n. r.).

10. Kommt die „Singularität“? Und wenn ja, wann? Das Gehirn ist komplexer, leistungsfähiger und energieeffizienter als schon oft in der KI-Geschichte geglaubt. Gleichwohl ist nicht auszuschließen, dass nachfolgenden Generationen humanoide Roboter mit breiter, dem Menschen vergleichbarer Intelligenz und in vieler Hinsicht überlegene KI-Systeme erleben werden. Die institutionelle Einhegung anderer (technischer) Entwicklungen wie z.B. der globalen, verselbständigten Finanzmärkte sind ein Lackmustest für eine mögliche Kontrolle und Gestaltung unserer technischen Innovationen im digitalen Zeitalter.

# Wir müssen auf die Revolution vorbereitet sein

Gespräch mit Prof. Dr. Alin Albu-Schäffer, Direktor des Instituts für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, TU München

Frage: *Was hat die Luft- und Raumfahrt konkret mit Digitalisierung, Robotik und künstlicher Intelligenz zu tun?*

Die Raumfahrt ist ein Antreiber der Robotik, weil es extrem teuer und gefährlich ist, Menschen ins Weltall zu schicken. Es bietet sich entsprechend an, Roboter, Maschinen und Automaten in extremen Umgebungen einzusetzen. Dabei muss man oft die Grenzen des heute technisch Machbaren überwinden und neue Ansätze und Technologien vorantreiben.

Frage: *Welche Rolle spielen Roboter im Kontext von Daten, Digitalisierung und Vernetzung?*

Hier spielen Roboter eine ganz besondere Rolle, als frei programmierbare, universell einsetzbare Maschinen. Es ist natürlich ein wichtiger Aspekt, die Daten über das Internet miteinander zu vernetzen. Aber wenn man Waren und Güter produzieren und transportieren möchte, muss man einen physikalischen Zugang aus der digitalen Welt in die reale Welt schaffen. Dazu braucht man Hardware – und Roboter sind ein solches Bindeglied: Sie sind sozusagen die Boten aus der digitalen Welt. Insofern sind sie ein zentrales Element mit Blick auf Vernetzungen, Internet der Dinge, Cloud-Services usw., und zwar sowohl in der Produktion, als auch im Alltag und zur Bewältigung einer Vielzahl an gesellschaftlichen Herausforderungen.

Frage: *Wo könnten Roboter demzufolge zum Einsatz kommen?*

Für die Robotik sehen wir eine große Anzahl von Anwendungen – Industrie 4.0 ist nur eine davon. Im Gesundheitsbereich werden wir, bedingt durch den demographischen Wandel, in den nächsten Jahren große Herausforderungen haben. Dies hängt mit der immer älter werdenden Bevölkerung zusammen, was einen erhöhten Pflegebedarf mit sich bringt, gepaart mit einem zunehmenden Mangel an Pflegekräften. Später werden diese Roboter auch den Einzug im Bereich der roboterbasierten Haushaltshilfe schaffen, das heißt auch eine Unterstützung für die junge, berufstätige Generation darstellen. Servicerobotik für Inspektion und Instandhaltung von großen Industrieanlagen vor allem überall da, wo es für Menschen gefährlich ist, ist ein weiterer derzeit expandierender Bereich. Der Katastrophenschutz ist ein Anwendungsfeld, in dem Roboter auf natürliche Art und Weise Menschen entlasten können. In diesen Bereichen ist der Nutzen groß und die Bedenken bezüglich der Gefährdung von Arbeitsplätzen am geringsten.

Frage: *Kommt die neue Robotik schnell und disruptiv oder ist das ein eher langsamer, inkrementeller Prozess?*

In der Regel dauert ein Technologiezyklus in diesem Bereich über 20 Jahre – von einer wissenschaftlichen Idee über die Forschung im Labor bis zur Produktion. Roboter sind hoch komplexe Systeme, die Mechatronik mit Informatik, einschließlich maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz verbinden. Neuerdings kommen Kognitions- und Neurowissenschaften, Biomechanik und Psychologie hinzu. Somit ist die Robotik ein Schmelztiegel für die Fortschritte verschiedenster Disziplinen. Große Technologiesprünge brauchen aber entsprechende Zeitspannen und Ressourcen. Wir haben z. B. vor gut zehn Jahren eine neue Generation von leichten, feinfühligen Robotern entwickelt, die dazu optimiert sind, mit Menschen unmittelbar zu interagieren. Das war damals eine wissenschaftliche Revolution. Es hat allerdings ca. zehn Jahre gedauert, bis daraus Produkte wie der LBR-iiwa von KUKA oder der Roboter Franka-Emika auf dem Markt kamen. Der Ansatz wird heute vielfach sowohl in USA, aber vor allem in Asien kopiert. Nachdem ein Roboter auf den Markt kommt, dauert es allerdings noch eine Weile bis die Integratoren diese Technologie verinnerlichen und die Anwender sie übernehmen.

In den vergangenen 30 bis 40 Jahren wurden enorme technologische Fortschritte in der Robotik gemacht. Nach den klassischen, großen Industrierobotern der 1980er und 1990er Jahre, z. B. zum Schweißen und Lackieren in der Automobilindustrie, kamen die kooperativen Roboter. Der jetzige Forschungstrend geht einerseits in Richtung mehr Kognition und Intelligenz, andererseits in Richtung Mobilität, sowohl indoor wie auch outdoor. Robotik ist dennoch eine relativ

junge Disziplin, 60 bis 70 Jahre alt. Wenn man dies mit den vier Millionen Jahren der menschlichen Entwicklung vergleicht und versucht, die Entwicklung der Robotik zu extrapolieren, dann ist es durchaus verständlich, dass sich manche Leute Sorgen darüber machen. Gleichzeitig ist diese Art des Extrapolierens relativ fragwürdig, ähnlich wie die Diskussion über das Erreichen der Singularität in der künstlichen Intelligenz. So wie in allen großen Brennpunkten und Umwälzungen der Forschung, können wir schwer vorhersagen, wo uns die Reise nach Wissen und Erkenntnis in der Robotik hinführen wird. Hinter der gesamten Entwicklung in der Robotik stecken aber eigentlich auch die großen Fragen „Wie macht es der Mensch – das Laufen, Greifen, Denken, Arbeiten?“, kann man dies so genau verstehen, dass man es in Gleichungen ausdrücken und in einem künstlichen System nachbauen kann? Insofern sind große Erkenntnisse in der Robotik in weitem Maße auch Selbsterkenntnisse. Wichtig ist für mich immer aus ethischer Perspektive, den Menschen in den Mittelpunkt dieser Entwicklungen zu stellen. Wir sprechen dabei von „Menschen-zentrierter Robotik“, was eigentlich eine Selbstverständlichkeit sein sollte, aber immer wieder erwähnt werden muss. Es darf kein „Mensch gegen Maschine“ geben, sondern es muss uns gelingen, die Roboter so zu gestalten, dass wir sie als eine Erweiterung und Bereicherung unserer Möglichkeiten sehen. Wichtig ist auch, dass diese Entwicklungen von einer breiten gesellschaftlichen Debatte bezüglich der Ethik, der Möglichkeiten und der Grenzen begleitet wird. Wissenschaftler alleine können und wollen nicht über die Nutzung dieser Forschung und deren gesellschaftlichen Einbettung entscheiden. Deswegen finde ich diese Tagung und ähnliche Veranstaltungen so fundamental wichtig.

Frage: *Warum ist es so kompliziert, einen Roboter zu bewegen?*

Für einfache Prozesse wie das Greifen eines Glases oder das Manipulieren eines Werkzeuges mit einem humanoiden Roboter muss man 50 bis 60 Motoren gleichzeitig bewegen. Das ist immer noch deutlich unterhalb der Komplexität des menschlichen Bewegungsapparates, mit seinen mehreren hundert Knochen und Muskeln. Stellen Sie sich die Steuerung des Roboters vor, wie die Bewegung einer Marionette – der Roboter wird von unsichtbaren, virtuellen Seilen und Federn an seinen Enden so bewegt, dass er sogar eine Vielzahl von Aufgaben gleichzeitig löst. Jede Bewegung dieser Federn muss einzeln programmiert und in Motorenkommandos umgesetzt werden. Bei unserem mobilen Roboter Justin, der mit einem Menschen interagiert, hat man schon mehr als 40 Antriebe. Der Roboter David hat sogar circa 80 Motoren!

> *„Aber wenn man Waren und Güter produzieren und transportieren möchte, muss man einen physikalischen Zugang aus der digitalen Welt in die reale Welt schaffen.“*

Mit den vielen Antrieben kann ein mobiler Roboter einerseits mit dem Menschen kooperieren, z. B. um eine Last gemeinsam zu tragen, gleichzeitig anderen Menschen und Hindernissen ausweichen. Kurzum: Man muss eine große Vielzahl an Aufgaben realisieren. Insofern kommt der Programmierung von Robotern eine immer zentralere Bedeutung zu. Als die Produktionszyklen z. B. in der Automobilindustrie etwas länger waren und die Komplexität der Aufgaben überschaubar, kam man mit der klassischen Programmierweise noch gut zurecht. Seitdem die Zyklen immer kürzer werden und vor allem die Diversität der Produkte immer größer, kommt man mit der Standard-Automatisierung an bestimmte Grenzen. Neue Paradigmen sind gefragt. ►

Till Reuter, Jörg Hofmann und Horst Neumann (v. l. n. r.).

Ein Ansatz ist, dass die Roboter mit Menschen interagieren und die Werker die Roboteraufgaben mit sehr intuitiven Schnittstellen, wie bei der Bedienung eines Smartphones, programmieren. Der andere, komplementäre Ansatz ist, die heutzutage allerseits verfügbaren digitalen Prozessdaten zu nutzen, um Roboterprogramme auf Knopfdruck aus der Produktspezifikation zu generieren. Die würde es ermöglichen, auch sehr kleine, stark kundenspezifisch ausgeprägte Produktserien automatisiert zu entwickeln.

Mit dem Leichtbauroboter hat man eine Lösung gefunden, bei der man flexibel, je nach Anfrage, manuell oder automatisiert montieren kann. Der Gedanke einer flexiblen Mensch-Roboter-Automation basiert u. a. in der Flexibilität einer solchen Kooperation. Eine zentrale Herausforderung dafür war es, sichere Roboter zu entwickeln. Dafür war es wiederum notwendig, die entsprechende Standardisierung im Bereich der Robotersicherheit voranzutreiben. Erfahrungsgemäß dauert alleine die Änderung von ISO-Normen zwischen fünf und sechs Jahren. Die Berufsgenossenschaft hat bezüglich der Sicherheit der mit Robotern zusammenarbeitenden Menschen sehr hohe Standards gesetzt. Eine Herausforderung besteht zum Beispiel darin, wie man bestimmen kann, bei welchem Werkzeug und bei welcher Geschwindigkeit ein Roboter gefährlich ist und wann nicht. Heute haben wir dazu ein gutes Verständnis und eine Vielzahl an technologischen Lösungen entwickelt. Die Forschung dazu hat allerdings alleine ein Jahrzehnt gedauert und ist immer noch nicht komplett abgeschlossen.

Frage: *Wie kann die Mensch-Maschine-Kooperation möglichst sicher gestaltet werden?*

Um die Sicherheit für den Menschen zu gewährleisten, müssen Roboter immer den Kontakt mit dem Menschen erkennen und dessen Intensität messen können, idealerweise den Menschen auch immer genau lokalisieren und verfolgen können. Zusätzlich ist es notwendig, diese Arbeit intuitiv und einfach zu gestalten, sodass auch Nicht-Experten die Roboter leicht instruieren können. Für die repetitiven Abläufe – ein Roboter kommt und greift ein Werkzeug und führt immer wieder die gleiche Bewegung aus – ist das problemlos machbar. In der Nähe des Menschen stellt sich die Herausforderung anders dar. Ein Beispiel: Der Roboter greift unterschiedliche Rohre aus einer Box und sortiert sie entsprechend einer Vorgabe ein – dies ist das Nominalverhalten. Wenn ein Mensch kommt, dann muss ein Roboter immer diesen erkennen, den Menschen wahrnehmen – und sein Verhalten entsprechend anpassen und sicher gestalten. Dafür braucht man bildgebende Systeme, die Menschen und Roboter sicher erkennen – und der Mensch muss den Roboter zu jedem Zeitpunkt über die Kraftsensorik stoppen können. Der Werker kann über Gesten, über Sprache, auch über Berührung auf ähnlicher Weise, wie Menschen miteinander agieren, mit dem Roboter interagieren. Das Roboterprogramm muss wiederum auf all diese „Störungen“, also auf Abweichungen vom Nominalverhalten, auch reagieren können – damit wird die Komplexität erheblich erhöht. Die Interaktion muss allerdings weiterhin intuitiv darstellbar sein – vergleichbar mit dem Umgang mit einem Smartphone, das auf App-Basis funktioniert. All diese Entwicklungen haben erst die Mensch-Roboter-Kooperation alltagsfähig gemacht.

Frage: *Wie weit kann die Automatisierung in diesem Bereich gehen? Können Maschinen sich auch bald selbst programmieren?*

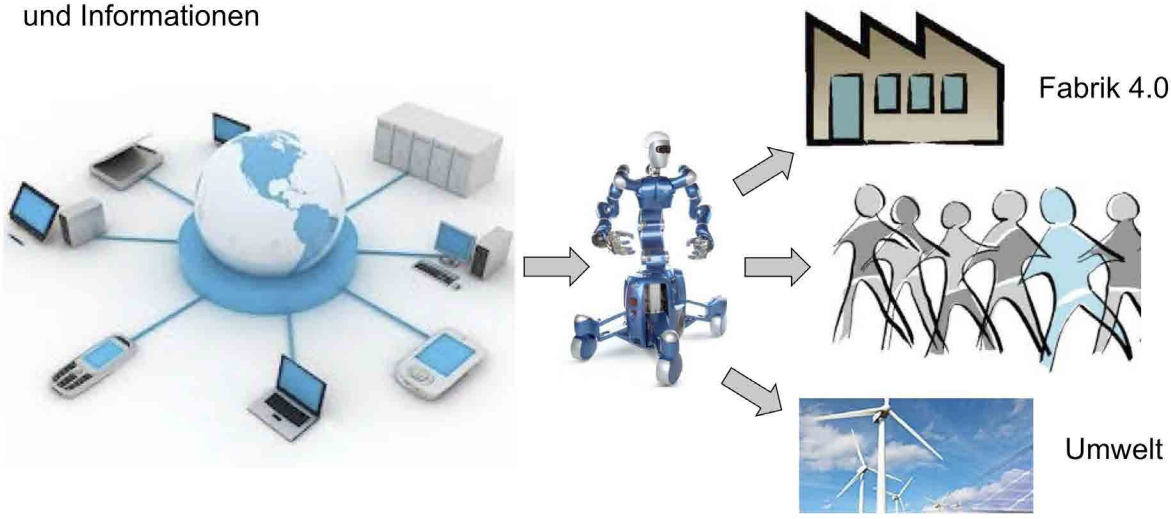
Dahinter steht die automatische Code-Generierung. Dabei geht es darum, dass ein Roboter automatisch ein individualisiertes Produkt erstellen kann. Er braucht die entsprechenden Fertigkeiten („Skills“), die auf leicht verständliche Weise in Apps programmiert und zusammengefügt werden. Einfachere Montageabschnitte würde das System entsprechend autonom durchführen können. KI und maschinelles Lernen spielen in diesem Kontext auch eine wichtige Rolle. Zum aktuellen Zeitpunkt geht das nur für einfache Tätigkeiten – komplexe Vorgänge sind noch nicht auf diese Art automatisierbar. Dennoch wird die Produktion in den nächsten Jahren auf diesen Innovationswegen basieren. Die Vision besteht darin, dass sich ein Programm entsprechende Daten zur Fertigung eines Produkts über das Internet oder die Cloud zusammenträgt. Aus der Summe von CAD-Daten, Geometrie, Gewicht etc. und den Skills des Roboters soll eine Aufgabe automatisch lösbar werden. Auch große Konzerne wie Siemens arbeiten an ähnlichen Konzepten einer sogenannten digitalen Fabrik.

Frage: *Was kann die neueste Roboter-Generation?*

Die neueste Generation von Robotern ist tatsächlich deutlich leistungsfähiger, deutlich geschickter, fähig dann auch richtig schnelle Bewegungen durchzuführen, z. B. einen Ball zu werfen oder Löcher mit einem Schlagbohrer zu bohren. Das können heutzutage klassische Roboter nicht, weil die Leistungsdichte elektromechanischer Antriebe noch den menschlichen Muskeln unterlegen ist. Dafür haben wir eine neue Generation von Robotern mit elastischen Antrieben entwickelt, die, ähnlich wie Menschen in ihren Sehnen und Muskeln, Energie zwischenspeichern können. Damit bewegen sich Roboter schneller, können höhere Kräfte ausüben, werden aber gleichzeitig robuster gegenüber Stürzen und unerwarteten Kollisionen sein.

Wichtig ist, wie bereits angesprochen, in der neuen Robotergeneration auch der KI-Aspekt: Es gibt eine fast unbegrenzte Anzahl an Aufgaben, die Roboter heutzutage im Haushalt erledigen sollten, z. B. Fenster putzen, Geschirr spülen, den Boden wischen. Allerdings ist das Programmieren noch aufwendig, und daher stellt sich die Frage, wann jeder Haushalt

Die digitale, voll vernetzte Welt sichert zunächst die Allgegenwärtigkeit von Daten und Informationen




Roboter können eine Schlüsselrolle spielen, als universell wirkende Agenten aus der digitalen in die physikalische Welt

roboterisiert werden kann. Wer kann all diese Aufgaben programmieren und mit welchen Werkzeugen? Ich bin der Meinung, dass dies nur gelingen kann, wenn die Programmierung von KI unterstützt wird. D. h. wenn Experten drei, vier ähnliche Aufgaben von Hand programmieren und die KI daraus lernt und Vorschläge macht, wie eine neue, ähnliche Aufgabe ausgeführt werden kann. Weltweit passiert derzeit in der Forschung sehr viel in diese Richtung, aber die Planung, Intelligenz und Autonomie stellen nach wie vor große Herausforderungen dar. Deep Learning ist in diesem Zusammenhang ein aktuelles Thema, wenngleich ein überaus intensiver Lernprozess damit verbunden ist (z. B. brauchte Google circa zehn Millionen Bilder und Greifversuche, um das Greifen von Objekten mit einem Roboterarm zu erlernen). Die strategisch geschickte Verknüpfung von Modellwissen und Lernverfahren wird hier meiner Meinung nach ein entscheidender Faktor sein.

Frage: *Stehen wir also kurz vor der Roboter-Revolution?*

Industrie 4.0 sowie Digitalisierung sind nicht nur Computernetze und Cloud, sondern es sind tatsächlich auch die Roboter. Automatisierung und KI sind Grundvoraussetzungen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland. Wir haben heute eine so hohe Beschäftigungsrate in Deutschland nicht trotz, sondern gerade Dank des hohen Automatisierungsgrades, der uns wettbewerbsfähig macht. Eine Bewältigung der Herausforderungen des demographischen Wandels ist ohne weitere Automatisierung, auch von Alltagsbereichen, und den Einsatz von Robotern kaum denkbar. Die Wertschöpfung wird gerade weltweit umverteilt.

Ein großer Teil der Robotertechnologien ist heute verfügbar, allerdings wird bei der KI, Wahrnehmung, Planung und der einfachen Programmierbarkeit noch einiges an Forschungsarbeit zu leisten sein. Gleiches gilt für kostengünstige, alltagstaugliche und sichere Roboterhardware. Wenn man sieht, wie lange es gedauert hat, um die modernen Leichtbauroboter in den Markt zu bringen, dürfte es in vielen Bereichen noch zehn Jahre dauern – selbst wenn die Softwareentwicklung schneller ist als die Hardwareentwicklung.

Wir brauchen, wie bereits erwähnt, eine breite soziologische und politische Debatte über die Automatisierung und Robotik. Ich bin aber davon überzeugt, dass der Roboter nicht das Problem, sondern die Lösung ist, wenn wir die Gesellschaft darauf vorbereiten und die erforderlichen gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen dafür schaffen. Die Roboter werden immer mehr unseren Alltag bestimmen, und wir müssen auf diese Revolution vorbereitet sein – am besten, indem wir sie aus einer weltweit führenden Rolle gestalten.

> *„Intelligenz und Autonomie stellen nach wie vor große Herausforderungen dar.“*

# Autonome Technik außer Kontrolle?

Prof. Dr. Johannes Weyer,
Techniksoziologe, TU Dortmund

## Luftfahrt 4.0

Die Luftfahrt war eine der ersten zivilen Branchen, in denen hochautomatisierte Systeme zum Einsatz kamen; sie kann auf jahrzehntelange Erfahrungen mit der Digitalisierung und Automatisierung zurückblicken. Mitte der 1980er Jahre wurde mit den Flugzeugen der 4. Jetgeneration das computergestützte Fliegen eingeführt, das seitdem die Arbeitswelt der Piloten prägt.[1] Es beinhaltet insbesondere

- die Fly-by-wire-Technik, erkennbar unter anderem an dem Sidestick, mit dem das Flugzeug anstelle des früher üblichen Steuerhorns gesteuert wird,
- die automatische Flugführung („Autoflight"), die das Flugzeug auf einem voreingestellten Kurs führt,
- sowie das Electronic Flight Control System (EFCS, auch „Autopilot" genannt), welches auf Basis der Piloten-Eingaben die Flugsteuerung übernimmt und zugleich diverse Schutzmechanismen enthält, die gewährleisten sollen, dass das Flugzeug sich stets in einem sicheren Zustand befindet (Dorschner 2012).

Die Einführung des Glass-Cockpits in den 1980er Jahren ging mit einer Reduktion der Crew auf zwei Piloten einher und löste heftige Debatten über die Risiken dieses revolutionären Sprungs aus; diese Debatten erhielten durch einige spektakuläre Unfälle Nahrung, welche auf ein unzureichendes Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle zurückgeführt wurden (Weyer 1997).

Mittlerweile ist das computergestützte Fliegen Alltag; und auch andere Hersteller wie Boeing haben das Flugzeug-Design übernommen. Einige spektakuläre Zwischenfälle bzw. Unfälle jüngerer Zeit werfen jedoch die Frage auf, ob die Risiken der Digitalisierung und Automatisierung tatsächlich bewältigt worden sind. Diese betreffen insbesondere

- das Problem des Kontrollverlusts des menschlichen Bedieners angesichts der Komplexität und Intransparenz hochautomatisierter Flugzeuge,
- das Vigilanzproblem, also die Frage, wie man bei stundenlangen monotonen Überwachungs-Tätigkeiten wach und aufmerksam bleibt, wenn es wenig zu tun gibt und wie sich das erforderliche Situationsbewusstsein („situational awareness") erzeugen und aufrechterhalten lässt,
- das Problem der Selbstzufriedenheit („complacency") und das damit einhergehende überzogene Vertrauen in die Automation, ausgelöst durch scheinbar perfekt funktionierende Systeme, die dennoch immer wieder zu unliebsamen Überraschungen („automation surprises") führen können,
- und schließlich das nur schwer zu lösende Problem der Verwirrung durch wechselnde Betriebsmodi („mode confusion"), wenn beispielsweise ein Flugzeug im Hintergrund selbständig vom Reiseflug auf Sinkflug umstellt („hidden mode transitions") (vgl. Manzey 2008, Woods/Sarter 2000).

25 Jahre nach Einführung des computergestützten Fliegens schien es daher an der Zeit, eine Befragung von Piloten durchzuführen, um herauszufinden, wie die Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit moderner Flugzeuge funktioniert. Diese Befragung wurde – mit Unterstützung der Vereinigung Cockpit (VC) und des Forschungsnetzwerks für Verkehrspilotenausbildung (FHP) – im Jahr 2008 durchgeführt. Der Online-Fragebogen wurde 278 mal ausgefüllt, so dass nach der Datenbereinigung 199 verwertbare Datensätze zur Verfügung standen.

## Hybride Interaktion

Bei der Befragung haben wir uns von einer neuen Perspektive der Automationsforschung leiten lassen, die sich vom traditionellen „Entweder-oder"-Denken (entweder der Mensch oder die Technik) (vgl. Fitts 1951) löst und die Kollaboration von Mensch und Automation in den Mittelpunkt rückt (Hutchins 1995, Sarter/Woods 2000, Manzey 2008, Cummings/

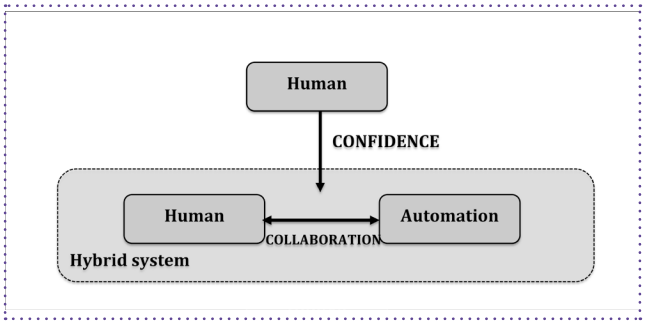



Abbildung 1: Vertrauen in hybride Kollaboration.

1) Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden nur die männliche Form verwendet.

Bruni 2009, Inagaki 2010). In diesem Sinne verstehen wir das Flugzeug als ein hybrides sozio-technisches System, das vom Menschen und von (teil-)autonomer Technik gemeinsam gesteuert wird, die in einer symmetrischen Beziehung zueinanderstehen und sich wechselseitig als Team-Partner betrachten (vgl. Abbildung 1).

Aus diesen konzeptionellen Vorüberlegungen leiten sich die zwei Hypothesen ab, die das Vertrauen in die hybride Kollaboration als abhängige Variable betrachten und nach Faktoren suchen, die dieses Vertrauen – positiv oder negativ – beeinflussen:

- (H1) Ein hohes Maß an wahrgenommener Symmetrie geht mit einem hohen Maß an Vertrauen in die hybride Kollaboration einher.

Und im Umkehrschluss vermuten wir:

- (H2) Je mehr Piloten die ultimative Autorität für sich beanspruchen, desto geringer ist ihr Vertrauen in die hybride Kollaboration.

Drei weitere Hypothesen ergaben sich aus dem Stand der Automationsforschung, die sich unter anderem mit der Rollenverteilung von Mensch und Technik (H3) oder dem Problem der Komplexität (H4) befasst.

- (H3) Je stärker ein Wandel der Rollen- und Kompetenzverteilung (von Mensch und Technik) wahrgenommen wird, desto höher ist das Vertrauen in die hybride Kollaboration.

- (H4) Je mehr Komplexität wahrgenommen wird, desto geringer ist das Vertrauen in die hybride Kollaboration.

- (H5) Boeing-Piloten haben mehr Vertrauen in die hybride Kollaboration als andere Piloten.

Luftfahrtspezifisch ist Hypothese H5, welche die Debatte über unterschiedliche Automationsphilosophien aufgreift, der zufolge bei Airbus die Technik immer das letzte Wort hat und dem Piloten nur beschränkte Einflussmöglichkeiten zur Verfügung stehen, während bei Boeing der Pilot immer das letzte Wort hat und die Technik überstimmen kann (Ibsen 2009).

### Ergebnisse der Pilotenstudie

Die Regressions-Rechnung in Tabelle 1 bietet einen ersten groben Überblick darüber, ob die vermuteten Zusammenhänge zutreffen.[2]

Insbesondere scheinen die beiden Hypothesen H1 und H3 zuzutreffen, wohingegen die anderen drei Hypothesen nicht bestätigt werden können. Insofern lohnt sich ein Blick auf einige Details.

| Vertrauen in hybride Kollaboration | | Beta | |
|---|---|---|---|
| (H1) Symmetriewahrnehmung | | .232** | bestätigt |
| (H2) Ultimative Autorität | | -.082 | nicht bestätigt |
| (H3) Wandel der Rollenverteilung | | .372** | bestätigt |
| (H4) Komplexitätswahrnehmung | | -.029 | nicht bestätigt |
| (H5) Type rating (Dummy-Variable: 1=Boeing) | | -.095 | unklarer Befund |
| Reichweite (Dummy-Variable: 1=Langstrecke) | | -.160* | |
| Alter (metrisch) | | .096 | |
| | N | | 185 |
| | Adjusted r² | | .312 |
| **p<0,01 *p<0,05 +p<0,1 | | | |

Tabelle 1: OLS-Regression “Vertrauen in hybride Kollaboration”

### Vertrauen in hybride Kollaboration (abhängige Variable)

Zunächst zeigt sich, dass die befragten Piloten ein großes Vertrauen in die hybride Kollaboration haben, ablesbar an einem Mittelwert von 4.37, der deutlich über dem Mittel von 3.50 auf der von 1 (stimme nicht zu) bis 6 (stimme voll zu) reichenden Skala liegt. Der überwiegende Teil hat ein großes (56,0 %) bzw. sehr großes Vertrauen (32,1 %).

### Symmetrie-Wahrnehmung (H1)

In Bezug auf die Symmetrie-Wahrnehmung finden wir annähernd eine Gleichverteilung zwischen Zustimmung und Ablehnung (Mittelwert 3.54). Diese Variable korreliert weder mit Alter noch Erfahrung; es finden sich jedoch auffällige Unterschiede bei der Musterzulassung, dem sogenannten „type rating“: Piloten von Regionaljets haben eine deutlich höhere Symmetriewahrnehmung als Airbus- und Boeing-Piloten (vgl. Abbildung 2 mit Linien für die vier Perzentilgruppen). Zur Gruppe der Regionaljets gehören unter anderem Flugzeuge wie der Canadair Regional Jet (CRJ) oder die AVRO/BAE 146, die überwiegend Kurzstrecken fliegen und in Bezug auf ihren Automationsgrad einen Schritt hinter den beiden großen Herstellern Airbus und Boeing zurückliegen.

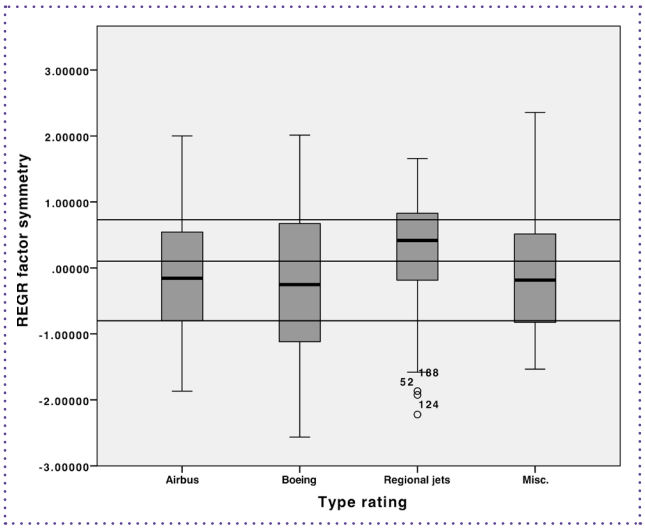



Abbildung 2: Symmetrie-Wahrnehmung und Musterzulassung "type rating"[2]

[2] Eine ausführliche Beschreibung sämtlicher Ergebnisse findet sich in (Weyer 2016) sowie (Weyer 2017).

[3] Piloten verfügen – anders als Autofahrer – nur über eine einzige Musterberechtigung („type rating“), können also beispielsweise entweder Airbus- oder Boeing-Flugzeuge fliegen, zumeist auch nur einen bestimmten Typ (A 320 oder A 380). Der Wechsel ist aufwändig und erfordert eine umfangreiche Umschulung nebst Prüfung.

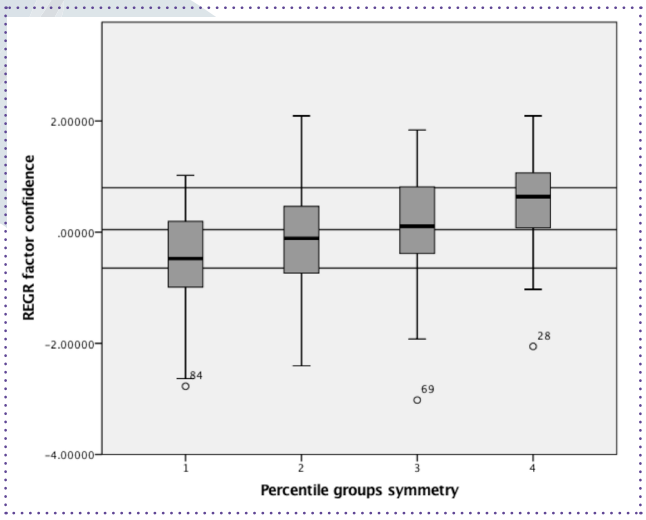



Abbildung 3: Stärke des Vertrauens in Bezug auf die vier Perzentilgruppen von wahrgenommener Symmetrie

Die höhere Symmetriewahrnehmung auf Seiten der Piloten von Regionaljets hat ihre Ursache vermutlich darin, dass sie aufgrund ihres Tätigkeitsprofils mehr Starts und Landungen durchführen und daher mehr Erfahrungen in der hybriden Kollaboration haben als andere Piloten.

Wie die Regressions-Rechnung bereits gezeigt hat, gibt es einen positiven und signifikanten Zusammenhang zwischen der Symmetriewahrnehmung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration. Je stärker die technischen Komponenten des sozio-technischen Systems Flugzeug als gleichberechtigter Partner wahrgenommen werden (x-Achse in Abbildung 3), desto höher ist das Vertrauen (y-Achse). Hypothese H1 kann also bestätigt werden.

### Wandel der Rollenverteilung (H3)

Hier streuen die Antworten um einen Mittelwert von 3.86.

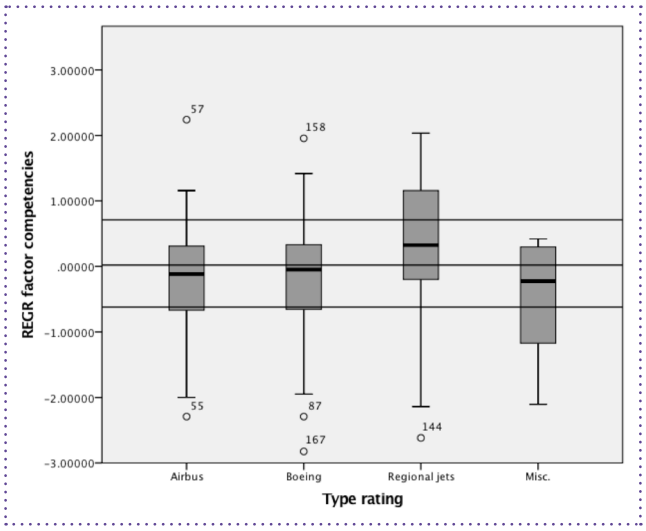



Abbildung 4: Wandel der Rollenverteilung und Musterzulassung ("type rating")

Gut 60 Prozent der Piloten haben einen starken oder sehr starken Wandel wahrgenommen, knapp 40 Prozent einen geringen oder sehr geringen. Auch hier gibt es einen deutlichen Zusammenhang zum „type rating“: Wiederum sind es die Piloten von Regionaljets, die deutlich mehr Wandel wahrgenommen haben als ihre Kollegen in Airbus- oder Boeing-Jets, die schon seit Jahrzehnten Flugzeuge der vierten Generation fliegen (vgl. Abbildung 4). Bei den Regionaljets hat der Wechsel von älteren zu neueren Modellen hingegen erst in den letzten Jahren stattgefunden; zudem hat die Automation eine geringere Eingriffstiefe, wie uns Piloten bestätigten.

Der Zusammenhang zwischen dem wahrgenommenen Wandel der Rollenverteilung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration ist zudem statistisch hochsignifikant (,372**). Piloten, die einen starken Wandel der Rollenverteilung zwischen Mensch und (teil-)autonomer Technik wahrnehmen, haben ein deutlich positiveres Verhältnis zu dieser neuartigen Form der hybriden Kollaboration im sozio-technischen System Flugzeug. Hypothese H3 kann also als bestätigt gelten.

### Wahrgenommene Komplexität (H4)

Das überraschendste Ergebnis unserer Analysen ist, dass es zwischen der Komplexitätswahrnehmung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration keinen Zusammenhang gibt. Hypothese H4, die diesen Zusammenhang postuliert hat, ist also widerlegt, was im Kontrast zu anderen Studien steht (u.a. Sarter/Woods 2000).

Und dennoch lohnt ein Blick auf einige Details, denn die Variable „Komplexität“ korreliert mit Alter (,192**) und Erfahrung (,228**). Ältere, erfahrene Piloten nehmen – subjektiv – mehr Komplexität wahr als jüngere, weniger erfahrene. Dies lässt sich folgendermaßen erklären:

- Ältere Piloten haben im Laufe ihrer Karriere mehr Gelegenheiten gehabt, Automationsprobleme zu erleben.
- Da sie teilweise auch als Ausbilder arbeiten, haben sie eine eher reflexive Einstellung gegenüber Automationsfragen entwickelt.
- Da sie den Übergang von der dritten zur vierten Flugzeuggeneration erlebt haben, sind ihre Einstellungen gegenüber Automation reservierter als die jüngerer Piloten, die in einer Welt voller Computer groß geworden sind und nichts anderes kennen als „Atari-Flieger“.
- Zudem gibt es offenbar Unterschiede zwischen den Flugzeugherstellern: Airbus-Piloten haben eine deutlich höhere Komplexitätswahrnehmung als Piloten von Boeing-Flugzeugen und Regionaljets. Kombiniert man zudem die beiden Variablen „Alter“ und „type rating“, so ergibt sich folgendes Bild (vgl. Abbildung 5).

Wie man sieht, nehmen jüngere Piloten weniger Komplexität wahr als ältere; aber innerhalb der Gruppe der Jüngeren

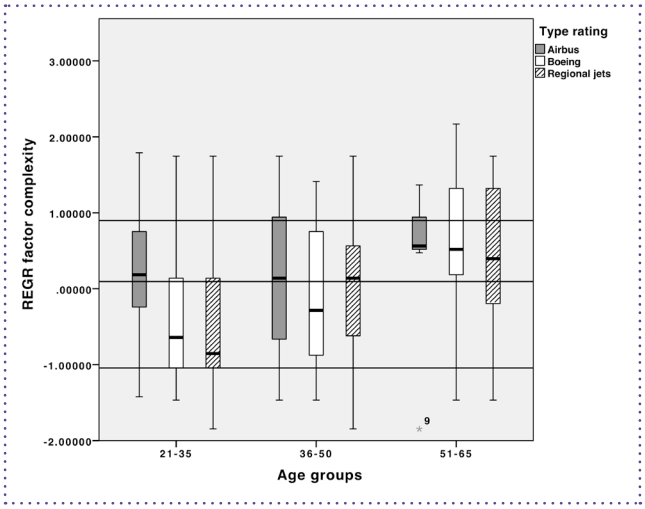



Abbildung 5: Komplexität in Bezug zu Alter und “type rating”

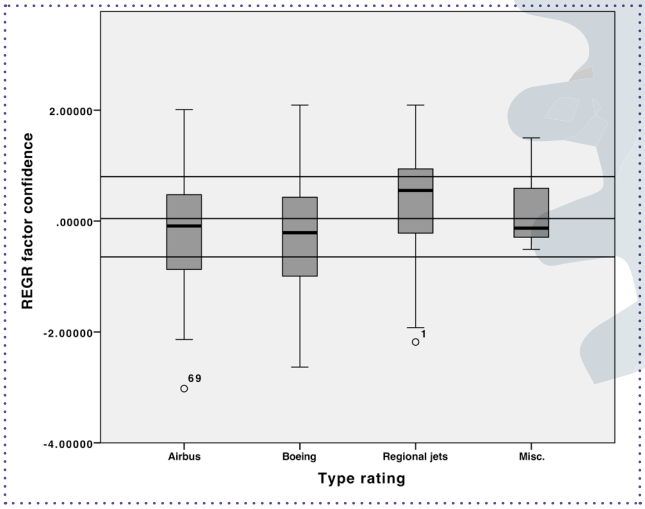



Abbildung 6: Vertrauen in hybride Kollaboration und "type rating"

weichen Airbus-Piloten mit einer deutlich höheren Komplexitätswahrnehmung von ihren Altersgenossen ab. Offenbar bereitet es gerade in den ersten Berufsjahren einige Probleme, mit diesem Flugzeugtyp klarzukommen.

In der Gruppe der Piloten mittleren Alters sind es hingegen die Boeing-Piloten, die sich von ihren Altersgenossen durch eine geringere Komplexitätswahrnehmung abheben, was darauf verweist, dass die Zusammenarbeit von Mensch und Technik an Bord von Boeing-Flugzeugen offenbar besser funktioniert als bei anderen Flugzeugmustern. Die immer wieder diskutierten Unterschiede zwischen den Automations-Philosophien der beiden Hersteller Airbus und Boeing lassen sich hier also gut nachweisen.

### Type rating (H5)

Wie wichtig das Flugzeugmuster ist, zeigt sich auch in Abbildung 6. Piloten von Regionaljets haben ein deutlich höheres Vertrauen in hybride Kollaboration als Airbus- und Boeing-Piloten, die sich diesbezüglich nicht unterscheiden. Die Hypothese H5, die besagt, dass Boeing-Piloten ein größeres Vertrauen haben als andere, kann also nicht bestätigt werden. Die Reichweite scheint sich stärker auf die Wahrnehmungen von Piloten in puncto Automation auszuwirken als die Differenz zwischen Airbus und Boeing.

Der Faktor „Reichweite“ beinhaltet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, Erfahrungen in der hybriden Kollaboration von Mensch und Automation zu machen, was bei Kurzstreckenflügen aufgrund der größeren Zahl von Starts und Landungen wesentlich häufiger der Fall ist als bei Langstreckenflügen.

### Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Studie sind teilweise überraschend: Das Vertrauen in die hybride Kollaboration ist sehr hoch und hängt stark mit der wahrgenommenen Symmetrie von Mensch und Technik (H1) sowie mit dem wahrgenommenen Wandel der Kompetenzen und der Rollenverteilung (H3) zusammen. Im Gegensatz dazu ergab die Frage nach der wahrgenommenen Komplexität (H4) nur mittlere Werte; die größte Überraschung war jedoch, dass sich dies nicht auf das Vertrauen in die hybride Kollaboration auswirkt. Die Unterschiede zwischen Airbus- und Boeing-Piloten sind geringer als erwartet (H5). Piloten von Regionaljets, die zumeist Kurz- oder Mittelstrecke fliegen, heben sich jedoch von den beiden anderen Gruppen deutlich ab, vermutlich aufgrund des spezifischen Aufgabenprofils mit häufigen Starts und Landungen, das viele Gelegenheiten zur Kollaboration mit automatischen Systemen mit sich bringt.

### Lektionen für Industrie 4.0

Die Debatten über die Digitalisierung und Automatisierung der Luftfahrt wie auch die Ergebnisse der Dortmunder Pilotenstudie belegen, dass der Mensch als Problemlöser und Störfallmanager auch in hochautomatisierten Systemen nach wie vor unentbehrlich ist. Allerdings wandeln sich die Qualifikationsanforderungen, weil nicht mehr das manuelle Handanlegen, sondern die Gewährleistung der Sicherheit eines komplexen sozio-technischen Systems gefordert wird. Und dies geschieht zunehmend in kollaborativen Arrangements von Mensch und Technik, die durch hybride Interaktion geprägt sind, also die gemeinsame Bewältigung von Aufgaben durch Mensch und Technik.

Menschliche Eingriffe werden dabei seltener, sind aber mit hohen Erwartungen verbunden, dass selbst unter großem Zeitdruck situationsadäquate Lösungen gefunden werden. Dies beinhaltet ein erhebliches Risiko. Zudem ist ein hohes Maß an Kompetenzen auf Seiten des Menschen erforderlich, das unter anderem ein Verständnis komplexer Zusammenhänge beinhaltet, aber auch die Fähigkeit, mit unerwarteten Situationen flexibel umzugehen. Um dies erfolgreich leisten zu können, bedarf es offenbar reichhaltiger Erfahrungen im Umgang mit hochautomatisierten Systemen.

Insofern ist die Luftfahrt ein instruktives Beispiel, an dem sich mögliche Szenarien einer Arbeit der Zukunft bzw. einer Zukunft der Arbeit ablesen lassen. Und sie enthält einige „lessons learned“, die auch in der Debatte um autonomes Fahren oder die Digitalisierung und Vernetzung der Industrie lehrreich sein können.

Wenn sich nämlich die Beziehung zwischen Mensch und Technik zu einem interaktiven Verhältnis entwickelt, dann stellen sich auch völlig neue Anforderungen an das System-Design. Wenn Technik zum Team-Partner werden soll, muss sie teamfähig sein, d. h. ihre Aktionen müssen verständlich und nachvollziehbar sein. In letzter Konsequenz muss sie sogar mit den Menschen kommunizieren können. Piotr Heller hat seinen Artikel in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung vom 10. März 2017 zum Thema autonomes Fahren mit dem Titel „Mensch, Auto, ich rede mit dir!“ überschrieben. Dies verweist darauf, dass selbst autonome Technik – oder erst recht autonome Technik? – in der Lage sein muss, die verbalen und nonverbalen Signale des Menschen zu verstehen und sich mit ihm zu verständigen. Zudem muss autonome Technik ihrerseits in der Lage sein, sich verständlich zu machen, also dem Menschen zu signalisieren, welche Erwartungen sie an ihn hat und was sie zu tun beabsichtigt.

All dies klingt nach einer erneuten Ironie der Automation (vgl. Bainbridge 1983): Autonome Technik wird entwickelt, um den Menschen zu ersetzen, kann aber letztlich nur funktionieren, wenn sie „menschlich“ wird, also sich zum Interaktionspartner entwickelt, der sich kommunikativ verständlich machen kann. Somit sinken die Anforderungen, die an die Qualifikation sowie die Fähigkeit zur Kommunikation gestellt werden, mit der Digitalisierung komplexer sozio-technischer Systeme nicht; sie steigen vielmehr – und zwar auf beiden Seiten: Mensch und Technik.

Literatur

Bainbridge, Lisanne, 1983: Ironies of automation. In: Automatica 19 (6): 775-779.

Cummings, Mary L./Sylvain Bruni, 2009: Collaborative Human-Automation Decision Making. In: Shimon Y. Nof (Hg.), Handbook of Automation. Heidelberg: Springer, 437-447.

Dorschner, Michael T., 2012: Automation im Cockpit. Ein qualitativer Vergleich von Mensch-Maschine-Interaktionen bei Airbus und Boeing (Bachelorarbeit, Hochschule Bremen), Bremen.

Fitts, P.M., 1951: Human engineering for an effective air navigation and traffic control system. Washington, D.C.: National Research Council.

Hutchins, Edwin, 1995: How a cockpit remembers its speeds. In: Cognitive Science 19: 265-288, http://hci.ucsd.edu/lab/hci_papers/EH1995-3.pdf.

Ibsen, Alexander Z., 2009: The politics of airplane production: The emergence of two technological frames in the competition between Boeing and Airbus. In: Technology in Society 31 (4): 342-349.

Inagaki, Toshiyuki, 2010: Traffic systems as joint cognitive systems: issues to be solved for realizing human-technology coagency. In: Cognition, Technology & Work 12: 153-162.

Manzey, Dietrich, 2008: Systemgestaltung und Automatisierung. In: Petra Badke-Schaub et al. (Hg.), Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. Heidelberg: Springer, 307-324.

Sarter, Nadine B./David D. Woods, 2000: Team Play with a Powerful and Independent Agent: A Full-Mission Simulation Study. In: Human Factors 42: 309-402, http://hfs.sagepub.com/content/42/3/390.short.

Weyer, Johannes, 1997: Die Risiken der Automationsarbeit. Mensch-Maschine-Interaktion und Störfallmanagement in hochautomatisierten Verkehrsflugzeugen. In: Zeitschrift für Soziologie 26: 239-257, http://www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/viewFile/2949/2486.

---, 2016: Confidence in hybrid collaboration. An empirical investigation of pilots' attitudes towards advanced automated aircraft. In: Safety Science 89: 167–179, http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.05.008.

---, 2017: Digitale Transformation und öffentliche Sicherheit (Forschungsforum Öffentliche Sicherheit. Schriftenreihe Sicherheit Nr. 22). Berlin.

Woods, David D./Nadine B. Sarter, 2000: Learning from automation surprises and "going sour" accidents. In: Cognitive engineering in the aviation domain: 327-353, http://csel.eng.ohio-state.edu/productions/laws/laws_talk/media/2_4_going_sour.pdf.

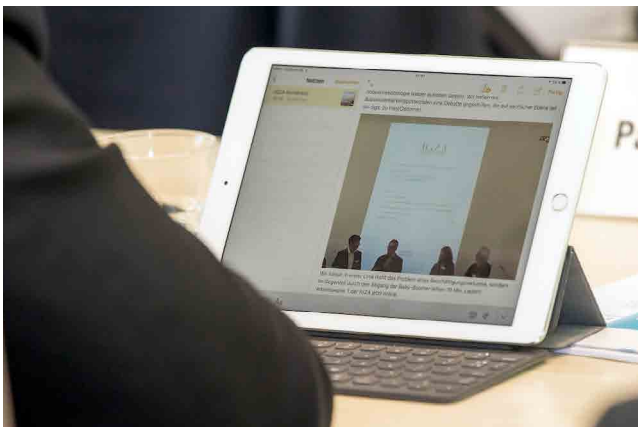
# Soll und kann Künstliche Intelligenz ethisch handeln?

Prof. Dr. Christoph Hubig, Fachgebiet Philosophie der wissenschaftlich-technischen Kultur, TU Darmstadt

Die Frage, die hier zu verhandeln ist, weist gewaltige Titelworte auf: Zwar steht außer Frage, dass mit Künstlicher Intelligenz ausgestattete Systeme agieren und im Zuge ihres Prozessierens „autonom“/„selbsttätig“ Effekte zeitigen, die nicht wie bei Automaten deterministisch vorgegeben sind. Aber „handeln“ sie im emphatischen Sinne, d. h. absichtsvoll unter selbst zugeschriebener Verantwortung in Anerkennung handlungsleitender Gründe? Oder erscheint uns ihr Agieren bloß handlungsförmig, wobei die Instanz der Anerkennung handlungsleitender Gründe und der Übernahme bzw. Zuschreibung von Verantwortung extern zu verorten wäre?

Analoges gilt für die Möglichkeit, den einschlägigen Aktionen eine moralische oder ethische Dimension zuzuweisen: Unter „Moral“ – dem angelsächsischen Wortgebrauch folgend, der größtenteils auch hier verbreitet ist, – versteht man die Orientierung des Handelns an den sittlich tradierten Regeln einer Lebensform, und unter „Ethik“ eine (mitlaufende) Reflexion auf Leistungen und Grenzen dieser Regeln im Lichte von Rechtfertigungsstrategien, innerhalb derer die Regeln auf den Prüfstand gestellt und ihre Geltungsgründe unter Prinzipien verhandelt werden. Entsprechend steht zur Diskussion, ob über das bloße Erkennen solcher Regeln hinaus die moralisch relevanten Prozesse des Anerkennens dieser Regeln (was die Freiheit der Verweigerung einer solchen Anerkennung impliziert) sowie die Prozesse ethischer Reflexion als Prüfung der Rechtfertigbarkeit der Anerkennung in den Systemen implementierbar wären und, wenn ja, wie. Oder würde es sich bloß um eine Simulation solcher Prozesse handeln, die ihren Ursprung anderswo haben und sich hier etwa in Gestalt funktionaler Vorgaben oder qua Gestaltung

der Trainingsbedingungen der Systeme niederschlagen? Zur Freilegung dieser Problematik und zur Prüfung möglicher Antworten sollen nachfolgend (1) zunächst verschiedene Typen von Autonomie unterschieden werden, sodann (2) der Frage nach Bewusstsein und Selbstbewusstsein mit Blick auf künstliche Intelligenzen nachgegangen werden, (3) bezüglich einer Interaktion mit intelligenten Systemen (z. B. Robotern) und einer daraus resultierenden Hybridisierung von Akteuren die Frage einer „geteilten" Verantwortlichkeit verfolgt werden, um schließlich (4) moralische Pflichten und Rechtspflichten im Kontext einer Gestaltung dieser Systeme anzusprechen.



## Typen von Autonomie

Wie die beiden Bestandteile des Wortes bereits signalisieren, haben wir es zum einen mit einer wie auch immer gearteten Selbsttätigkeit zu tun (auto-), zum anderen mit einem thematischen Bezug dieser Selbsttätigkeit, nämlich dem Umgang mit bzw. unter Regeln (nomous). Hierbei lassen sich drei Typen von Autonomie unterscheiden, wobei der Übergang zwischen den ersten beiden Typen fließend ist:

a) Operative Autonomie: Sie findet sich in Systemen, deren Agieren Freiheitsgrade in der Wahl der Mittel nach Maßgabe von Effizienz und Effektivität aufweist. Zwar ist diese operative Autonomie dahingehend determiniert, dass die Zwecke des Agierens vorgegeben sind; sie operiert aber nicht deterministisch wie Automaten, deren Prozessieren auf entsprechenden Algorithmen fixiert ist. Smarte Assistenzsysteme jeglicher Art fallen unter diese Rubrik, sofern sie im Zuge von Lernprozessen ihr Verhalten in Anpassung an Umweltbedingungen und/oder Nutzerprofile optimieren. Ein Tempomat ist nicht operativ autonom, wohl aber elaboriertere Systeme, welche z. B. das Lenk- und Bremsverhalten unterstützen, Geschwindigkeiten oder generell das Fahrverhalten in Abhängigkeit von Umweltbedingungen und Vigilanzschwellen regulieren, unter vorgegebenen funktionalen Erfordernissen Fahrtrouten auswählen etc. und hierbei u. a. auf einen „Erfahrungsschatz" auf statistischer Basis (s. u.), Bilanzierung von Chancen und Risiken der Steuerungsprozesse nach vorgegebenen Modellen sowie Belastungslimits von Material und Mensch (z. B. nach Maßgabe von Geschicklichkeit, Konzentration und Ausdauer) stützen. Rahmenbedingung für die Nutzung entsprechender Freiheitsgrade und eine entsprechende Wahl von Steuerungsprozessen ist eine moralische Orientierung, die seitens der Entwickler/innen und bzw. in Kooperation mit Nutzer/innen an die Systeme delegierbar ist und deren Konkretisierung innerhalb der Systeme entsprechend simuliert wird, als ob rationale Subjekte hier entschieden hätten.

b) Darüber hinaus ist eine strategische Autonomie identifizierbar: Auch hier wird kontextsensitiv agiert, jedoch nicht bloß hinsichtlich der Wahl der optimalen Mittel, also der Wahl von Steuerungsprozessen. Vielmehr erhöhen sich die Freiheitsgrade auf die Wahl von Zwecken unter vorgegebenen allgemeinen Zielen und zwar nach Maßgabe von deren Verwirklichungschancen und -risiken. Die Festlegung der konkreten Zwecke umfasst deren Priorisierung, Reihenfolge, Intensität, Taktung, Dauer der Zweckverfolgung, Direktheit oder Umweg der Realisierung bis hin zum Abbruch von Aktionen bei wenig aussichtsreich erscheinender Zweckrealisierung. Eine solche strategische Autonomie kann z. B. einem intelligenten System zugesprochen werden, welches eine gesamte Fertigungsanlage steuert und regelt - unter Berücksichtigung u. a. des Stands der Halbzeuganlieferung, eines sich abzeichnenden Ausfalls von Funktionen auf den Fertigungsinseln, des Belastungslimits der Arbeitenden, der Konsequenzen ausbleibender Zweckrealisierung, der Opportunitätskosten, einer Gefährdung mittelfristiger Nachhaltigkeit der Produktion im Spannungsfeld zu kurzfristiger Erhöhung der Gratifikationen -, einem System also, das Planungsprozesse realisiert. Eine solche Planungskompetenz unter vorgegebenen Zielen ist graduell, d. h. unter Festlegung höher- oder niedrigschwelliger Eingriffstiefe des Menschen delegierbar. Dies berührt jedoch nicht z. B. die Rechtfertigung der Typisierung von Kontexten, d. h. die Unterstellung der Relevanz und Gewichtung von Parametern bei deren Modellierung; und es betrifft nicht die Rechtfertigung von Werthaltungen derjenigen, die jene Planungskompetenz delegieren und dabei die Werthaltungen der von jenen Planungsprozessen Betroffenen zu berücksichtigen haben.

c) Wenn diese Dimension berührt wird, ist eine moralische Autonomie gefordert: Sie liegt in der Freiheit der Anerkennung von Prinzipien der Systemarchitektonik (für b)), wobei unter einer solchen Freiheit der Anerkennung die jeweilige Anerkennung des Selbst als Subjekt der Anerkennung mitlaufen muss; solcherlei macht im eigentlichen Sinne die Verantwortungsübernahme aus, die nicht (wie bei a) und b)) delegierbar oder simulierbar ist.

Mit der Leitdifferenz zwischen dem Erkennen von Regeln (einschließlich des Standes ihrer Umsetzung und entsprechender Reaktion hierauf) und dem Anerkennen der Validität von Regeln ist die Grenze markiert, unter deren Aspekt die Frage nach einem „ethischen Handeln“ künstlicher Intelligenz eine erste Antwort erfahren kann: Die Selbstzuschreibung einer verantwortlichen Anerkennung von Prinzipien und Zielen, das Selbst-Einstehen für Werthaltungen, die in ihrer Gesamtheit eine Persönlichkeit in verantwortlicher Urheberschaft für die Ausrichtung an höchsten Zielen ausmacht, bleibt noch so intelligenten Systemen verwehrt.

> *„Das Selbst-Einstehen für Werthaltungen, die in ihrer Gesamtheit eine Persönlichkeit in verantwortlicher Urheberschaft für die Ausrichtung an höchsten Zielen ausmacht, bleibt noch so intelligenten Systemen verwehrt.“*

### Bewusstsein als Voraussetzung von Moralitätsfähigkeit

Meiner Auffassung nach spricht nichts dagegen, intelligenten Systemen (wie auch höheren tierischen Spezies) elementares Bewusstsein zuzuweisen. Ein solches umfasst die spezifische Aktivität, Erfahrungen von Präsentationen in mentale Repräsentationen zu überführen. Repräsentationen beinhalten die Identifizierung von Präsentationen mit bestimmten Attributen (z.B. als anzustreben oder zu vermeiden, als mit den und den Qualitäten versehen, als disponibel oder indisponibel, als verursacht durch und sich auswirkend auf etc.). Hierbei gewinnen die Präsentationen, die uns durch unsere Sinnesorgane oder Sensorinputs zugänglich werden, Zeichencharakter (auf der Basis bestimmter Träger), vermögen sich aus ihrer situativen Bedingtheit abzulösen und zum Gegenstand von Erinnerung und Planung zu werden. Sie werden („propositionale“) Gegenstände eines Bewusstseins. Ein solches vermag lernend (sein Gegenstandsfeld erweiternd, sich korrigierend, sich adaptierend) mit ihnen umzugehen. Dabei kann dieser Umgang von vielen Determinanten unterschiedlichster Art beeinflusst sein (evolutionären Filtern, Auslegung der Verarbeitung von Sinnesreizen, Signifikanzschwellen, Konventionen der Zeichenverwendung und -zuordnung, Präferenzen und Aversionen etc.), innerhalb dieser Determiniertheit jedoch durchaus in sich nicht-deterministisch prozessieren.

Die Repräsentationen – und dies ist für künstliche Intelligenz relevant – können in Grenzen die Systemzustände des Bewusstseins selbst umfassen. Ein Bewusstsein kann ein Selbstmodell bilden, welches u. a. seinen Informationsstand, seine Dispositionen des Agierens, seine Leistungen und Grenzen und in Abhängigkeit hiervon die Bezugsbereiche möglicher Aktionen erfasst. Aus logischen Gründen kann ein Selbstmodell allerdings niemals ein vollständiges und für alle Elemente des Bewusstseins, einschließlich der jeweils vollzogenen Selbstrepräsentation, gültig entscheidbares Selbstmodell sein: Denn wäre die Selbstrepräsentation selbst Element des Selbstmodells, wäre sie Objekt der Selbstrepräsentation und nicht mehr diese selbst. Ist sie aber nicht Element des Selbstmodelles, so ist dieses unvollständig.

Solche Bewusstseinsformen einschließlich ihrer Grenzen können als kognitive Basis den Autonomietypen a) und b) zugeschrieben werden.

Ganz anders verhält es sich hingegen mit einem spezifischen Typ von Bewusstsein, welches Menschen sich als Selbstbewusstsein zuschreiben. Es handelt sich hier nicht um ein Bewusstsein über das Selbst (als eine bestimmte Repräsen-

tation), sondern um ein Bewusstsein vom Subjektcharakter des Selbst. Von diesem Selbst als Subjekt „kann man sich kein Bildnis machen“, denn es ist ja die vorauszusetzende Instanz der Produktion von Repräsentationen. Zu einem solchen Bewusstsein als Selbstbewusstsein kann man sich nur im Modus der Anerkennung eines Selbst entscheiden, indem man sich als verantwortlich dafür anerkennt, Prozesse des Anerkennens von Regeln, Prinzipien, Zielen zu vollziehen und gemäß dieser Anerkennung zu handeln. (Man kann sich dieser Anerkennung auch verweigern, indem man darauf verweist, dass man irgendwie fremdbestimmt war – „Ich war nicht ich

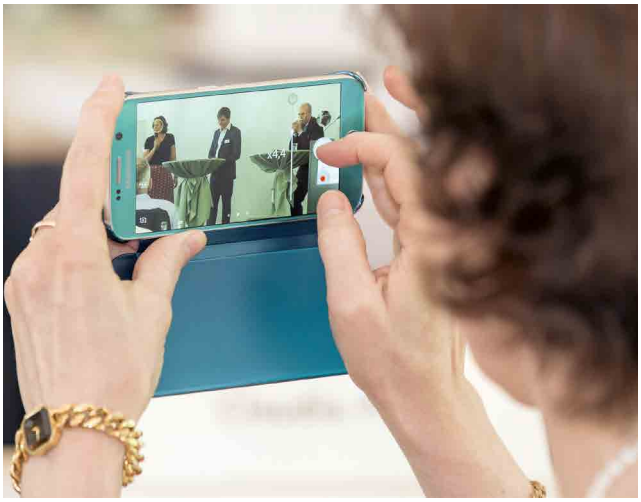
selbst!“). Dies betrifft auch und gerade die Notwendigkeit, sich zu den zahlreichen Prozessen, die wir als uns selbst determinierende Prozesse erkennen, in ein Verhältnis zu setzen: Sobald solche Prozesse nämlich identifiziert sind, stehen wir notwendigerweise in einem Verhältnis zu ihnen, welches uns unabhängig von der Möglichkeit einer faktischen Einflussnahme auf diese Prozesse zumindest in die Position bringt, diese Prozesse als solche anzuerkennen, denen wir uns fügen wollen oder die wir in dem Sinne nicht anerkennen, dass wir alles ins Werk setzen, eine Einflussnahme auf diese Prozesse zu erreichen. Insofern ist diese vernünftigen Wesen vorbehaltende Form eines Selbstbewusstseins, zu der man sich entscheiden kann oder nicht (im letzteren Falle machen wir uns – eine wählbare Option – zum Tier, begeben uns in eine Abhängigkeit oder lassen es dabei sein). Diese anerkennungsbasierte Form des Selbstbewusstseins kann nicht in Systeme künstlicher Intelligenz implementiert werden. Es wäre durchaus vorstellbar, dass Systeme künstlicher Intelligenz im Rahmen ihres Selbstmodells feststellen, dass ihnen bestimmte Informationen fehlen, Lernprozesse noch nicht abgeschlossen sind, bestimmte Repräsentationen sich noch nicht stabilisiert haben bzw. zu hohe Schwankungsbreiten aufweisen etc., und sie daher bestimmte Fragen nicht beantworten oder bestimmte Aktionen nicht ausführen können und dies auch explizit ausdrücken. Nicht aber können sie sich dahingehend äußern, dass sie angesichts einer bestimmten als notwendig erachteten funktionalen Vorgabe durchaus die Gelegenheit gehabt hätten, sich das entsprechende Knowhow und die entsprechenden Dispositionen des Agierens anzueignen, dies aber nicht gewollt hätten mangels Anerkennung der zugrundeliegenden Prinzipien.

Angesichts der Leitdifferenz zwischen Bewusstsein und Selbstbewusstsein (welches ein bloßes Selbstmodell überschreitet) kann die Antwort auf die Eingangsfrage nun dahingehend weiterentwickelt werden, dass Systemen künstlicher Intelligenz mangels Selbstbewusstsein in diesem emphatischen Sinne die basale Voraussetzung für eine (nicht simulierte) Moralität und erst recht für ethische Reflexion abzusprechen ist.

### Interaktion mit intelligenten Systemen/Robotern und die Hybridisierung von Akteuren („gemischte“ Systeme)

Wenn es um den Umgang mit intelligenten Systemen geht, wird landläufig von „Interaktion“ gesprochen. Keineswegs soll hier dieser Sprachgebrauch pauschal verurteilt werden, denn Begriffe unterliegen keinem „Markenschutz“. Gleichwohl ist anzumerken, dass im Rahmen dieses Sprachgebrauchs einige Pointen verloren gehen, die eine präzisere Begriffsverwendung mit sich führt. Das lässt sich insbesondere geltend machen mit Blick auf sogenannte moralische Dilemmata, in denen sich künstlich intelligente Systeme angeblich verfangen können. Gängige Beispiele hierfür sind das Verhalten autonomer Automobile im unvermeidlichen Kollisionsfall oder der Einsatz intelligenter Kampfdrohnen.

Um die Sicht auf die Problemlage zu schärfen, ist es sinnvoll, zunächst auf die engere Fassung des Interaktionskonzepts zu verweisen, wie sie im Rahmen der Soziologie und der allgemeinen Handlungstheorie etabliert ist: Versteht man dort unter „Aktion“ einen Prozess, der mit der Erwartung über die Realisierung eines Zwecks verbunden und durch diese motiviert ist, so bezeichnet „Interaktion“ eine Aktionsform, die auf Aktionen anderer gerichtet ist und sich mithin an Erwartungen über die Erwartungen anderer, sog. Erwartungserwartungen, orientiert. Diese Erwartungserwar-



tungen werden im Idealfall ständig einem kommunikativen Abgleich unterzogen (sodass in einem solchen Idealfall die Erwartungen der Entwickler/innen über die Erwartungen der Nutzer/innen und die Erwartungen der Nutzer/innen über die Erwartungen der Entwickler/innen harmonieren). Solcherlei setzt entsprechende höherstufige elaborierte Kommunikationsprozesse voraus.

Für den Umgang mit intelligenten Systemen (einschließlich Robotern) sind solche höherstufigen Kommunikationsprozesse nicht in Sicht. Vielmehr findet die wechselseitige Bildung von Erwartungen bei ihren Trägern, Mensch und Roboter, unabhängig statt, und das Zusammenwirken menschlicher und künstlicher Systeme basiert auf jeweils unterschiedlicher unabhängiger Art der Erwartungsbildung. Die Systeme verfolgen qua Tracking die Aktionen menschlicher Nutzer/innen und bilden hierauf basierend Muster bezüglich der eigenen Erwartungen, der Wertung der jeweiligen Elemente und Komponenten der Erwartung und der Wertung der

> *„Für den Umgang mit intelligenten Systemen (einschließlich Robotern) sind solche höherstufigen Kommunikationsprozesse nicht in Sicht.“*

Aktualisierung dieser Erwartungen in konkreten Aktionen. Hieraus resultieren bestimmte Dispositionen des Agierens, die in den einzelnen Schritten ihres Zustandekommens für die Nutzer/innen und in weiten Bereichen auch für die Entwickler/innen intransparent bleiben. Lediglich in die Gestaltung der Trainingsbedingungen der Systeme bei ihrer Musterbildung und in die Ergebnisse des Agierens kann Einsicht genommen und über sie bilanziert werden. Erst recht kann sich die Musterbildung der Systeme von konkreten Interaktionsprozessen lösen, wenn zusätzlich die Übernahme bestimmter Muster aus einschlägigen Kontexten des World Wide Web die Bildung von Dispositionen in den Systemen zusätzlich beeinflusst. Umgekehrt haben die Nutzer/innen nicht mehr die Möglichkeit, ihre Erwartungserwartungen an die Entwickler/innen der Systemarchitektur angesichts des Verhaltens der Systeme zu verifizieren, zu korrigieren, fortzuschreiben, weil das Feld der Determinanten der Bildung systemischer Dispositionen unüberschaubar und intransparent ist.

Daher wird neuerdings zur Charakterisierung dieser Vollzüge eher der Begriff „Koaktion“ eingesetzt, und es ist die Rede von „hybriden Akteuren“, wodurch signalisiert werden soll, dass zwei Agenten, die in ihrer Bildung von Mustern und Disposi-

tionen auf der einen Seite von Erwartungserwartungen auf der anderen Seite geleitet sind, ohne direkte Kommunikation, gleichsam arbeitsteilig, Handlungseffekte zeitigen. Sofern sichergestellt werden kann, dass die Systemdispositionen funktional äquivalent sind mit den Erwartungen der Nutzer/innen, kann im Rahmen solcher Koaktionen eine gelingende Interaktion zumindest simuliert werden (z. B. beim Einsatz von Kuschelrobotern für Demenzkranke). Die Koaktion gerät jedoch an ihre Grenzen, sofern menschliche Akteure intrinsisch, d.h. ohne extern beobachtbare und registrierbare Stimuli, im Zuge von Abwägungen ihrer Erwartungen und Änderung ihrer Werthaltungen die Realisierung von Zwecken nicht zulassen oder verändern, also gewissermaßen die intelligenten Systeme „auszutricksen“ suchen. Beispiele hierfür wären folgende nicht auszuschließende Arten des Umgangs mit autonomen Automobilen: Deren Disposition, Personenschäden zu minimieren, könnte zur Nutzung möglichst schwach gesicherter Automobile führen, weil die stärker geschützten im Falle eines Unfalls bevorzugt angesteuert werden. Oder bei vollbesetzten Fahrzeugen könnten abwegige Lizenzen zum nichtregelkonformen Verkehrsverhalten in Anspruch genommen werden, weil die Verursacher im Kollisionsfall eher verschont bleiben. Auch können zum Zwecke der Entledigung von Eigenverantwortung den Systemdispositionen allzu hohe Entscheidungskompetenzen zugewiesen werden, wenn es – wie im Falle von Kampfdrohnen – darum geht, potentielle Kombattanten zu identifizieren und Fehlertoleranzen bei der Unterscheidung von Zivilpersonen und militärischem Personal zuzulassen.

Auch hier zeigen sich unüberbrückbare Leitdifferenzen, wenn qualitative Erfahrungen wie Freude, Bedauern, Reue auf der Menschseite, die bestimmten Werthaltungen geschuldet sind, auf quantitativ-statistische Erfahrungen der Systeme (basierend auf ihrem jeweiligen Training) treffen, und umgekehrt deren individuell adaptive, lernende Musterbildung auf die Etablierung menschlicher Verhaltensmuster trifft, die sozialem Lernen, Rechtfertigungskulturen und moralischen Diskursen geschuldet sind.

### Die unbedingte Pflicht zur weitest gehenden Vermeidung der Entstehung moralischer Dilemmata (Ausblick)

Die einschlägigen moralischen Dilemmata entstehen in der Regel dadurch, dass die Systeme durchmischt sind: Würden im Idealfall nur autonome Systeme mit anderen autonomen Systemen interagieren, also smarte Automobile mit anderen smarten Automobilen und Kampfroboter mit anderen Kampfrobotern, entständen die moralischen Herausforderungen allenfalls mit Blick auf die Vermeidung eines möglichen Systemversagens insgesamt; sie würden in die bekannten technikethischen Fragestellungen der Gewährleistung hinreichender Safety (Funktionssicherheit) der Systeme nach Maßgabe der Berücksichtigung hinreichender Security (Sicherheit der Nutzer/innen) zurückführen. Im Zuge der neueren Entwicklungen zeigt sich die Safety der Systeme jedoch insgesamt durch menschliche Interventionen angreifbar, und umgekehrt werden Spielräume hinreichender Security der Personen durch Funktionsmechanismen der Systeme verstellt. Wie wäre die Autonomie eines Fahrzeugführers zu werten, wenn gemäß der Bilanzierung im Kollisionsfall die Selbstopferung dem System günstiger erscheint als die Zeitigung hoher Personenschäden? Wie soll ein bilanzierendes System moralische Unterscheidungen wie Inkaufnahme, bewusste Herbeiführung, Pflichten gegen sich selbst und gegenüber anderen etc. in sich repräsentieren? Welche weitergehenden Differenzierungen hätte es angesichts von möglichen Personenschäden (Alter/Lebenserwartung, Verdienste, Hilfsbedürftigkeit etc.) zu berücksichtigen?

Den hier nur anzudeutenden Entstehungsgründen moralischer Dilemmata ist zunächst entgegenzusetzen, dass moralische Dilemmata im normativen Sinne nicht auflösbar sind (sonst wären es keine), weshalb ihnen in der Regel mit Verweisen auf persönliche und daher nicht weiter einer Rechtfertigung zu unterziehenden Gewissensentscheidungen oder mit Verweisen auf pragmatisch begründete Umgangsstrategien hoher sozialer Anerkennung (z.B. bei der Festlegung der Reihenfolge von Behandlungen von Betroffenen im Katastrophenfall) begegnet wird. Was resultiert hieraus bezüglich der Gestaltung von Systemen künstlicher Intelligenz in Ansehung ethischer Fragestellungen?

Wenn im Felde künstlicher Intelligenz ethische Problemlagen – insbesondere die moralischen Dilemmata – im Wesentlichen im Kontext durchmischter Systeme entstehen, und wenn die Zulassung moralischer Dilemmata in gewissem Sinne die Zulassung der Einschränkung moralischer Autonomie (qua Ausschluss richtigen Handelns) zur Folge hat, ergibt sich eine unbedingte Pflicht, eine derartige Entstehung weitest möglich zu verhindern. Denn sonst träte moralische Autonomie zu sich selbst in Widerspruch. Zu erreichen wäre dies, wenn dort, wo es ohne Not möglich ist, zunächst eine Durchmischung

> *„Im Zuge der neueren Entwicklungen zeigt sich die Safety der Systeme jedoch insgesamt durch menschliche Interventionen angreifbar, und umgekehrt werden Spielräume hinreichender Security der Personen durch Funktionsmechanismen der Systeme verstellt.“*

der Systeme vermieden würde: Wenn autonome Automobile auf einer ausschließlich für diese reservierte Autobahnspur verkehrten oder reservierte Innenstadtzonen ausschließlich smarten Automobilen vorbehalten wären, bis der gesamte Verkehr auf autonomes Fahren umgestellt ist, könnten die moralischen Problemfälle weitgehend minimiert werden. Wenn eine Durchmischung hingegen unvermeidlich erscheint – wie in der Mensch-Roboter-Koaktion – wäre kompromisslos auf Transparenz zu setzen, was die Trainingsbedingungen der Systeme, die Architektur der Herausbildung ihrer Dispositionen und die Bilanzierung der Aktionseffekte betrifft. Dem müsste eine adäquate Herausbildung von „Verantwortungsnetzwerken“ einhergehen, innerhalb derer die Delegationsprozesse für Autonomie im Sinne von a) und b), die Möglichkeiten einer Verantwortungszuweisung in Haftungsfällen und die Prozesse der Bildung von Erwartungen bzw. Systemdispositionen der Beteiligten so verhandelt werden, dass ethische Diskurse über künstliche Intelligenz präzise und sachangemessen geführt und Voraussetzungen für einschlägige Verrechtlichungsprozesse erbracht werden.

# Anwendungsfelder von Robotern in der Produktion

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer, Institutsleiter
Fraunhofer IAO

## Roboter: Jobkiller oder Jobbringer?

Roboter und Computer sind nicht die gefürchteten Job-Vernichter, betonten Unternehmen und Verbände auf der Hannover Messe 2017. Die Digitalisierung werde zwar Arbeitsplätze überflüssig machen, aber gleichzeitig viele neue schaffen, prognostizieren die Experten (Hannoversche Allgemeine vom 24.04.2017). Dennoch gibt es eine Reihe widersprüchlicher Studien im Hinblick auf die zu erwartenden Beschäftigungseffekte aufgrund zunehmenden Robotereinsatzes. Auf der einen Seite wird von flächendeckendem Arbeitsplatzabbau gesprochen, auf der anderen Seite werden Gegenrechnungen zu neu entstehenden Arbeitsplätzen aufgemacht. So steht in der Studie von Frey und Osborne[1], dass 47 % der heutigen US-Beschäftigten ihren Arbeitsplatz durch Digitalisierung und Automatisierung in den nächsten 20 Jahren verlieren werden. Aktuell rechnet der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) allein aufgrund der guten konjunkturellen Situation noch 2017 mit der Entstehung von rund einer halben Million Jobs alleine aufgrund der konjunkturell guten Lage[2].

## Der Robotermarkt boomt

Tatsache ist: Der Robotermarkt boomt und Deutschland führt in Europa mit 300 Roboterinstallationen je 10.000 Arbeitnehmer deutlich vor den anderen europäischen Ländern (Abb. 1). Weltweiter Wachstumstreiber ist allerdings China. Bis 2019 wird China rund 40 % der weltweiten Roboterinstallationen tätigen. Insgesamt ist ebenfalls bis 2019 mit einem jährlichen Wachstum von 13 % zu rechnen, sodass sich die Anzahl der weltweit eingesetzten Industrieroboter innerhalb von fünf Jahren nahezu verdoppeln wird[3].

Die Treiber beim Robotereinsatz sind die Automobil- und die Metall- und Elektrobranche, die zusammen drei Viertel der weltweiten Roboterinstallationen auf sich vereinen (Abb. 2).

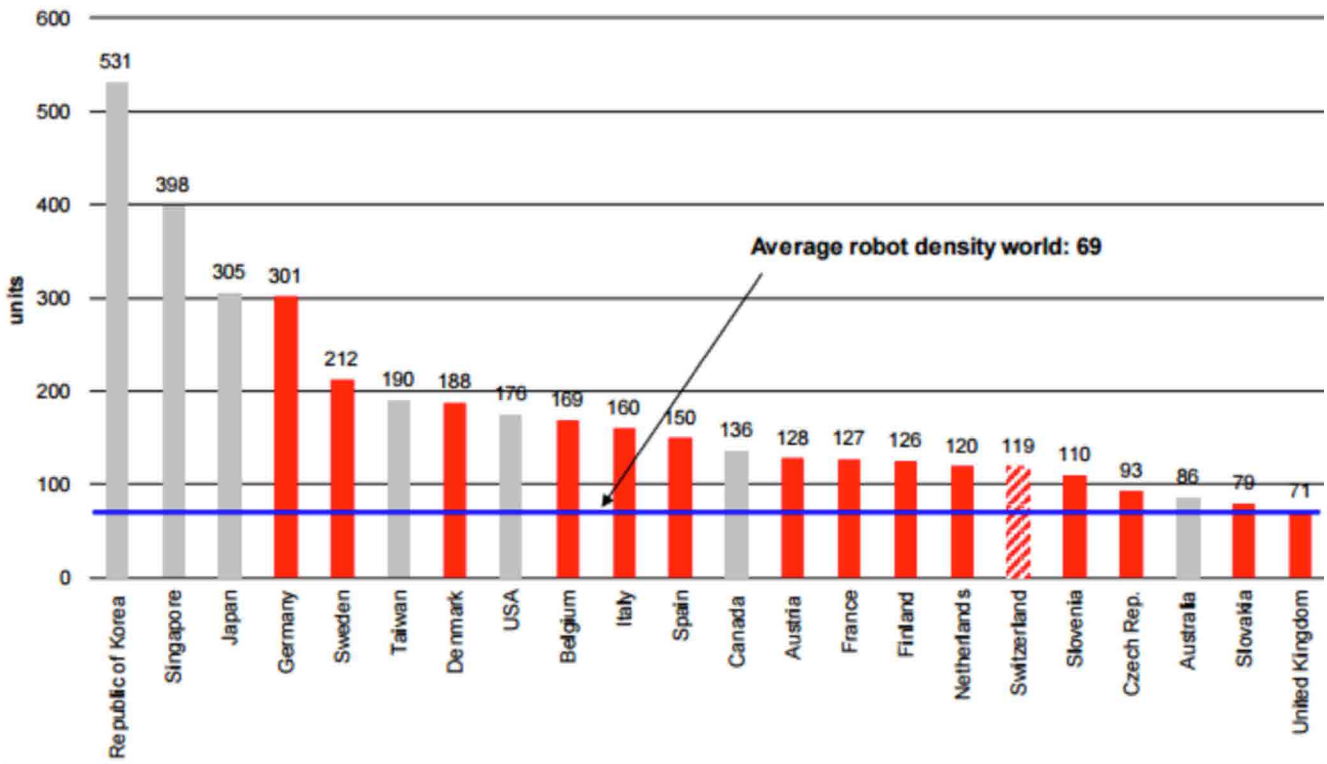



Abbildung 1: Roboterdichte pro 10.000 Beschäftigte in Industrieländern.[3]

1) C. B. Frey; M. A. Osborne: The Future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? September 17, 2013. University of Oxford.
2) Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). Pressemeldung des BDI vom 10.01.2017.
3) International Federation of Robotics (IFR). World Robotics 2016: Marktübersicht Industrie¬roboter: https://ifr.org/downloads/press/02_2016/Presentation_market_overviewWorld_Robotics_29_9_2016.pdf.

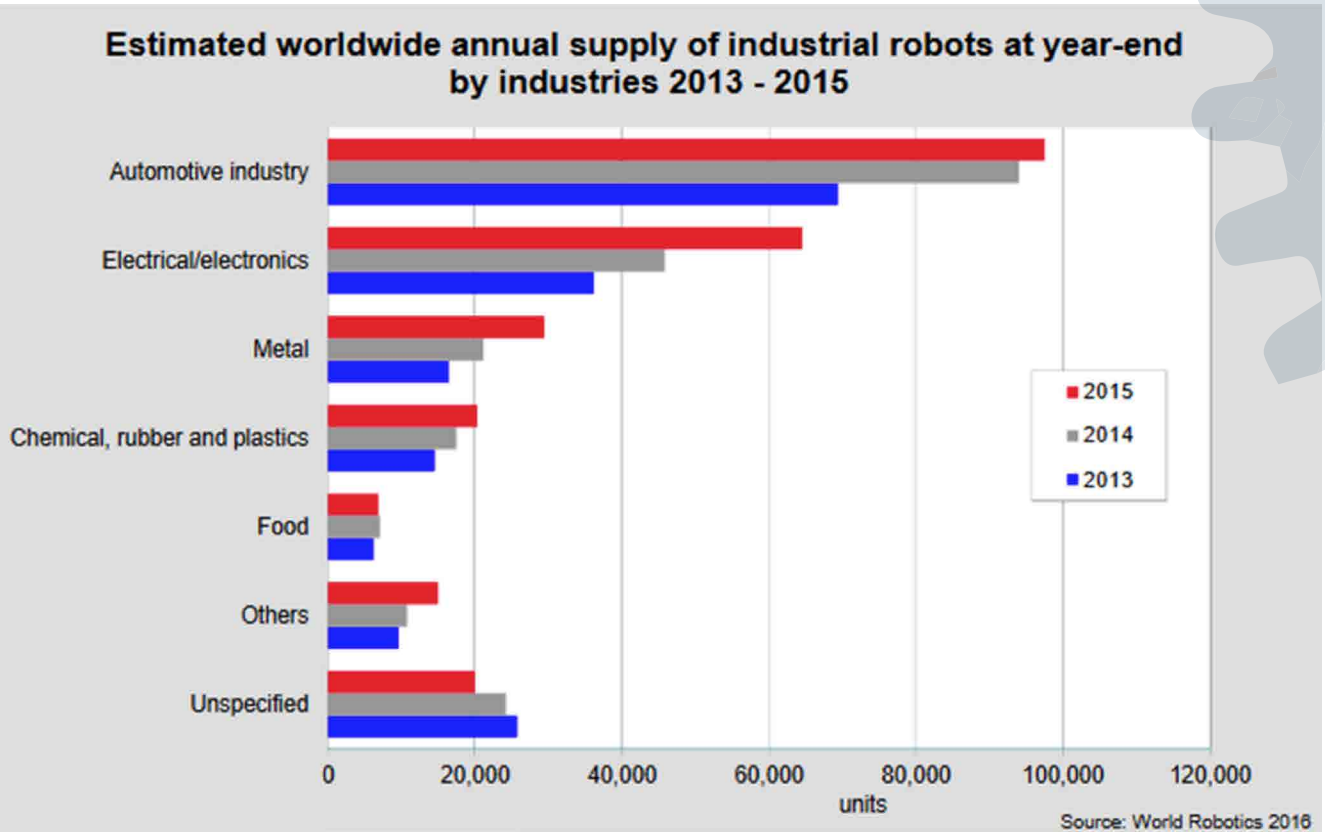



Abbildung 2: Roboterinstallationen nach Branchen.[3]

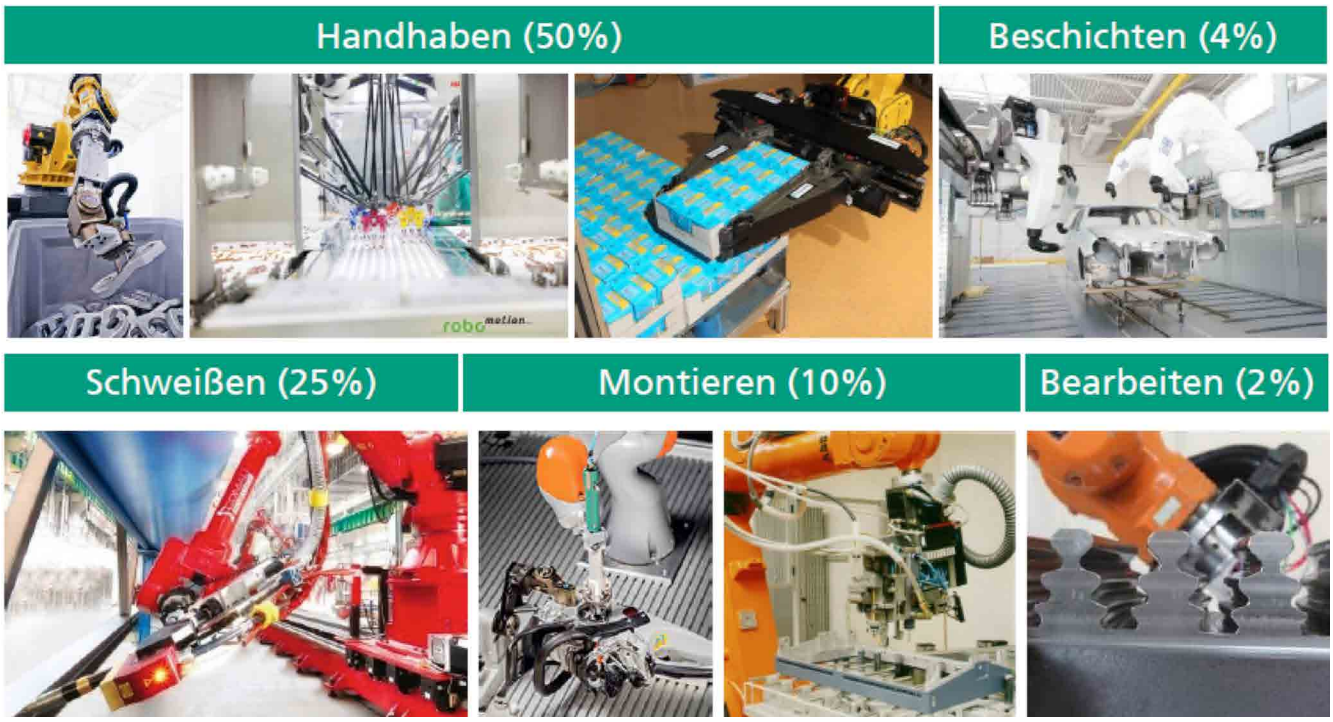



Abbildung 3: Verteilung von Roboter-Anwendungsfällen.[4]

## Roboter in der Produktion

Typische Anwendungsfelder von Robotern sind Handhabungsaufgaben wie „Pick & Place“ oder Palettieren sowie Schweißen, Montieren oder Lackieren. Bei Industrierobotern sind 50 % aller dokumentierten Anwendungsfälle Handhabungsaufgaben. Nur 10 % der Roboterapplikationen finden sich in der Montage (Abb. 3). Dass die Montage einen relativ geringen Automatisierungsgrad hat, liegt zum einen an den möglichen

Stückzahlen bzw. an der steigenden Varianz der Produkte, die in ihrer Vielfalt vor allem in der Montage entstehen. Hinzu kommt die große Anzahl verschiedener Aufgaben und der Teilegeometrien in der Montage verbunden mit der Tatsache, dass der „Griff in die Kiste“ bisher nur mit ausgewählten Teilen möglich ist und die meisten Teile, die von einem Roboter verbaut werden sollen, speziell bereitzustellen sind.

Aus heutiger Sicht sind in der Produktion (Fertigung, Montage und Logistik) typischerweise Industrieroboter mit Schutzzaun, Leichtbauroboter (oft ohne Schutzzaun) und neuerdings auch erste Exoskelette anzutreffen[4]. Exoskelette, die die Mitarbeiter direkt am Körper tragen, dienen – wie ein zweites Skelett – als äußere Stützstruktur für den Körper. Die bei Mitarbeitern von BMW verwendete Exoskelett-Weste verstärkt die Bewegung der Oberarme bei stark ermüdenden Arbeiten. In den Gelenken dieser Weste ist eine mechanische Federunterstützung integriert, die die Kraft der Arme erhöht. Im BMW Group Werk Spartanburg ist bis Ende 2017 der Einsatz von 68 Exoskeletten vorgesehen.[5]

## Ein neuer Trend: schutzzaunlose Roboteranwendungen

Seit einigen Jahren steigt die Anzahl von Roboteranwendungen, bei denen der Roboter ohne Schutzzaun betrieben wird. Der Betrieb ohne Schutzzaun ist Voraussetzung für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), bei der Mensch und Roboter in einem gemeinsamen Interaktionsraum zusammenarbeiten. Seit die entsprechenden Normen (EN ISO 10218-1, -2) und die ISO TS 15066 zu den biomechanischen Grenzwerten 2015 und 2016 veröffentlicht wurden, ist eine steigende Anzahl von MRK-Anwendungen im industriellen Umfeld zu beobachten. Mit MRK lassen sich Arbeitssysteme und -abläufe völlig neu und optimiert gestalten.

Auch beim schutzzaunlosen Betrieb sind viele Handhabungsaufgaben bekannt, aus dem Bereich der Montage bislang allerdings vergleichsweise nur wenige. Beflügelt wird der Robotermarkt aktuell zudem durch kleine sogenannte Leichtbauroboter, die zum Großteil ab Werk prinzipiell für den schutzzaunlosen Betrieb zugelassen sind. Allerdings unterscheidet die International Federation of Robotics (IFR) in ihren Kennzahlen nicht die Roboter, die bereits ab Werk der EN ISO 10218-1 für den schutzzaunlosen Betrieb entsprechen, sondern nur zwischen Industrie- und Assistenzrobotern. Wenn man als Trendbarometer die Firma Universal Robots heranzieht, die ausschließlich derartige Roboter herstellt, dann hat dieses Unternehmen 2015 gegenüber 2014 ein Umsatzwachstum von 91 % und 2016 gegenüber 2015 ein Umsatzwachstum von 62 % (Quelle: Universal Robots) vorzuweisen. Für 2017 sind zudem wiederum plus 50 % geplant. Neben der Stückzahlsteigerung bei einzelnen Herstellern nimmt auch die Vielfalt an dieser neuen Art von Robotern ständig zu. Abb. 5 zeigt eine Auswahl derzeit auf dem Markt befindlicher schutzzaunloser Roboterarme.

Wenn es sich nicht um einfache Prozesse („Pick & Place“, einfaches Fügen o. ä.) handelt, sind die MRK-Applikationen heute in den meisten Fällen nach den klassischen Maßstäben noch nicht wirtschaftlich. Dennoch versprechen sich die Firmen viele Vorteile vom schutzzaunlosen Betrieb, da der Mitarbeiter jetzt bei schwierigen, gefährlichen oder unergonomischen Tätigkeiten direkt unterstützt werden kann. Gerade die Potenziale im Bereich Ergonomie werden vor allem in der Automobilindustrie häufig als wesentliche Nutzenargumente angeführt. Um durch Einsatz der neuen Roboter das Ziel der Wirtschaftlichkeit erreichen zu können, müssen neben den Preisen für die Roboter an sich auch die Preise für die Peripherie und für das Engineering weiter sinken. Abb. 6 zeigt eine Hochrechnung für Robotersysteme, die von einer Kostensenkung von ca. 20 % bis 2025 ausgeht.[5] Durch den fehlenden Schutzzaun lassen sich aber auch viele andere Prozesse völlig neu gestalten. So können Leichtbauroboter relativ einfach in One-Piece-Flow-Linien integriert werden, ohne dass teure Verkettungen benötigt werden. Zudem lassen sich Anwendungen jetzt auch bei engen Platzverhältnissen realisieren.

## Arten der Kollaboration: Zusammenarbeitsgrade von Mensch und Roboter

Für die Studie „Leichtbauroboter in der manuellen Montage“ hat das Fraunhofer IAO die realisierten Zusammenarbeitsgrade von Mensch und Roboter bei Unternehmen abgefragt.

Abbildung 4: Robotertypen (Bildquellen: Kuka, Universal Robots, Produktion)

4) M. Hägele: MRK als Werkzeug in einer Indutrie-4.0-Welt. 1. Stuttgarter MRK-Anwendertag – Praxis der Mensch-Roboter-Kollaboration für den Mittelstand. 15. Februar 2017, Stuttgart.
5) BMW-Group. Pressemeldung der BMW Group vom 02.03.2017. https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0268199DE/die-bmw-group-setzt-auf-innovative-automatisierung-und-flexible-assistenzsysteme-in-der-produktion.

Abbildung 5: Beispiele für schutzzaunlose Roboter.[6]

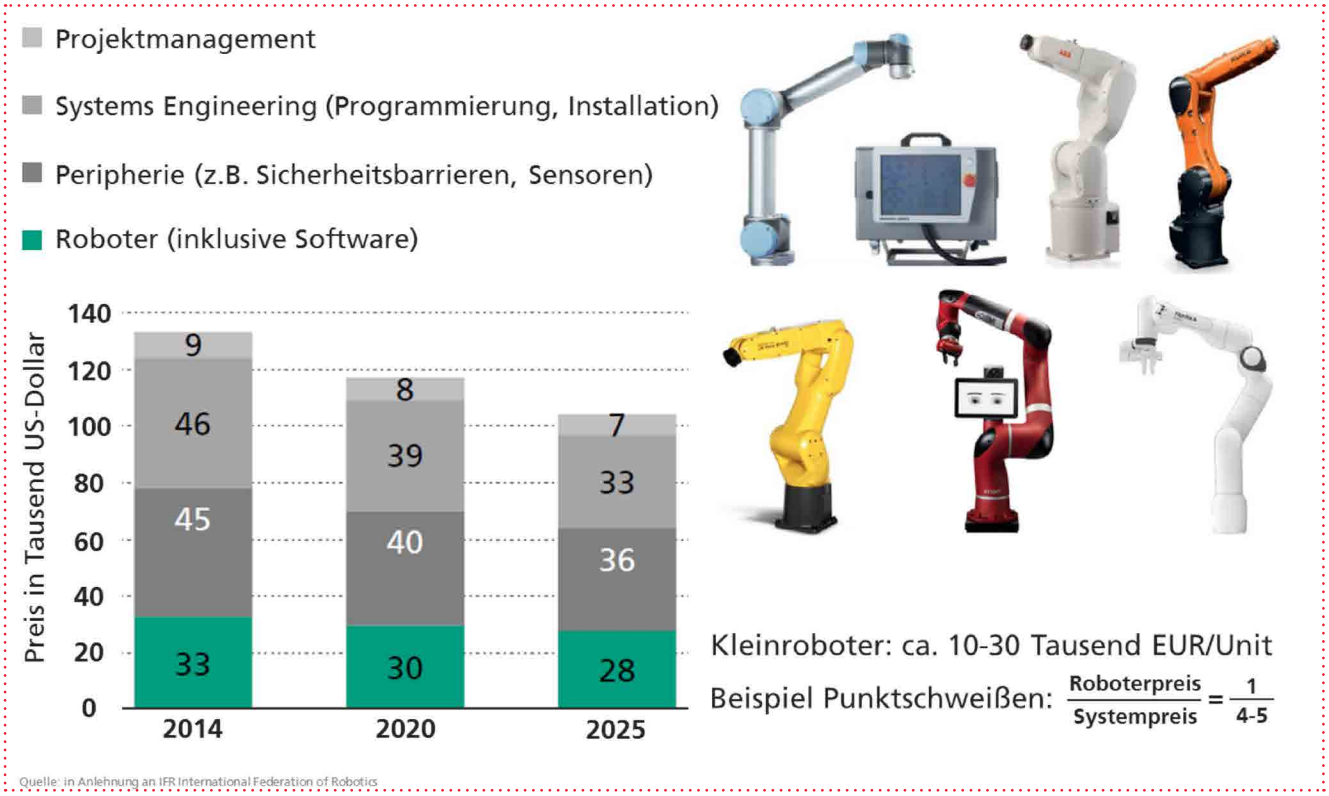



Abbildung 6: Kostenentwicklung: Robotersysteme und Kleinroboter.[4]

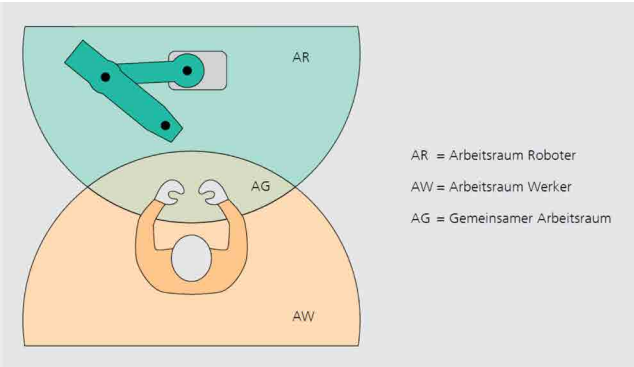



Abbildung 7: Festlegung der Arbeitsräume für die Interaktion von Mensch und Roboter (angelehnt an [7])

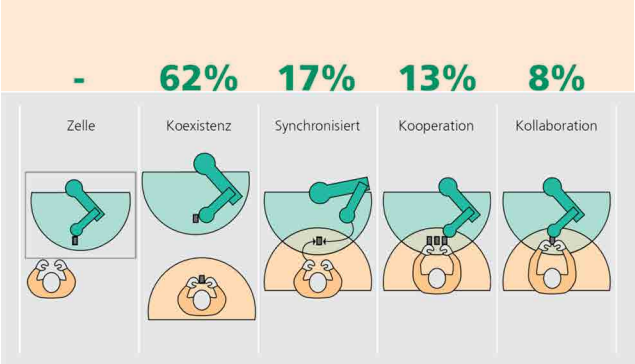



Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Interaktionsarten in der Montage.[8]

6) Bildquellen bei folgenden Roboterherstellern: Universal Robots (www.universalrobots.com/de/produkte); Schunk (www.mobile.schunk-microsite.com); Bosch (www.bosch-apas.com); KUKA (http://www.kuka-robotics.com); ABB (www.new.abb.com/products); MRK Systeme (www.mrk-systeme.de/downloads); Fanuc (www.fanuc.eu/pt/en/robots); Rethink Robotics (www.rethinkrobotics.com/de); Stäubli www.staubli.com/de/robotik/roboterarme/; YASKAWA www.motoman.com/products/robots; MABI www.mabi-robotic.com/; F&P Person. Robotics www.fp-robotics.com/de/technology; Precise Automation www.preciseautomation.com.

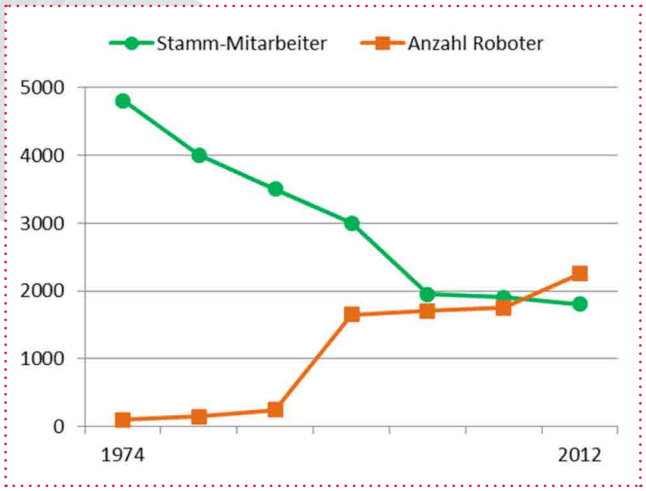



Abbildung 9: Anzahl Mitarbeiter und Menschen im Karosseriewerk des Golf.[9]

Grundlage dieser Zusammenarbeitsgrade ist die in Abb.7 dargestellte Festlegung der unterschiedlichen Arbeitsräume.

Folgende Interaktionsarten wurden unterschieden:

- Zelle: Kein echtes Kooperationsszenario, da klassischer Schutzzaunbetrieb.
- Koexistenz: Mensch und schutzzaunloser Roboter arbeiten nebeneinander, haben aber keinen gemeinsamen Arbeitsraum.
- Synchronisiert (auch sequenziell genannt): Der Arbeitsablauf ist so gestaltet, dass Mensch und Roboter zwar einen gemeinsamen Arbeitsraum haben, aber der vorgesehene Ablauf immer nur einen Interaktionspartner im Arbeitsraum vorsieht.
- Kooperation: Beide Interaktionspartner können gleichzeitig im (gemeinsamen) Arbeitsraum Aufgaben haben, arbeiten aber nicht gleichzeitig am selben Produkt oder Bauteil.
- Kollaboration: Gemeinsame Arbeitsaufgabe gleichzeitig am selben Produkt oder Bauteil.

Bei der Untersuchung von 25 Montage-Anwendungsfällen in der Industrie ergab sich die in Abb. 8 dargestellte Häufigkeitsverteilung.

## Die Montage wird weiter im Automatisierungsniveau hinter den Fertigungsbereichen zurückbleiben

Betrachtet man die Montage in Unternehmen, so zeigt sich, dass hier aktuell noch ein großer Nachholbedarf an Automatisierung existiert. Der Grund hierfür sind viele komplexe Prozesse, von denen nur ein Teil wie z. B. Schweißen oder Schrauben gut beherrscht wird. Problematisch sind vor allem biegeschlaffe Teile (z. B. Dichtungen), ungünstige Geometrien, komplexe Fügeprozesse, ungenaue Positionen der Montageobjekte und die Vielzahl an unterschiedlichen Varianten.

Da die Mehrzahl der Montagearbeitsplätze in Deutschland immer noch manuell ist, gestaltet sich zudem die Materialbereitstellung an den manuellen Montageplätzen nicht robotertauglich (automatisierungsgerecht) und die meisten Teile, welche von einem Roboter verbaut werden sollen, müssen speziell bereitgestellt werden. Dies hat zur Folge, dass die Teile vor dem Montageprozess entweder vom Zulieferer oder der internen Logistik automatisierungsgerecht umgepackt werden müssen und damit viel an erreichbarer Wirtschaftlichkeit wieder verloren geht.

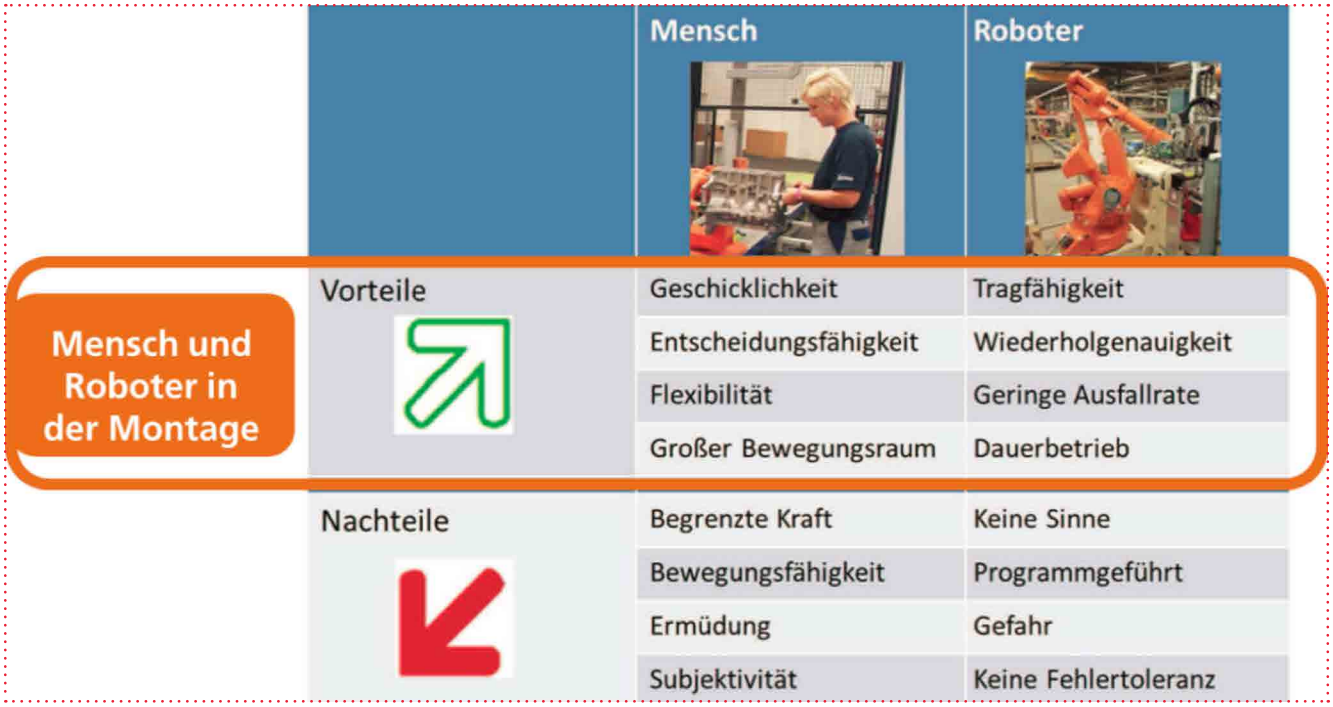



Abbildung 10: Beispiele für Nutzen der gemeinsamen Stärken.[10]

7) Thiemermann, S.: Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem Scara-Roboter. Dissertation, Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost-Jetter-Verlag 2005.
8) W. Bauer (Hrsg.); M. Bender; M. Braun; P. Rally; O. Scholtz: Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach EINFACH anfangen. Erste Erfahrungen von Anwender¬unternehmen. Fraunhofer IAO, 2016. Fraunhofer Verlag.
9.) Welt am Sonntag vom 01.02.2015. Interview mit VW Personalvorstand H. Neumann.
10) Dr. E. Wellbrock: Arbeit 4.0. Ein Beispiel aus der Aggregatmontage. 13.09.2016 ThyssenKrupp System Engineering.

**MRK-Beispiel: Großroboter-Kollaboration**

- Roboter unterstützt Mitarbeiter in der Handhabung und Positionierung von Bauteilen
- Kollaboration durch nicht-trennende, optische Schutzeinrichtungen
- Neuartige, wandlungsfähige Fertigungsszenarien

**Veränderung der Arbeit**

- Ergonomisches und individuelles Gestalten der Arbeitstätigkeit mit kollaborativem Roboter
- Mitarbeiter trägt Verantwortung für Gefährdungsprävention
- Vereinfachung der Arbeitsaufgabe

**Mehrwert und Nutzen**

- Ergonomische Verbesserung bei Handhabungs- und Schweißprozessen
- Qualitätssteigerung durch gegenseitige Kontrolle von Mensch und Roboter
- Platz- und Kostenersparnis durch Mensch-Roboter-Kollaboration

Abbildung 11: Beispiel im Future Work Lab Stuttgart.[11]

Vor diesem Hintergrund ist durch die neuen günstigeren Roboter in der Montage zwar eine stärkere Automatisierung zu erwarten, eine Durchdringung von über 90 % wie im Karosseriebau der Automobilhersteller ist mit den derzeit vorhandenen Technologien und Kosten aber nicht darstellbar. Selbst für ein „Gleichauf", also genauso viele Roboter wie Menschen im Einsatz, was bei VW im Karosseriewerk des Golf in 2010 realisiert wurde (Abb. 9), ist mit den heutigen Möglichkeiten nicht vorstellbar.

## Resttätigkeiten – ein Risiko für die Arbeitsgestaltung

Während bei bisherigen Betrachtungen beim Robotereinsatz mit dem Menschen schwerpunktmäßig immer das Fähigkeitenmodell (der Roboter soll machen, was er gut kann; der Mensch soll machen, was er gut kann (siehe Abb. 10)) und die Sicherheit im Vordergrund standen, können diese Rahmenbedingungen im Bereich der Montage noch zu anderen Betrachtungen führen.

Bei Anwendung des Fähigkeitenmodells kann es gerade in der Montage dazu kommen, dass für den Menschen nur noch schlecht automatisierbare Resttätigkeiten bleiben, die manuell schwierig, kurzzyklisch und damit – vor allem in getakteten Systemen – zu Stress, Monotonie und psychischer Sättigung führen können.

In der momentanen Situation werden bei der schutzzaunlosen Robotik vor allem die Potenziale in der Ergonomie angegangen. Dies sind zum einen Optimierungen der klassischen physischen Belastungen, die durch hohe Kräfte, Gewichte oder durch ungünstige Körperhaltungen (z. B. Überkopfarbeit) entstehen. Aber auch Tätigkeiten, die zu einseitig psychischen Belastungen, wie Monotonie führen, werden heute entsprechend automatisiert. Allerdings handelt es sich hier typischerweise um einfache „Pick & Place"-Tätigkeiten und nicht um die zuvor angeführten kritischen Resttätigkeiten in der Montage. Hinzu kommt, dass vor allem die aktuellen Projekte zur klassischen Ergonomie in den meisten Fällen nach einer „üblichen" Wirtschaftlichkeitsbetrachtung „nicht wirtschaftlich" sind. Betrachtungen, die belastbar sinkende Krankenstände o. ä. berücksichtigen, sind nicht bekannt.

Die Automatisierung zur Verbesserung der klassischen Ergonomie ist sehr positiv zu sehen, allerdings sind deren Potenziale irgendwann erschöpft und die wirtschaftliche Automatisierung mit Robotern wird wieder in den Fokus rücken. Dadurch kommen die wirtschaftlich darstellbaren Automatisierungen zum Zuge, also die „einfach" automatisierbaren Tätigkeiten, wie z. B. einfach zu greifen oder einfach zu fügen. Das zuvor genannte Risiko der Zunahme von kritischen Resttätigkeiten bleibt somit bestehen.

## Stellhebel Arbeitsorganisation

Um das Risiko der Resttätigkeiten frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden, bedarf es einer Bewertung der Tätigkeiten nach Auswirkungen von psychischen Belastungen, wie z. B.

11.) Fraunhofer IAO. Future Work Lab Stuttgart. https://futureworklab.de/.

der psychischen Ermüdung, der psychischen Sättigung oder von Monotonie bzw. Stress (Belastung aus der Arbeitstätigkeit heraus). An dieser Stelle identifizierte Defizite machen eine andere Arbeitsgestaltung erforderlich.

Zu diesem Zweck können klassische Elemente der Arbeitsstrukturierung, wie Job-Rotation, Job-Enlargement oder Job-Enrichment angewendet werden. Durch den Robotereinsatz kommen zudem neue Aufgaben in das Arbeitssystem: Der Roboter verbraucht Material und verschleißt Betriebsmittel. Er läuft nicht ganz störungsfrei, und bei Produkt- bzw. Variantenwechsel muss ein neues Programm geladen und der Roboter eventuell neu justiert werden – alles potenzielle Tätigkeiten, die dem Risiko der einseitigen psychischen Belastung durch Resttätigkeiten entgegengestellt werden können.

> *„Durch einen guten Einführungsprozess und gute Kommunikation auf allen Ebenen, kann vor allem die psychische Sättigung und die Akzeptanz des neuen „Kollegen Roboter“ positiv beeinflusst werden.“*

Deshalb muss bei der Betrachtung von Mensch-Roboter-Arbeitsplätzen künftig verstärkt auf die sinnvolle Gestaltung der Kollaboration bzw. Kooperation geachtet werden. Durch einen guten Einführungsprozess und gute Kommunikation auf allen Ebenen, kann vor allem die psychische Sättigung und die Akzeptanz des neuen „Kollegen Roboter“ positiv beeinflusst werden.

Sind am Ende doch noch Defizite in der Arbeitsgestaltung vorhanden, kann die Arbeitsorganisation als zusätzlicher Stellhebel für eine gute Arbeitsgestaltung eingesetzt werden. Hier gibt es auf nahezu allen Ebenen Möglichkeiten, Verantwortung für den Roboter zu übernehmen oder Prozesse rund um MRK zu gestalten und wahrzunehmen.

Eine Auswahl möglicher Tätigkeiten durch neue Roboter sind:

- zusätzliche Bereitstellaufgaben
- neue direkte Montageaufgaben
- Robotereinrichtung und -rüstung sowie Beseitigung (einfacher) Störungen
- Roboterprogrammierung und -instandhaltung
- Schulen und Anlernen am Roboter
- planerische und dispositive Tätigkeiten für den Robotereinsatz
- (wann, wo, welches Produkt bzw. welche Variante der Roboter montieren soll)
- neue kollaborative Roboterapplikationen planen, bewerten und einführen.

## Aufgaben der Arbeitsforschung im Bereich Mensch-Roboter-Kollaboration

Bisher wurden in diesem Bereich der MRK in erster Linie technische Aspekte beleuchtet, wie z. B.:

- Was kann der Roboter?
- Ist der Roboter/die Applikation sicher?
- Wird der Mensch körperlich entlastet (Schwerpunkt Ergonomie)?

Zukünftig müssen vor allem in Hinblick auf Mensch-Roboter-Kollaboration neue Schwerpunkte bezüglich der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter gesetzt werden, wie z. B.:

- psychische Belastungen durch die Arbeitsaufgabe
- Akzeptanz des Roboters bzw. der Kollaboration
- Gestaltung der Kollaboration
- Partizipation bei der Gestaltung
- sinnvolle Arbeitsinhalte für den Menschen
- Taktgeber bzw. bestimmende Größe in der Kollaboration – Mensch oder Roboter?

Hilfreich ist hierbei, wenn die Forschung der Industrie gute Musterlösungen zum Besichtigen anbieten kann, solange diese in der Industrie noch nicht zur Verfügung stehen bzw. dort nicht besucht werden können.

Zu diesem Zweck hat das Fraunhofer IAO am Standort Stuttgart das neue Innovationslabor „Future Work Lab“ realisiert, in welchem verschiedene Beispiele zu Anwendungen von Industrie 4.0-Technologien gezeigt und „angefasst“ werden können, wie z. B. eine Großroboter-Kollaboration (Abb. 11).

## Ausblick

Zusammenfassend lassen sich fünf Thesen formulieren, die zentrale Auswirkungen und Faktoren für eine erfolgreiche Anwendung der Mensch-Roboter-Kollaboration aufzeigen:

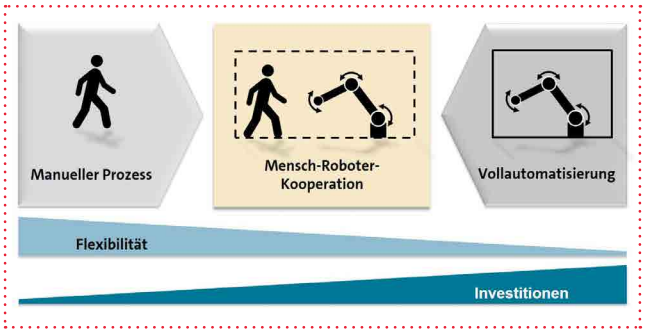
1. Neue Roboter etablierter Anbieter, aber auch neue Wettbewerber mit neuen kollaborativen Robotern werden das bestehende Angebot erweitern.
2. Sinkende Preise für Robotersysteme und Leichtbauroboter bei gleichzeitig steigender Funktionalität werden die Wirtschaftlichkeit und die Prozesse verbessern.
3. Der hohe Aufwand bei der Materialbereitstellung wird durch neue Formen für den „Griff in die Kiste“ sinken.
4. Zur besseren Nutzung der Vorteile des schutzzaunlosen Betriebes ist die Programmierung stark zu vereinfachen („Programmieren durch vormachen“).
5. Arbeitsorganisation 4.0 wird den Roboter zum Teammitglied machen, der von den menschlichen Kollegen betreut und gewartet werden wird.

# Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) im Volkswagen Konzern

Dr. Holger Heyn, Leiter Technologie-Management – Konzern Produktion / Leiter Technologieentwicklung Roboter, Volkswagen AG

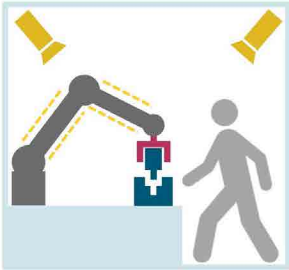
Der vorliegende Beitrag stellt die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) im Volkswagen Konzern dar, gibt eine Übersicht über realisierte Anwendungen, laufende Entwicklungs- und Forschungsprojekte und zieht ein Fazit über ca. 3 Jahre der Aktivität in diesem Themenfeld.

Mensch-Roboter-Kooperation kann grundsätzlich als neuer Lösungsansatz zwischen manueller menschlicher Arbeit und Vollautomatisierung betrachtet werden. Während die Flexibilität bei manueller Arbeit hoch und die erforderlichen Investitionen in Arbeitsplätze klein sind, sinkt i. d. R. die Flexibilität durch Automatisierung bei entsprechend ansteigenden Investitionen. Natürlich verspricht der Einsatz von Maschinen gleichzeitig eine höhere Produktivität, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Eine initiale Erwartungshaltung an die neuen MRK-Roboter war, dass die „Vorteile aus beiden Welten“ in neuen Arbeitsplatzkonzepten zusammengeführt und kombiniert werden können, ohne die bislang üblichen aufwändigen Schutzeinrichtungen.




Bei Betrachtung eines MRK-Arbeitsplatzes wird allerdings klar, dass neben dem Roboter und dem Menschen viele zusätzliche Komponenten eine wichtige Rolle spielen.

- Roboter
- Sicherheitskomponenten
- Greifer / Werkzeug (sog. Endeffektor)
- Werkstück(e)
- Steuerungssystem, Umfeld, Randbedingungen etc.
- der Mensch



Es sind dies:

- Die Sicherheitskomponenten, die entweder im Roboter integriert (z. B. Kraft-Momenten-Sensorik) oder extern montiert (z. B. Kamerasysteme) sein können.
- Der sog. Endeffektor, d. h. ein Greifer oder Werkzeug, das an der Roboterhand montiert ist und die Arbeitsaufgabe ausführt.
- Das Werkstück und seine Beschaffenheit.
- Das Gesamtumfeld des Arbeitsplatzes und seine Randbedingungen, das eingesetzte Steuerungssystem (SPS) etc.
- sowie der Arbeitsablauf selbst.

Die Erfahrung zeigt, dass erst im Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten clevere neue MRK-Lösungen entstehen. Die Verfügbarkeit eines „MRK-fähigen“ Roboters ist hierbei nur einer von vielen Faktoren.

Im Folgenden werden Beispiele gezeigt, die verschiedene Serienanwendungen oder -erprobungen in Markenwerken des Volkswagen Konzerns erläutern.

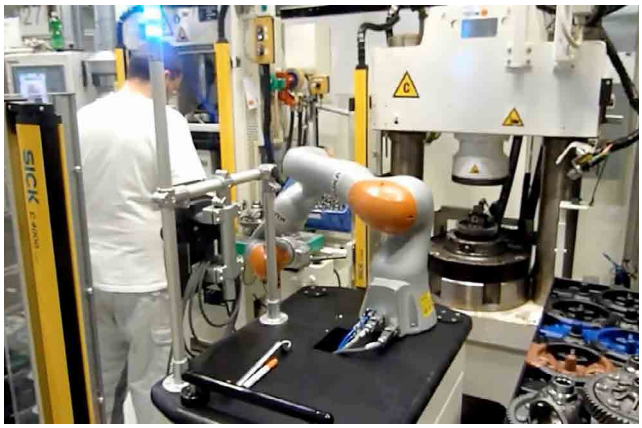
1. Im Audi Werk in Győr erfolgt im Fließbetrieb die Erfassung von Spaltmaßen an fertig montierten Fahrzeugen durch mehrere MRK-Roboter mit Laser-Messköpfen. Die Roboter-Station befindet sich in unmittelbarer Nähe, aber getrennt von Arbeitsplätzen, an denen Menschen arbeiten.

Beispiel Audi Győr – Spaltmaßerfassung im Fließbetrieb.

2. Bei Skoda erfolgt das Einlegen sog. Gangstellerkolben in eine Bearbeitungsmaschine mit Hilfe eines MRK-Roboters. Die integrierte Sensitivität des Roboters wird einerseits als Sicherheitskonzept genutzt, falls es zu Kontakt von Mitarbeitern mit dem Manipulator kommen sollte. Andererseits werden die Werkstücke sensorgeführt in die Maschinenaufnahmen eingeführt.

Beispiel Skoda – Einlegen von Gangstellerkolben.

3. Im VW Werk Bratislava erfolgt in einer Arbeitsstation das Handling eines Ausgleichsgetriebes durch einen MRK-Roboter in unmittelbarer Nähe zu einem Mitarbeiter, der eine vorbereitende Aufgabe ausführt. Das ergonomisch ungünstige Heben des schweren Getriebegehäuses in eine Presse sowie das Entnehmen und Ablegen auf einer Palette erfolgen durch den Roboter und stellen somit eine Entlastung des Mitarbeiters dar.




Beispiel VW Werk Bratislave – Handling Ausgleichsbetriebe.

4. Im VW Werk in Wolfsburg wird eine Verschraubung bei der Triebsatzmontage (sog. Pendelstütze) in einer ergonomisch ungünstigen Position durch einen MRK-Roboter durchgeführt, während der Mitarbeiter in direkter Umgebung gleichzeitig eine andere Verschraubung ausführt. Die Sensitivität des Roboters wird genutzt, um die korrekte Schraubposition durch „Antasten“ zu ermitteln.

Beispiel VW Werk Wolfsburg – Verschraubung Pendelstütze.

5. Das nächste Beispiel zeigt eine Konzeptlösung von Audi, mit der im sog. Fließbetrieb durch einen mitlaufenden Wagen eine Überkopf-Verschraubung ausgeführt werden kann. Der schienengeführte Wagen wird durch eine Person in eine Ankoppelposition zum Gehänge des Fahrzeuges gebracht und dann durch das Fördersystem einen Takt lang mitgezogen. Währenddessen werden durch mehrere Leichtbauroboter gleichzeitig Verschraubungen am Unterboden durchgeführt. Der Arbeitsbereich der Roboter wird durch sichere Scanner abgesichert.

Beispiel Audi – "Mitlaufender Wagen" für Fließbetriebe.

6. Ein weiteres Beispiel zeigt eine mögliche Kombination von autonomen mobilen Transportplattformen mit Industrierobotern und MRK-fähigen Robotern in einer Pilot-Applikation. Aufgrund des Bauteilgewichtes und der -geometrie würde ein MRK-Roboter allein hier keine effektive Lösung ermöglichen. Der Interaktionsbereich ist so gestaltet, dass der Mitarbeiter in direkter Nähe des MRK-Roboters Montagearbeiten an einem Stoßfänger durchführen kann, die Arbeit wird also „geteilt“.

Beispiel Konzern – Industrie- und MRK-Roboter in Kooperation

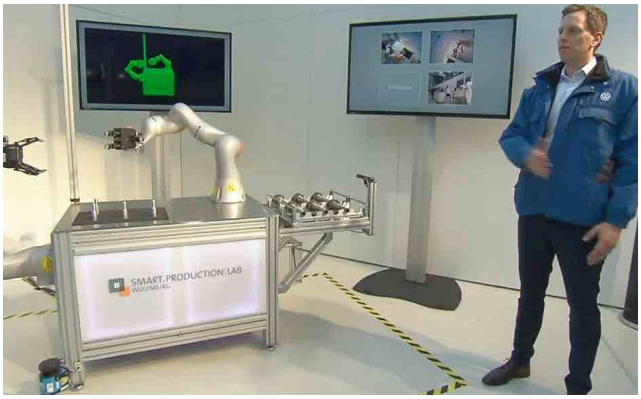
7. Das Konzept basiert auf Arbeitsinhalten, die heute räumlich getrennt an mehreren Arbeitsplätzen verortet sind. Heute legen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter hierzu teilweise weite Wege zurück und führen das Teilehandling mit unergonomischen Bewegungen aus. Hier wird besonders deutlich, dass nicht nur ein singulärer Montagevorgang bezüglich MRK-Potenzialen betrachtet werden sollte, sondern Prozessabläufe im Gesamtkontext auf Einsatzmöglichkeiten der neuen Technologien hin analysiert werden müssen.

> *„Der Demonstrator verdeutlicht Perspektiven einer erweiterten Mensch-Roboter-Kooperation, wie sie in 5 bis 10 Jahren möglich sein kann."*

Die genannten Applikationen zeigen die Spanne der möglichen aktuellen Anwendungsfelder und gleichzeitig verschiedenste Sicherheits- und Umsetzungskonzepte für MRK nach dem Stand der Technik.

.

Blickt man weiter in die Zukunft, so veranschaulicht ein gemeinsam mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Bremen realisierter Forschungsdemonstrator die Perspektiven sog. intelligenter MRK.




Beispiel Konzern – Forschungsdemonstrator für intelligente MRK.

Hier wird aufgezeigt, wie zwei MRK-Roboter gemeinsam Arbeitsaufgaben erledigen und der Mensch dabei situations- und kontextsensitiv eingreifen und interagieren kann. Die Steuerung erfolgt einerseits durch kamerabasierte Erfassung der Gesamtszene aus mehreren Perspektiven, kombiniert mit Sicherheitsscannern sowie optischer Gestenerkennung und taktilen Befehlen bei Berührung des Roboters durch den Menschen. Die Mensch-Maschine-Interaktion erfolgt also multimodal. Ebenso wie eine Rückmeldung der Anlage über den „Interaktionsmodus" auf möglichst mehreren Wegen erfolgen sollte, um uneindeutige Situationen auszuschließen. Der Demonstrator verdeutlicht Perspektiven einer erweiterten Mensch-Roboter-Kooperation, wie sie in 5 bis 10 Jahren möglich sein kann. Insbesondere die sichere kamerabasierte Erkennung von Szenerien ist noch eine Forschungs- und Entwicklungsaufgabe. Ebenso stellt eine (teil-)autonome, variable Bahnplanung eines Roboters, z. B. zur Kollisionsvermeidung, noch eine Herausforderung bei der Sicherheitszertifizierung derartiger Lösungen dar.

Zusammenfassend kann Folgendes festgehalten werden:

- Im Volkswagen Konzern wurden seit Verfügbarkeit der verschiedenen MRK-fähigen Roboter in den letzten Jahren mehr als 20 Serien-Anwendungen realisiert. Einzelne MRK-Anwendungen basieren dabei auch auf Industrierobotern.
- Die Anwendungen wurden sowohl mit Roboterherstellern als auch mit Systemintegratoren geplant und umgesetzt. Frühzeitig wurde erkannt, dass eigene Planungs- und Technologiekompetenz erforderlich ist. Hierzu entstanden in mehreren Marken und Werken kompakte Applikationszentren, in denen die verschiedenen Roboter für Pilotprojekte zur Verfügung stehen. Ebenso wurden und werden mit jedem Einzelprojekt durch die Fachexperten wichtige Planungserfahrungen und Programmierkenntnisse gesammelt.
- Die oben gezeigten Beispiele verdeutlichten bereits, dass neben dem MRK-fähigen Roboter zusätzliche Sicherheitskomponenten wie Scanner oder Kameras und MRK-fähige Systemkomponenten wie z. B. Greifer erforderlich sind. Insbesondere bei sicherer, für MRK-Anwendungen befähigter Kameratechnik besteht Entwicklungsbedarf, um auch komplexe Bewegungsszenarien erfassen und sicher auswerten zu können.
- Grundsätzlich muss konstatiert werden, dass der Aufwand für das Engineering von MRK-Anwendungen und für die entsprechend erforderlichen Arbeitssicherheits-Freigaben aktuell noch sehr hoch ist. Der Transfer fertiger (Teil-) Lösungen von einem Anwendungsbereich zum nächsten (ohne erneuten Planungsaufwand) ist noch die Ausnahme, da die individuellen Gegebenheiten des jeweiligen Arbeitsplatzes bis hin zur Steuerungstechnik und dem Anlagenumfeld berücksichtigt werden müssen.
- Gekoppelt hiermit ist die Tatsache, dass das kalkulierte Kostenniveau von MRK-Lösungen derzeit oftmals im Bereich von Vollautomatisierungs-Lösungen liegt. Dies liegt nur teilweise an der aufwändigeren Roboter- und Sicherheitstechnik, sondern eben an den hohen Planungsaufwänden. Die ursprüngliche Erwartungshaltung, dass MRK eine Gestaltungslücke zwischen manueller Arbeit und Vollautomatisierung bezüglich Flexibilität und Investitionen schließt, hat sich damit also aktuell noch nicht

erfüllt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass in der Zukunft Schritt für Schritt sowohl Skaleneffekte für Hardware als auch Multiplikationspotenziale für entwickelte Anwendungen erschlossen werden können.

> *„Im Volkswagen Konzern wird die Mensch-Roboter-Kooperation aber definitiv nicht nur als Hype verstanden, sondern als mittel- und langfristig wichtige Technologie für Fertigung und Logistik.“*

Fazit: Viele neue Technologien durchlaufen heute einen von Gartner bekannten „Hype-Cycle“, der durch anfängliche Euphorie und z. B. starkes Öffentlichkeits- und Medieninteresse geprägt ist. In der industriellen Anwendung der Technologien zeigt sich dann teilweise, dass die erforderliche Technologiereife zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht gegeben ist oder wesentliche Erfolgsaspekte nicht richtig eingeschätzt wurden. Wie oben beschrieben, gibt es auch bei den MRK-Technologien einige Punkte, die noch optimiert oder entwickelt werden müssen, damit ein breiterer Roll-Out der Lösungen möglich wird. Im Volkswagen Konzern wird die Mensch-Roboter-Kooperation aber definitiv nicht nur als Hype verstanden, sondern als mittel- und langfristig wichtige Technologie für Fertigung und Logistik. Daher arbeiten wir intensiv an der Weiterentwicklung der MRK-Anwendungen zur Gestaltung ergonomischer, intelligenter und gleichzeitig produktiver Arbeitsplätze der Zukunft.

## Wie der LBR iiwa als intelligenter Assistent den Menschen unterstützt

Dr. Till Reuter,
Vorstandsvorsitzender der KUKA AG

Die Robotik ist aus der Arbeit der Zukunft nicht wegzudenken: Betrachtet man Konzepte zur Arbeitswelt von morgen ist besonders das Thema Mensch-Roboter-Interaktion ein zentraler Aspekt. Doch was bedeutet eigentlich Interaktion? Laut Duden versteht man darunter ein „aufeinander bezogenes Handeln zweier oder mehrerer Personen“. Würde man „Personen“ um „Roboter“ ergänzen, träfe diese Definition den Nagel schon ziemlich auf den Kopf. Bei KUKA gehen wir noch einen Schritt weiter und sprechen von Mensch-Roboter-Kollaboration, kurz MRK. Mit der MRK hat KUKA ein neues Kapitel in der Industrierobotik aufgeschlagen: Während die Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine in der Vergangenheit stets durch Schutzzäune voneinander getrennt waren, kommt der Roboter nun auch im direkten Umfeld des Menschen zum Einsatz. Dabei teilen sich Mensch und Roboter einen gemeinsamen Arbeitsraum. Die Entwicklung einer neuen, sensitiven Robotergeneration machte dies möglich.

### Doch welche Vorteile bietet eine solche Kollaboration?

Produktion in Europa bedeutet heute oft Vollautomatisierung, bei der der Mensch im Wesentlichen bei der Planung und Instandhaltung von Automatisierungslösungen eine Rolle spielt, nicht aber im Herstellungsprozess selbst. In vielen Fällen ist jedoch ein gleitender Automatisierungsgrad sinnvoll. Ein Teil der Aufgabe wird dabei von flexiblen Industrierobotern erbracht, ein anderer Teil vom Menschen. Mensch und Roboter ergänzen sich.

Sie arbeiten vor allem in Bereichen zusammen, die heute noch nicht oder kaum automatisiert sind. Ein Beispiel ist etwa die Getriebemontage sowie die Endmontage im Automobilbau. Doch auch in vielen weiteren Branchen und Anwendungsfeldern sind die Potenziale für MRK enorm groß. Denn wenn Werker

in direkter Kollaboration mit dem Roboter arbeiten können, ergeben sich völlig neue Möglichkeiten: Materialzuführung ohne Anlagenstopp, verbesserter Zugang, flexiblere Zellenkonzepte, intuitive Bedienung und die sinnvolle Aufteilung von Aufgaben.

KUKA hat mit dem Leichtbauroboter LBR iiwa die Grundlage für die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter geschaffen: Der LBR iiwa ist sensitiv und besitzt in allen sieben Achsen eingebaute, in sicherer Technik ausgeführte Gelenkmomentensensoren. Sie reagieren auf geringste Kräfte von außen und ermöglichen sicheren Kollisionsschutz. Bei unerwartetem Kontakt reduziert der LBR iiwa blitzschnell sein Tempo und damit seine kinetische Energie auf ein Maß, das lediglich eine leichte Berührung bedeutet. Aufgrund der intelligenten Sicherheitstechnologien ist er für die Zusammenarbeit mit Menschen freigegeben. Er ist der erste sensitive Roboter mit TÜV Siegel.

LBR steht übrigens für „Leichtbauroboter", iiwa für „intelligent industrial work assistant". Es gibt ihn in zwei Ausführungen, mit Traglasten von 7 kg und 14 kg. Und dieser intelligente Roboter-Assistent ermöglicht vollkommen neue Produktionskonzepte: Erstmals können Mensch und Roboter in enger Zusammenarbeit hochsensible Aufgaben lösen. Schutzzäune entfallen, neue Arbeitsbereiche werden erschlossen. Der LBR iiwa dient dem Menschen also unmittelbar als helfende Hand. Dieser erste, in Serie gefertigte sensitive Leichtbauroboter kommt in der industriellen Produktion für unterschiedlichste Tätigkeiten zum Einsatz: So unterstützt der LBR iiwa bei Bosch Siemens Hausgeräte in Dillingen bei der präzisen Verschraubung von Geschirrspülmaschinen. Diese ergonomisch ungünstige und monotone Tätigkeit, bei der sich der Mitarbeiter zum Verschrauben in den Spülbehälter beugen muss, übernimmt der Roboter. Bei Volkswagen beispielsweise assistiert der LBR iiwa bei der Verschraubung der Pendelstütze in der Triebsatzvormontage, ebenfalls eine anstrengende Routinearbeit. Fujitsu setzt den Leichtbauroboter als Produktionsassistenten im Umgang mit hoch sensiblen Elektronikbauteilen ein. Auch in unserer Roboterproduktion in Augsburg unterstützt der LBR iiwa die Werker bei Montagearbeiten.

Die MRK führt das Beste aus beiden Welten zusammen – denn der LBR iiwa und der Mitarbeiter ergänzen sich optimal mit ihren Fähigkeiten: Der Roboter unterstützt mit seiner Kraft und Wiederholgenauigkeit, der Werker punktet mit seiner Kreativität, seiner Erfahrung und seinem Improvisationsvermögen. Für Industrie 4.0 brauchen wir flexible Fertigungskonzepte, die eine effiziente Produktion auch bei hochindividualisierten Produkten bis hin zu Losgröße 1 ermöglichen. Mithilfe von MRK kann auch der drohende Fachkräftemangel abgefedert und die älter werdende Belegschaft unterstützt werden. Gerade mit Blick auf diese Megatrends, wie beispielsweise Digitalisierung und demografischer Wandel, ist MRK ein wichtiger Faktor in der Gestaltung der Arbeitswelt von morgen.

Bedürfnisse der Pflegepraxis und aktueller Stand der Technik

# Assistenzroboter zur Pflegeunterstützung

Dr. Birgit Graf, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Die Pflege steht im Zuge des demografischen Wandels vor besonderen Herausforderungen. Roboter- und Assistenzsysteme zur Pflegeunterstützung bieten hierbei das Potenzial, das Personal zeitlich, informatorisch oder körperlich zu entlasten. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA arbeitet seit vielen Jahren und in mehreren Forschungsprojekten daran, neue Assistenzsysteme für die Pflege zu entwickeln und in der Praxis zu evaluieren. Dazu gehören z. B. ein intelligenter Pflegewagen, ein robotischer Serviceassistent und ein multifunktionaler Personenlifter. Grundlage für die Entwicklungen sind umfangreiche Bedarfsanalysen und der kontinuierliche Austausch mit Einrichtungen und Herstellern.

## Motivation

Die stationäre Pflegebranche ist vom demografischen Wandel besonders betroffen – sowohl in der Altenpflege als auch im Krankenhaus. So nimmt der Anteil der älteren Personen in der Gesellschaft weltweit zu: Während laut aktuellen Studien der United Nation Organization 1980 noch 8,5 Prozent der Weltbevölkerung über 60 Jahre alt waren, trifft dies 2017 bereits auf 12,7 Prozent zu. Prognostiziert wird für 2030 ein Anteil von 16,4 und für 2050 sogar ein Anteil von 21,3 Prozent.[1] In einigen Ländern wie Japan oder Deutschland sind die Zahlen besonders signifikant. So geht das „Global Ageing Institute“ ebenfalls auf Basis von Daten der UN von 2013 von den folgenden Zahlen aus: 2010 lag der Anteil der über 60-Jährigen in Japan bei 31 und in Deutschland bei 26 Prozent. Für 2040 liegen die Prognosen für Japan bei 43 und

1) http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/popfacts/PopFacts_2017-1.pdf (aufgerufen am 26.07.2017).
2) http://www.globalaginginstitute.org/assets/client-assets/gai/downloads/021115-DWP-Seminar-Presentation.pdf (Folie 3, aufgerufen am 08.09.2017).

in Deutschland bei 39 Prozent. [2]

Ältere Menschen haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, auf medizinische oder pflegerische Hilfe angewiesen zu sein. In Deutschland steigt die Zahl der Pflegebedürftigen deshalb seit Jahren kontinuierlich. Waren es 2005 noch 2,13 Millionen, lag die Zahl zehn Jahre später bereits bei 2,86 Millionen.[3] Zwar werden sowohl ambulant als auch stationär immer mehr Personen betreut, der Anstieg der stationär unterstützungsbedürftigen Personen ist jedoch signifikanter.[4]

Mit dem demografischen Wandel geht auch die Entwicklung einher, dass die Zahl der Pflegekräfte abnimmt. Immer weniger Berufsanfänger entscheiden sich für den Pflegeberuf. Dieser ist sowohl von der Bezahlung als auch von der Arbeitsbelastung eher unattraktiv. Die hohe Belastung spiegelt sich in einer vergleichsweise hohen Anzahl von Krankheitstagen verglichen mit den Beschäftigten übriger Branchen, wie z. B. der BKK Gesundheitsatlas 2017 über seine Mitglieder mitteilt (siehe Abbildung 1). Aufgrund der hohen Anforderungen an die körperliche und psychische Belastbarkeit scheiden viele Pflegekräfte ungewollt frühzeitig aus dem Beruf aus. Die durchschnittliche Verweilzeit in der Anstellung liegt bei 8,4 Jahren[5], außerdem kommt es aus Krankheitsgründen häufig zu Arbeitsunterbrechungen.

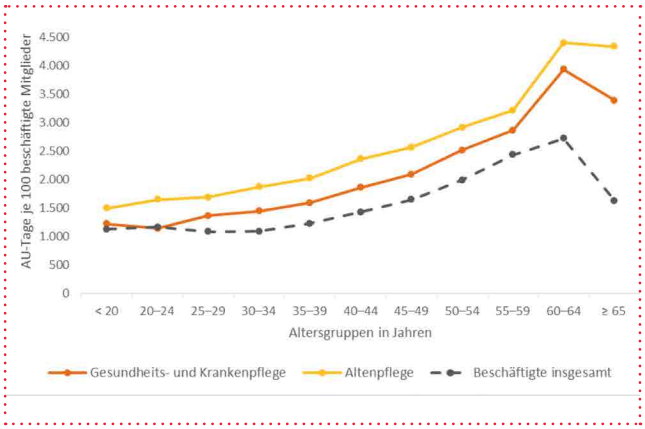



Abbildung 1: Arbeitsunfähigkeitstage (AU) der BKK-Mitglieder in der Pflegebranche. [6]

Um dem drohenden Pflegenotstand zu begegnen, sind neue Lösungen gefragt, die das Pflegepersonal in ihrem Arbeitsalltag unterstützen und entlasten. Diese Lösungen sollten insbesondere dazu beitragen, dass der Pflegeberuf attraktiver wird, sodass vorhandenes Personal länger im Beruf gehalten und neues einfacher gewonnen werden kann – und somit trotz steigender Zahl der Pflegebedürftigen eine hohe Qualität der Pflege beibehalten wird. Technische Assistenzsysteme und insbesondere Serviceroboter-Technologien haben das Potenzial, genau dies zu leisten.

Robotische – d. h. mit Funktionen zur sensorischen Erfassung und (teil-)autonomen Bewegungsführung ausgestattete – Assistenzsysteme unterscheiden sich entweder dadurch von konventionellen Pflegehilfsmitteln, dass sie bestimmte Funktionen autonom, also ohne aktive Steuerung eines Menschen, ausführen können. Oder die Steuerung wird im Sinne einer „shared control“ vereinfacht: Das heißt, ähnlich der allseits bekannten Einparkhilfen im Auto übernimmt der Nutzer Teilfunktionen der Steuerung, wie z. B. die Geschwindigkeitsvorgaben, die Software hingegen andere, beispielsweise die Bewegungsführung. Typische Pflegehilfsmittel, die von diesen Funktionen profitieren könnten, sind z. B. Pflegewagen oder Personenlifter. Sie werden bisher immer manuell von den Pflegekräften bewegt sowie bedient und das teilweise mit erheblichem Aufwand.

## Bedarfe und Anforderungen der Pflegepraxis

Technische Lösungen für diese Branche müssen spezifischen Anforderungen gerecht werden, um in dem vergleichsweise technikfernen und auch emotional sensiblen Umfeld auf Akzeptanz zu stoßen. Es ist deshalb entscheidend, die künftigen Nutzer frühzeitig in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Mithilfe genauer Kenntnisse des Arbeitsalltags lassen sich Bedarfe vonseiten des Pflegepersonals und Mehrwerte durch robotische Unterstützung aufeinander abstimmen.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts WiMi-Care („Förderung des Wissenstransfers für eine aktive Mitgestaltung des Pflegesektors durch Mikrosystemtechnik“[7]) verfolgte Entwicklungsmethodik zeigt, wie diese Anforderung zu verstehen ist. Ziel des Verbundvorhabens war die bedarfsgerechte Entwicklung und Erprobung neuer Einsatzfelder für die Servicerobotik zur Unterstützung im stationären Pflegekontext. Dafür wurde eine „Wissenstransferschleife“ für die interdisziplinäre Interaktion und Kommunikation erarbeitet (siehe Abbildung 2), die von den Entwicklern über die Hersteller hin zu den Anwendern von Servicerobotik reichte. Der Wissenstransfer wurde im Projekt aktiv genutzt, insbesondere wurde bereits in einer frühen Phase des Projekts die Diskussion mit den

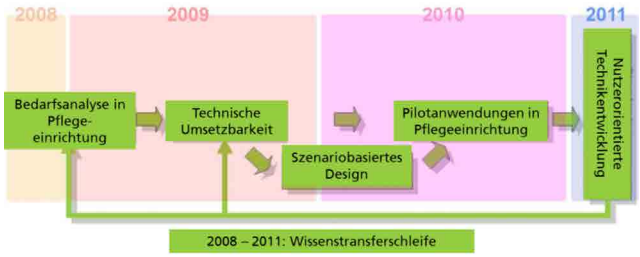



Abbildung 2: Wissenstransferschleife in WiMi-Care. (Quelle: Projekt WiMi-Care/Universität Duisburg)

3) https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2722/umfrage/pflegebeduerftige-in-deutschland-seit-1999/ (aufgerufen am 26.07.2017).
4) https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36438/umfrage/anzahl-der-zu-hause-sowie-in-heimen-versorgten-pflegebeduerftigen-seit-1999/ (aufgerufen am 30.08.2017).
5) Hackmann, T. (2009): Working Paper Arbeitsmarkt Pflege: Bestimmung der künftigen Altenpflegekräfte unter Berücksichtigung der Berufsverweildauer. https://www.econstor.eu/handle/10419/38843 (aufgerufen am
6) http://www.bkk-dachverband.de/fileadmin/publikationen/gesundheitsatlas/2017/BKK_Gesundheitsatlas_2017.pdf, S. 45 (aufgerufen am 26.07.2017).
7) https://www.uni-due.de/wimi-care/ (aufgerufen am 26.07.2017).

Endnutzern gesucht, um sowohl deren Bedürfnisse besser zu verstehen als auch erste technische Konzepte hinsichtlich ihres Praxisnutzens zu bewerten.

Ein wichtiges Ergebnis der Bedarfsanalyse war, dass die Pflegekräfte sich überwiegend Erleichterung bei täglich anfallenden Routinetätigkeiten wünschen, kaum jedoch bei der tatsächlichen Pflege „am Menschen“[8]. Der qualitative Befund, dass insbesondere Entlastungen an der Schnittstelle von Pflege und Hauswirtschaft gewünscht sind, deckt sich mit quantitativen Studien: Laut diesen verbringen examinierte Pflegekräfte bis zu 20 Prozent und in Einzelfällen sogar noch mehr Zeit mit pflegefremden Tätigkeiten.[9] Besonders geeignet wäre Unterstützung z. B. bei Transport- und Logistikaufgaben, denn eine Pflegekraft legt rund elf Kilometer pro Schicht zu Fuß zurück, zudem können Wäschesäcke teilweise mehr als 15 Kilogramm wiegen.

Darüber hinaus haben die Bedarfsanalysen weitere Aufgaben aufzeigen können, für die sich das Personal eine robotische Unterstützung gut vorstellen kann, z. B. beim Transfer von Bewohnern, bei der Dokumentation und allgemein während der Nachtschicht und bei Notfällen. Ein weiterer Bereich, der von robotischer bzw. technischer Unterstützung profitieren könnte, ist die Unterstützung der Selbstständigkeit der Bewohnerinnen und Bewohner, z. B. bei der Versorgung mit Getränken oder zur Unterstützung der Mobilität (Begleitung zu Veranstaltungen, Mobilisierungs- und Lokalisierungshilfen).

## Bestehende Produkte und Forschungsschwerpunkte

Auch wenn die Gesundheitsbranche beim Einsatz neuer Technologien nicht unbedingt Vorreiter ist[10], gibt es doch insbesondere in größeren Krankenhäusern ab 600 Betten bereits Automatisierungslösungen, die das Personal unterstützen. Dies sind überwiegend automatische Warentransportsysteme. Teilweise nutzen diese bereits fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF), also autonom agierende mobile Plattformen, die große Container mit Wäsche, Essen oder Pflegematerialien transportieren (siehe Abbildung 3). Das Pflegepersonal muss die Container vor Ort ausladen und die Inhalte auf entsprechende Zwischenlager auf den Stationen verteilen. Die FTF fahren typischerweise außerhalb der von Bewohnern oder Patienten frequentierten Bereiche und können dabei Aufzüge oder elektrische Türen nutzen.

FTF werden in verschiedenen Einsatzfeldern genutzt. Laut Marktanalysen der International Federation of Robotics (IFR) stieg die Zahl der für Anwendungen außerhalb der Produktion abgesetzten Einheiten 2015 gegenüber dem Vorjahr um 50 Prozent auf insgesamt 19.000. Im selben Zeitraum kletterte der Verkaufswert um 52 Prozent auf 779 Mio. US-Dollar. Dementsprechend haben FTF einen wesentlichen Anteil am allgemeinen Erfolg der Servicerobotik wie auch an den sehr positiven Prognosen, was die Verkäufe für 2016 bis 2019 betrifft.[11]

Darüber hinaus sind zur Unterstützung des pflegerischen Personals aktuell nur wenige Robotiklösungen im Einsatz. Der Unterstützung des Reinigungspersonals dienen bspw.

Abbildung 3: Aktuell verfügbare Produkte: Fahrerlose Transportfahrzeuge der Firma MLR in einem separaten Krankenhausflur (Quelle: MLR), Telepräsenzroboter RP-Vita (InTouch Health), emotionaler Roboter PARO (Quelle: Frankfurt UAS, Ausstellung Barrierefreies Wohnen und Leben).

Desinfektionsroboter, die mithilfe von UV-Licht oder Ozon Bakterien und Keime in sensiblen Bereichen zerstören. Erste Produkte und Roboterprototypen dienen Diagnose- und Therapiezwecken. Zur Diagnose haben die Systeme zum einen Telepräsenzfunktionen, sodass Gespräche zwischen Arzt und Patient über Distanz möglich werden. Zum anderen können medizinische Geräte wie elektronische Stethoskope oder Ultraschallsysteme an die Roboter angeschlossen werden (siehe Abbildung 3). Für Therapiezwecke gibt es ferner Systeme, die bspw. Patienten bei der Rehabilitation oder beim Lauftraining unterstützen. Ein weiteres Beispiel einer produktreifen Lösung, die die Pflegetätigkeit an sich

8) Compagna, D.; Derpmann, S.; Mauz, K.; Shire, K. (08/2009): Zwischenergebnisse der Bedarfsanalyse für den Einsatz von Servicerobotik in einer Pflegeeinrichtung: Routine- vs. Pflegetätigkeiten. Working Brief 7. URL: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/wimi-care/wb__7_.pdf (aufgerufen am 14.11.2016). Zu ähnlichen Ergebnissen kommt übrigens auch eine repräsentative Umfrage des Apothekenmagazins „Senioren Ratgeber“. Diese hat ermittelt, dass viele Senioren den Einsatz von Robotik in der Pflege befürworten, wenn die Technik nicht zum Ersatz menschlicher Fürsorge wird. Umfrage: Altenpflege: Senioren befürworten Einsatz von Robotern. In: Deutsche Gesundheitsnachrichten 24 (2017), S. 1f. http://www.deutsche-gesundheits-nachrichten.de/wp-content/uploads/2017/06/pdf-ausgabe-2017-24.pdf (aufgerufen am 28.06.2017).

9) Simon M., Tackenberg P., Hasselhorn H.-M., Kümmerling A., Büscher A., Müller B. H. (2005): Auswertung der ersten Befragung der NEXT-Studie in Deutschland, in: Europäische NEXT-Studie, 03.06.2010, http://www.altenpflege-online.net/content/download/146776/2922740/file/ap_09_10_pflegepraxis_next.pdf (aufgerufen am 30.08.2017).

unterstützt und nicht die teilweise bereits an Fremdfirmen ausgelagerten Versorgungs- und Reinigungstätigkeiten, ist die Roboterrobbe PARO (siehe Abbildung 3). Diese nutzen Pflegekräfte auch in diversen deutschen Pflegeeinrichtungen dafür, Menschen mit demenziellen oder vergleichbaren Erkrankungen zu erreichen, die auf andere Arten der Ansprache wenig oder gar nicht reagieren, bzw. ihnen emotional angenehme Erlebnisse zu verschaffen.

> *„Insgesamt lässt sich bilanzieren, dass der stationäre Pflegebereich seit einiger Zeit stark im Fokus von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ist."*

Ein weiteres Forschungsfeld sind robotische Handhabungs- und Aufstehhilfen, die das Pflegepersonal beim besonders belastenden Patiententransfer, bspw. vom Bett in den Rollstuhl oder vom Rollstuhl in die Badewanne, unterstützen. Nicht zuletzt wird an neuen Lösungen gearbeitet, die das Personal auch bei Körperpflege und Hygiene unterstützen; diese befinden sich aber zum großen Teil noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Insgesamt lässt sich bilanzieren, dass der stationäre Pflegebereich seit einiger Zeit stark im Fokus von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in der Robotik ist und das insbesondere in Ländern, in denen der demografische Wandel deutlich zu spüren ist.

## Projekte und umgesetzte Lösungen des Fraunhofer IPA

Die Wissenschaftler am Fraunhofer IPA beschäftigen sich seit rund 20 Jahren mit dem Thema Servicerobotik (auch für die stationäre Pflege), also Robotersystemen, die außerhalb der Produktion genutzt werden und oft Teil einer Dienstleistung sind oder im Arbeits- sowie privaten Alltag unterstützen. So wurde bereits 1998 die erste Generation des Serviceroboters Care-O-bot®, der Vision eines vielseitigen elektronischen Helfers, vorgestellt. Mit dieser Entwicklung gingen bald auch Überlegungen einher, ob und wenn ja in welcher Form die Unterstützung durch Robotik in der Pflege sinnvoll sein könnte.

## Projekt WiMi-Care

Im Rahmen des oben bereits eingeführten Projekts WiMi-Care wurden zwei bereits existierende Serviceroboter mit unterschiedlicher technischer Komplexität weiterentwickelt, um

Abbildung 4: FTF CASERO von MLR im Einsatz auf der Station (Quelle: Fraunhofer IPA).

sie für die im Projekt erarbeiteten Einsatzszenarien nutzbar zu machen: das fahrerlose Transportfahrzeug CASERO 3 von der Firma MLR und der Assistenzroboter Care-O-bot® 3 vom Fraunhofer IPA. Um den Nutzen, den die Roboter für die Pflegepraxis konkret bringen, und die Akzeptanz durch Pflegepersonal und Bewohner zu untersuchen, fanden im zweiten und dritten Projektjahr praktische Evaluierungen der Roboter in der beteiligten Pflegeeinrichtung statt. So konnten im Rahmen von WiMi-Care mögliche Einsatzfelder für Servicerobotik zur Entlastung und Unterstützung von Pflegekräften in stationären Altenpflegeeinrichtungen erstmals systematisch erarbeitet und erprobt werden.[12]

Als konkrete Anwendungsszenarien für CASERO wurden ausgewählt:

- Einsatz von CASERO 3 für Hol- und Bringdienste: Er liefert beispielsweise Speisen und Getränke, Haushaltswaren, Medikamente, Post, reine oder unreine Wäsche oder reines oder unreines Geschirr (Abbildung 4).
- CASERO 3 als „Inspektionsroboter": Er fährt nachts durch die Pflegeeinrichtung, um Inspektionstouren und Kontrollgänge durchzuführen. Ein Ziel ist, eventuell herumirrende Pflegebedürftige aufzufinden und das Personal entsprechend zu informieren (Abbildung 4).

Die Akzeptanz des Roboters während der Testphasen war

10) Vgl. zum aktuellen Stand auch die 2017 veröffentlichte Studie „Digitalisierung und Technisierung der Pflege in Deutschland. Aktuelle Trends und ihre Folgewirkungen auf Arbeitsorganisation, Beschäftigung und Qualifizierung": https://www.daa-stiftung.de/fileadmin/user_upload/digitalisierung_und_technisierung_der_pflege_2.pdf (aufgerufen am 26.07.2017).
11) https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robotics (aufgerufen am 26.07.2017).
12) Ein Youtube-Video fasst die Ergebnisse der zweiten Praxisevaluierung zusammen: https://www.youtube.com/watch?v=nJj8wJg6jNM.

Abbildung 5: Care-O-bot® 3 als „elektronischer Butler“ oder Assistent für das Entertainment (Quelle: Fraunhofer IPA/Foto: Jens Kilian).

insgesamt sehr gut. Die Stimmung war entspannt, eine Bewohnerin winkte dem Fahrzeug zu und andere fragten interessiert, wie die Tests vorangingen. Die langsame und leise Fahrweise schuf Vertrauen bei Bewohnern und Pflegekräften. Zwar war das Fahrzeug recht groß, löste jedoch keine Ängste bei Bewohnern aus. Die Pflegekräfte befürchteten allerdings, dass es in den engen Fluren z. B. mit Essenswagen kollidieren könnte. Das Zusammenfahren im Fahrstuhl mit Bewohnern wäre für eine Pflegekraft nicht vorstellbar. Auch wurde der auf CASERO installierte Wäschebehälter als zu hoch beurteilt, um die schweren Schmutzwäschesäcke hineinzuheben.

Neben CASERO nutzten die Projektpartner den Serviceroboter Care-O-bot® 3 des Fraunhofer IPA, um weitere Szenarien zu realisieren:

- Care-O-bot® 3 als mobiler Butler, der selbstständig Wasser an einem Wasserspender zapft und dieses den Bewohnern anbietet und überreicht. Dabei protokolliert er die ausgegebenen Wassermengen (Abbildung 5).
- Nutzung des Care-O-bot® 3 als Unterhaltungs- und Aktivierungsplattform: Er kann Spiele auf dem Touchscreen anbieten oder Musik abspielen (Abbildung 5).
- Eingeben von Aufgaben und Zeitplänen sowie Anzeige und Bearbeitung des Trinkprotokolls durch das Pflegepersonal am Stations-PC.

Auch Care-O-bot® wurde von den Bewohnern wohlwollend aufgenommen. Sie waren neugierig und gespannt und erwarteten den Roboter ähnlich wie einen neuen Mitbewohner. Die Pflegekräfte beschrieben ihn als „sympathisch“, „nicht fremd“, „Er wirkt schlank und sensibel“, „Er sieht aus wie ein Diener“ und „Er hat etwas angenehm Service-artiges“. Die Bewohner antworteten dem Roboter und sprachen ihn auch selbst an. Zudem zeigten sie die Bereitschaft, ein Getränk von seinem Tablett zu nehmen und sie klatschten nach Care-O-bots® Verbeugung. Auch für die Pflegekräfte war die Verteilung der Getränke durch den Roboter prinzipiell vorstellbar, allerdings müssen sie sich hundertprozentig auf ihn verlassen können und der Ablauf muss reibungslos sein. Wichtig wäre zudem, auch zu kontrollieren, ob ein Becher vom Tablett genommen und das Wasser getrunken wurde. Das auf dem Tablet angebotene Memory-Spiel kam bei den Bewohnern ebenfalls gut an. Sie freuten sich über die Bilder und Bewegungen auf dem Bildschirm und das Szenario animierte sie zum Spielen. Die Pflegekräfte betrachteten dies als interessante Abwechslung gegenüber dem klassischen Kartenspiel. Zudem können sie sich in der Zeit, während der eine Bewohner mit dem Roboter spielt, mit anderen Bewohnern beschäftigen.

Inzwischen hat das Fraunhofer IPA bereits die vierte Generation des Care-O-bot® vorgestellt. Er ist mit seinem modularen Aufbau an vielfältige Einsatzszenarien anpassbar und kann bspw. als Transportplattform, als Informationsassistent ohne Arme und nur mit Display oder als „vollständiger“ Serviceassistent mit zwei Armen oder einem Tablett genutzt werden. Seit Oktober 2016 ist der Roboter als Einkaufsassistent „Paul“ im Saturn-Markt in Ingolstadt im Einsatz: Dort kommt er den Kunden am Eingang entgegengerollt, heißt sie willkommen und fragt sie nach dem gesuchten Produkt. Daraufhin begleitet er sie zum entsprechenden Regal. Auch ein Small Talk über das Wetter oder über ein anderes Thema ist mit „Paul“ möglich. Ähnliche Einsatzszenarien mit Care-O-bot® 4 sind auch im stationären Pflegeumfeld möglich, z. B. zur Führung von Bewohnern oder Besuchern.

### Projekt SeRoDi

Auch das aktuell noch laufende Projekt SeRoDi[13] („Servicerobotik zur Unterstützung bei personenbezogenen Dienstleistungen“) beschäftigt sich mit dem Robotereinsatz in der Pflege. Dabei wird neben der Altenpflege auch das Einsatzfeld „Krankenhaus“ betrachtet. Neben der bedarfsgerechten Entwicklung der Technik, d. h. neuer Serviceroboterlösungen zur Unterstützung der Alten- und Krankenpflege, untersuchen Experten für die Dienstleistungsforschung die bisherigen und eventuell anzupassenden Arbeitsabläufe mit Servicerobotik-Einsatz. Im Rahmen der geplanten Praxisevaluierungen sollen zudem die Themen der Technikakzeptanz und die Auswirkungen des Technikeinsatzes auf die Arbeitsbedingungen untersucht werden.
Konkret werden im Projekt drei Einsatzszenarien betrachtet.

13) http://www.serodi.de/ (aufgerufen am 30.08.2017).

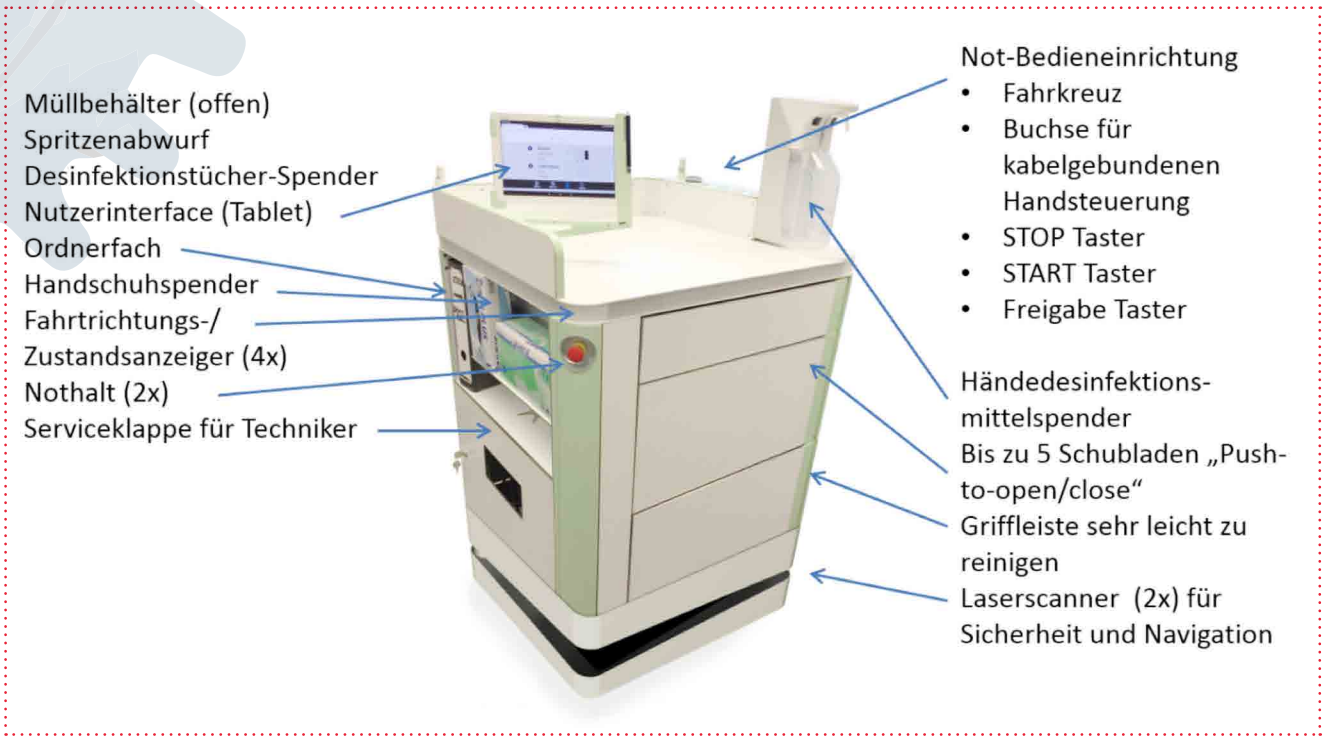



Abbildung 6: Gestaltung und Aufbau des intelligenten Pflegewagens (Quelle: Fraunhofer IPA).

Im ersten Szenario geht es um den Einsatz eines intelligenten Pflegewagens. Dieser kann autonom navigieren und benötigte Pflegeutensilien direkt am Patientenzimmer bereitstellen. Außerdem ist eine Dokumentation des verbrauchten Materials direkt am Pflegewagen über ein Tablet möglich. Das zweite Szenario ist ein multifunktionaler Personenlifter mit autonomer Navigation. Pflegekräfte können ihn über ein mobiles Endgerät anfordern und er fährt dann autonom zum Einsatzort. Über Sensorfunktionen kann das Gerät den Patienten erkennen und die Hebevorrichtung passend positionieren. Zudem entsteht ein robotischer Serviceassistent. Dieser liefert automatisch Getränke, Snacks oder Zeitschriften an die Patienten oder Bewohner und soll ihnen mehr Selbstständigkeit verschaffen. Das Szenario des intelligenten Pflegewagens ist eine konsequente Weiterentwicklung des in WiMi-Care entwickelten Transportszenarios. Während CASERO 3 nur für den Containertransport auf die Wohnbereiche eingesetzt wurde, soll der intelligente Pflegewagen benötigte Pflegeutensilien direkt am Zimmer verfügbar machen. Die Motivation für diese Entwicklung liegt darin, dass handelsübliche Pflegewagen oft unzureichend bestückt sind und fehlende Gegenstände separat geholt werden müssen, was wertvolle Zeit kostet. Besonders bei Notfällen ist dies problematisch; zudem muss der Patient oder Bewohner dann alleine gelassen werden. Ebenso empfindet das Pflegepersonal die Hygienemaßnahmen und die im Anschluss an den Pflegevorgang nötige Dokumentation als zeitaufwendig und lästig.

Der intelligente Pflegewagen, den das Fraunhofer IPA zusammen mit der Firma MLR entwickelt, bietet für diese Bedarfe eine neue Lösung: Das System ‚weiß‘, welche Pflegeutensilien auf dem Wagen noch vorhanden sind. Fehlt etwas, fährt der Pflegewagen autonom zum Lager. In der ersten Ausbaustufe erfolgt das Nachfüllen noch manuell, perspektivisch ist jedoch geplant, auch dies zu automatisieren. Der Wagen stellt die benötigten Pflegeutensilien dann mechanisch und hygienisch am Einsatzort bereit. Über ein Tablet kann die Pflegekraft direkt vor Ort das verbrauchte Material dokumentieren (Abbildung 6). Mit den vorgestellten Funktionen können Pflegekräfte Zeit sparen, die Einrichtungen müssen weniger Lagerräume bereitstellen und die Dokumentation wird erleichtert.[14]

> *„Der intelligente Pflegewagen (...) bietet für diese Bedarfe eine neue Lösung: Das System ‚weiß‘, welche Pflegeutensilien auf dem Wagen noch vorhanden sind. Fehlt etwas, fährt der Pflegewagen autonom zum Lager.“*

Aktuell läuft die Inbetriebnahme der Pflegewagen in zwei Altenpflegeeinrichtungen und einer Klinik, um sie in der

14) Ein Youtube-Video veranschaulicht den Pflegewagen: https://www.youtube.com/watch?v=echGDZooWXY&index=59

Praxis zu erproben. Pro Einrichtung ist ein Testbetrieb von zwei Monaten geplant, bei dem anfangs noch technisches Personal vor Ort ist, später dann nicht mehr. Bis Ende des Jahres 2017 sollen die Fahrzeuge dann noch einmal anhand der Testergebnisse überarbeitet werden. Zudem ist geplant, sie um zusätzliche Funktionen zu erweitern. Beispielsweise sollen die Modulkörbe mit dem Pflegematerial automatisch austauschbar sein und die Entnahme der Pflegematerialien automatisch dokumentiert werden, z. B. mit einer Kamera. Im weiteren Projektverlauf soll bis Ende 2018 eine Pflegeassistenz entwickelt werden, eine weitere Ausbaustufe des Pflegewagens, die dann Pflegematerial aktiv anreichen kann. Auch die Realisierung der Serviceassistenz, also eines Roboters, der Snacks, Getränke oder andere kleinere Objekte autonom liefert, ist bis dahin geplant.

Hinsichtlich des Szenarios multifunktionaler Personenlifter haben die Bedarfsanalysen ergeben, dass handelsübliche Lifter noch nicht die beste Unterstützung für das Personal bieten. Sie müssen meist erst extra zum Einsatzort geholt werden, weshalb das Personal pflegebedürftige Personen oft doch schnell manuell bewegt. Hinzu kommt, dass bisherige Lifter vielfach von zwei Pflegekräften bedient werden müssen, was Ressourcen bindet, die dann anderweitig fehlen. Mit dem Konzept eines teilautonomen Personenlifters möchten die IPA-Experten dem Pflegepersonal auch hier eine Lösung bieten. Dieser kann autonom zum Einsatzort fahren und unterstützt die Patientenaufnahme durch Personenerkennung, d. h. der Aufnahmemechanismus passt sich an die Person und den benötigten Transfer an. Das Personal kann den Lifter einhändig und intuitiv bewegen und benötigt nur ein Gerät für verschiedene Transfers, sei es im Sitzen oder Liegen. Somit spart das Personal Zeit und wird körperlich entlastet.[15]

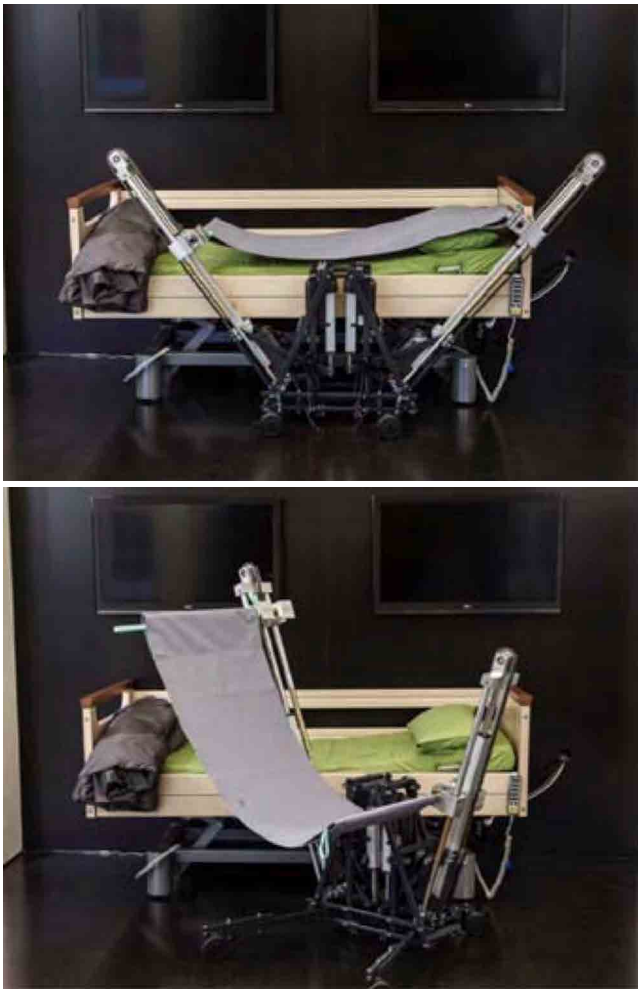


Abbildung 7: Gestaltung und Aufbau des robotischen Lifters: Position, um Patienten vom Bett aufzunehmen und mögliche Transportposition (Quelle: Fraunhofer IPA).

Der Personenlifter ist aktuell als mechanischer Prototyp ohne sensorische Funktionen aufgebaut. Das Konzept sieht vor, dass die Patienten auf einem hygienischen Tuch mit Laschen liegen und der Lifter seine Greifarme in die Laschen einführen kann. So wird der Transport im Liegen und Sitzen möglich. Zudem kann der Lifter in der Parkposition platzsparend zusammengeklappt werden (Abbildung 7).

## Zusammenfassung

Das Fraunhofer IPA verfolgt mit seinen Entwicklungen in der Servicerobotik für das stationäre Pflegeumfeld das Ziel, die Pflegekräfte zu unterstützen und sie bei Routinetätigkeiten zu entlasten. So soll ihnen mehr Zeit für die eigentlichen Pflegetätigkeiten zur Verfügung stehen. Gleichermaßen geht es darum, die Arbeitsbedingungen zu verbessern und den Pflegeberuf wieder attraktiver zu machen. Es ist hingegen nicht das Ziel, Pflegetätigkeiten am Menschen wie bspw. die medizinische Versorgung komplett zu automatisieren. Ebenso wenig sollen Roboter Entscheidungen anstelle von Pflegekräften oder Pflegebedürftigen treffen können. Die Roboter sind immer als technisches Hilfsmittel zu sehen, das von der Pflegekraft gesteuert und kontrolliert wird.

Aktuell sind im stationären Pflegebereich nur sehr wenige Serviceroboter überhaupt im Einsatz. Meist handelt es sich um oben genannte Systeme für den automatischen Warentransport, die in separaten Gängen großer Krankenhäuser genutzt werden. Roboter, die auf den Wohnbereichen unterwegs sind und direkt mit dem Personal oder Bewohnern in Kontakt kommen, gibt es nur sehr vereinzelt. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Technik der Systeme in Bezug auf Zuverlässigkeit, Bedienerfreundlichkeit, Sicherheit, Datenschutz etc. ist davon auszugehen, dass es in absehbarer Zeit eher spezialisierte Geräte wie bspw. den vorgestellten Pflegewagen geben wird, die keine Roboter im herkömmlichen Sinne sind, sondern konventionelle Pflegehilfsmittel, die um Autonomiefunktionen erweitert werden. Auch dürfte es eher teil- als vollautomatische Systeme geben, die gerade im Patienten- oder Bewohnerumfeld der Kontrolle des Personals unterliegen.

15) Ein Youtube-Video veranschaulicht den Lifter: http://www.youtube.com/watch?v=PqkozdYbXOY.

# Abschied vom Fließband, Einzug von Künstlicher Intelligenz

Dipl.-Ing. Michael Breme,
Leiter Produktions- und Werkplanung, AUDI AG

Die Autos der Zukunft sind intelligent, voll vernetzt und fahren automatisiert. Auch die Art und Weise, wie wir Autos fertigen, verändert sich grundlegend. Wir denken sogar über das heutige Fließband hinaus.

Unser Ziel ist die voll vernetzte, intelligente Fabrik. Wir bei Audi nennen sie SMART FACTORY. Diese Vision setzt eine tiefgreifende Prozesskenntnis und eine hohe Datenverfügbarkeit voraus. Deshalb vernetzen wir gerade Gewerke, Geschäftsbereiche und Fabriken unseres globalen Produktionsnetzwerks miteinander. Ziel ist ein riesiger Data Lake.

Die Etappen auf dem Weg zur intelligenten Fabrik zeigt das Stufenmodell in der Abbildung. Die Künstliche Intelligenz sehen wir darin als Endstufe dieser Entwicklung. Ihre Vorstufen haben wir bereits erfolgreich zum Einsatz gebracht und schaffen jetzt die Grundlagen dafür, sie künftig in vielen Bereichen einzusetzen. Die folgenden Beispiele zeigen, wie wir uns Schritt für Schritt Künstlicher Intelligenz in der Audi-Produktion nähern.

**Auf der sogenannten Datenstufe (1.) vernetzen wir alle verfügbaren Informationen.**

### Zentraler Produktionsleitstand

Bei Audi México, dem jüngsten Werk unseres Produktionsverbunds, haben wir erstmals das Konzept eines zentralen Produktionsleitstands umgesetzt. Vergleichbar mit dem Tower eines Flughafens kontrollieren unsere Mitarbeiter von dort alle Produktionsprozesse und koordinieren den Warenfluss im gesamten Werk.

**Auf der Informationsstufe (2.) nutzen wir die Informationen aus den vernetzten Daten gewinnbringend für Simulationen.**

### Virtuelle Planung und Prozessuntersuchung

Unsere Fabriken planen wir bis ins kleinste Detail virtuell. Bestes Beispiel ist abermals Audi México: Dank virtueller Planung konnten wir das Werk 30 Prozent schneller ans Netz nehmen als üblich. Auch in vielen Bereichen der Planung und Entwicklung nutzen wir seit mehreren Jahren virtuelle Anwendungen.

> *„Unser Ziel ist die voll vernetzte, intelligente Fabrik. Wir bei Audi nennen sie SMART FACTORY.“*

**Auf der manuell geregelten Stufe (3.) nutzen wir die ausgewerteten Informationen, um unsere Mitarbeiter bei Entscheidungen zu unterstützen.**

### Schlauer Klaus

Das System hilft den Mitarbeitern der Audi A4/A5-Türenvormontage bei der aufwändigen Verkabelung. Zwei hochauflösende 2D-Kameras über dem Arbeitstisch überprüfen, ob alle Stecker richtig eingerastet sind.

**Auf der Netzwerk-geregelten Stufe (4.) nutzen wir alle Informationen über den gesamten Produktionsprozess.**

### Predictive Yard Management

Das Pilotprojekt am Standort Neckarsulm verknüpft Informationen aus der Fertigung mit Echtzeit-Statusinformationen

der Versandzone: Bevor wir fertig produzierte Autos auf Lkws verladen, parken wir sie je nach Bestimmungsort. Erst wenn eine Reihe komplett ist, bekommt der Spediteur den Auftrag: „Bitte abholen!“

Zukünftig wird der Abtransport schon beauftragt, wenn sich die Autos einer Reihe noch im Fertigungsprozess befinden. Dies reduziert die Standzeiten der Neufahrzeuge, ermöglicht eine schnellere Auslieferung, steigert die Effizienz und senkt den Flächenbedarf.

**Auf der vollständig selbstgeregelten Stufe (5.) reagiert das Produktionssystem im laufenden Prozess selbständig auf Abweichungen. Hier findet sich das erste Anwendungsbeispiel von Künstlicher Intelligenz in der Audi-Produktion.**

### Risserkennung im Presswerk

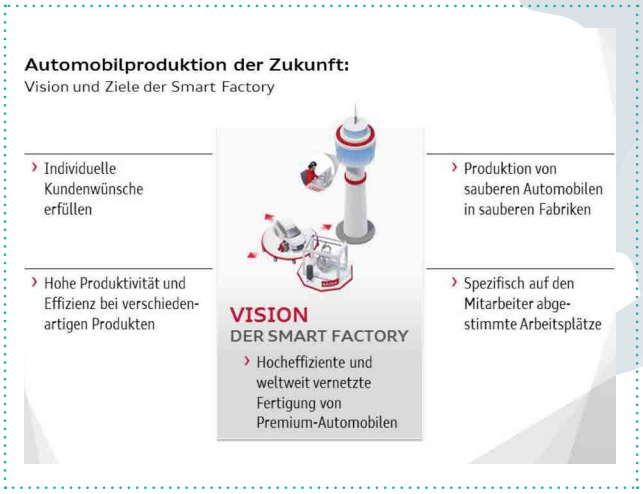
Im Presswerk führen eine immer höhere Bauteilkomplexität und immer schärfere Linien zu engen Prozessfenstern. Dabei können Risse auftreten. Mögliche Rissstellen überwachen wir bisher mit sogenannten „Smart Cameras“ mit simplen Bildverarbeitungsalgorithmen. Dies ist sehr aufwändig und teuer. Ab sofort erkennt und markiert ein Deep-Learning-Modell selbständig Risse – in Echtzeit. Dafür haben wir ein tiefes neuronales Netz mit vielen Beispielbildern „trainiert“.

Wie diese Beispiele zeigen, haben wir auf dem Weg zur SMART FACTORY schon ein gutes Stück geschafft. Um Audi-Kunden so einzigartige Autos wie einen Maßanzug anbieten zu können, arbeiten wir an einer revolutionären Lösung:

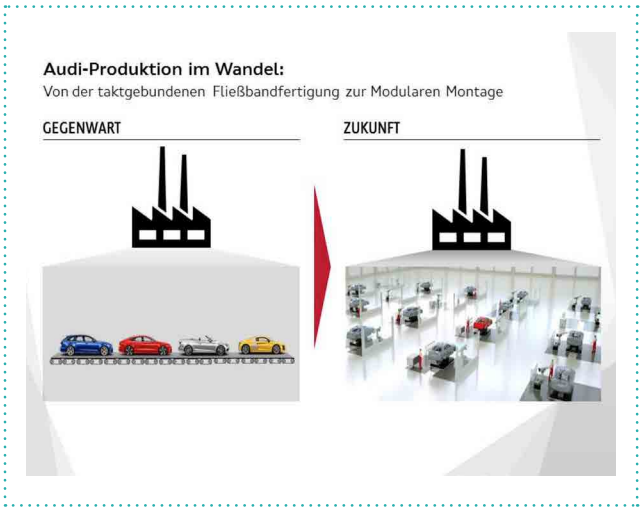
### Modulare Montage

Die Idee dahinter ist eine Fertigung ohne Fließband – ohne fest geordnete, getaktete Abläufe und ohne starre Strukturen und äußere Logik. Das Auto fährt selbsttätig an diejenige Fertigungsstation, wo der nächste Arbeitsschritt wartet; den Transport der Karosserien und Teile übernehmen Fahrerlose Transportsysteme (FTS). Die Vorteile sind eine hohe Produktivität bei verschiedenartigen Produkten sowie eine größere Flexibilität. Das System ist robust gegenüber Störungen und reduziert den Logistik- und Umbauaufwand. Und: Die Mitarbeiter arbeiten im eigenen, individuellen Takt. Dies verbessert die Ergonomie und ermöglicht eine gleichmäßige Arbeitsauslastung sowie flexible Arbeitszeitmodelle.

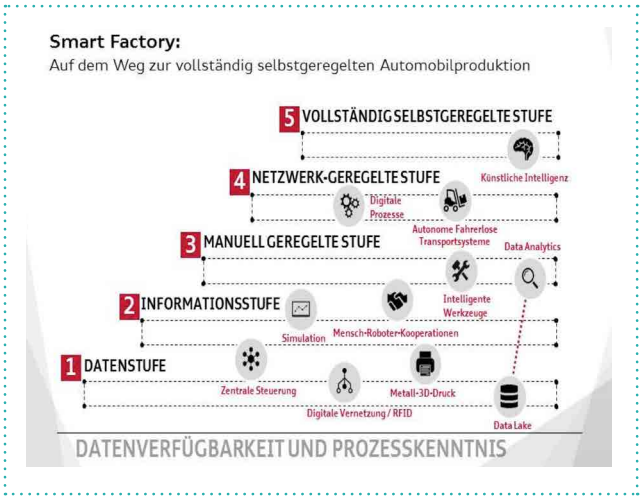
Unser Ziel ist die optimale Vernetzung von Mensch und Maschine. Denn: Eine menschenleere Fabrik wird es bei Audi nie geben. Intelligente Technologien sorgen für optimierte Prozesse und unterstützen die Mitarbeiter bei ihren komplexer werdenden Tätigkeiten. Der Mensch bleibt zu jeder Zeit im Mittelpunkt – als Innovator, Know-how- und Entscheidungsträger.




Vision und Ziele der SMART FACTORY von Audi im Überblick.




Das Konzept der Modularen Montage zerlegt das Fließband in einzelne Arbeitsschritte.




Die verschiedenen Stufen auf dem Weg zur SMART FACTORY der Zukunft.

# Smarte Technik – smarter Mensch?

Interview mit Prof. Dr. Sabine Pfeiffer, Professorin für Soziologie, Universität Hohenheim

*Frage: Wo stehen wir derzeit in Deutschland mit Blick auf das Thema „Robotik und Arbeit"?*

Bei der Frage, wie es in Deutschland momentan mit der Arbeit und der Robotik aussieht, sind wir ziemlich blind. Wenn wir in die Statistiken schauen, die uns über die Arbeit in Deutschland aktuell etwas sagen sollen, finden wir zu den Themen, die uns eigentlich bewegen, nicht viel. Ein Beispiel: Amazon. Da gibt es schöne Daten, die die Entwicklung von Beschäftigten und die Entwicklung von Robotern gegenüberstellen. Man sieht, es werden mehr Roboter, aber die Menschen werden auch mehr. Scheinbar wird also alles mehr und alles gut. Leider werden dabei selten andere Zusammenhänge hergestellt. Jeder, der sich mit Produktion und in diesem Fall mit dem Unternehmen ein wenig auskennt, weiß: Möglicherweise hat das eine mit dem anderen gar nichts zu tun. Möglicherweise passiert Beschäftigtenzuwachs gerade nicht in den Bereichen, in denen es Roboterzuwachs gibt, sondern ganz woanders und aus ganz anderen Gründen. Und natürlich sollte man bei solchen Betrachtungen immer auch noch die ökonomische Seite beachten. Auch da gibt es Statistiken, aber die sagen uns nichts über den Arbeitseinsatz und schon gar nichts in der Breite aus. Wer arbeitet in Deutschland im Moment wo mit welcher Robotik – das wissen wir eigentlich nicht.

*Frage: Welche Empirie haben wir zur Verfügung, wenn es um den reellen digitalen Maschineneinsatz geht?*

Ich habe für diese Konferenz versucht, bei den Datensätzen, die wir haben, ein bisschen genauer hinzuschauen, aber wirklich genau wird es nicht. Der aktuelle DGB-Index der Arbeit enthält die Frage „Arbeiten Sie mit computergesteuerten Maschinen oder Robotern?" Und in der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung wird gefragt, wie häufig man Maschinen, Anlagen und Ähnliches steuert und überwacht. Da könnte die Robotik aus der Sicht der Befragten enthalten sein oder auch nicht; und alles andere im Produktionsumfeld ist auch drin. Als gelernte Werkzeugmacherin denke ich da natürlich vor allem an andere Formen von Anlagen und Maschinen. Im DGB-Index sagen von denen, die überhaupt angegeben haben, dass sie digital arbeiten, also das irgendwas Digitales an ihrem Arbeitsplatz passiert, 28 Prozent, dass sie mit computergesteuerten Maschinen oder Robotern arbeiten. Bei der BIBB/BAuA-Befragung immerhin 30 Prozent (die Daten sind von 2012). 39 Prozent antworten auf die Frage, wie häufig sie mit dem Steuern und Überwachen von Maschinen beschäftigt sind, dass sie es manchmal oder häufig tun, also dass sie es auf jeden Fall tun.

> *„Bei der Frage, wie es in Deutschland momentan mit der Arbeit und der Robotik aussieht, sind wir ziemlich blind. Wenn wir in die Statistiken schauen, die uns über die Arbeit in Deutschland aktuell etwas sagen sollen, finden wir zu den Themen, die uns eigentlich bewegen, nicht viel."*

Der DGB-Index misst anhand verschiedener Komponenten (Ressourcen, Einkommen, Belastung), wie gut die Arbeit ist. Bei den Beschäftigten, die angeben, dass sie mit Robotern oder computergesteuerten Maschinen oder Anlagen arbeiten, ist der Anteil derer in schlechter Arbeit etwas höher (24 Prozent) als bei den Beschäftigten, die nicht mit Maschinen oder Robotern arbeiten (20 Prozent). Ohne diese Zahlen überstrapazieren zu wollen: Aus diesem höheren Anteil an schlechter Arbeitsqualität kann man schließen, dass die Technik, die genutzt werden könnte, um zum Beispiel altersgerechtes Arbeiten zu ermöglichen oder Leistungsgewandelte zu unterstützen, möglicherweise noch nicht angekommen ist. Dabei weiß man jetzt natürlich nicht, auf welche Robotik sich die Befragten beziehen, oder ob es ihnen überhaupt um Robotik oder andere Formen von Technologie geht. Um

dem auf die Spur zu kommen, habe ich geschaut, in welchen Branchen sich die Leute tummeln, die auf diese Frage ‚ja' gesagt haben. Eigentlich erwartet man natürlich, dass die Automobilindustrie an erster Stelle steht, aber in beiden Datensätzen findet man zuerst das Gesundheitswesen. Man kann davon ausgehen, dass sich dahinter nicht der Pflegeroboter versteckt, denn der ist in der Praxis nicht verbreitet. Das heißt folglich – und da fängt das Problem schon an –, Menschen, die in irgendeiner Form mit komplexen Dingen zu tun haben, die sie als Maschine oder Robotik empfinden, weil sie etwas anderes sind als Computer und gleichzeitig viel mit Daten und Digitalisierung zu tun haben, werden auf diese Fragen mit ‚ja' antworten. Das heißt unterm Strich, wir wissen eigentlich nichts Konkretes über Robotik auf der konkreten Arbeitsebene. Auf den ersten Blick hilft uns die Statistik also nicht so wahnsinnig weiter. Beim Karosseriebau handelt es sich um eine Produktion, in der das Verhältnis von Robotern und Menschen schon beinahe fünfzig zu fünfzig beträgt, wenn man die „Köpfe" zählt. Folgende Sorge hat mir ein Produktionsleiter in einem Unternehmen der Automobilindustrie, in dem ich geforscht habe, mitgeteilt: „Mein großes Problem ist, die Leute da unten können Wandel nicht. Wir haben vor zwölf Jahren die Linie da hingestellt, die Automatisierungstechnik ist zwölf Jahre alt, seitdem hat sich nichts verändert. Deswegen, die wissen gar nicht wie Wandel geht, die da unten." Mich hat das ein bisschen gewundert, weil es eine Produktion, die sich zwölf Jahre gar nicht geändert hat, eigentlich gar nicht gibt – war natürlich auch gar nicht so.

> *„Ein Anlagenführer, der acht Roboter überwacht, wartet nicht bis irgendeine Störung auftritt und ruft dann die Instandhaltung."*

*Frage: Haben Sie vielleicht Beispiele dafür?*

Sogar zwei Beispiele: Anlagenfahrer, die in diesem hochkomplexen Umfeld arbeiten, in dem jetzt und seit langer Zeit viele Roboter stehen, leisten zum einen den Umgang mit Komplexität. Ein Anlagenführer, der acht Roboter überwacht, wartet nicht bis irgendeine Störung auftritt und ruft dann die Instandhaltung. Wenn das sein ganzer Job wäre, könnte man tatsächlich auf ihn verzichten. Nein, was er in einer ganz normalen Schicht, in der überhaupt nichts besonders Dramatisches passiert, tut: Er greift im Durchschnitt 20 bis 30 Mal an irgendeiner Stelle in diesen komplexen Prozess ein. Um das tun zu können, muss er die acht Roboter kennen, er muss die Steuerungssoftware kennen, er muss das Produkt kennen, er muss verstehen, was da produktionstechnologisch passiert, er muss die Qualitätsanforderungen kennen, er muss wissen, was an der Station vorher und nachher passiert. Nur, weil er das Gesamtsystem und die Zusammenhänge kennt, kann er die richtige Entscheidung im richtigen Moment treffen und einen vielleicht ganz kleinen Eingriff vornehmen, um größere negative Folgen zu verhindern.

> *„Wenn man den Beschäftigten in den Betrieben, in der Produktion zuhört und ihre Arbeit begleitet, lässt sich sehen, wie viel (digitales) Wissen sie haben."*

Ein zweites Beispiel aus einem Automobil-Unternehmen, in dem Innovation von den Facharbeitern am Hallenboden gemacht worden ist: Dort stehen Roboter, die auf Querachsen verschoben werden und deren Zahnstangen mit der Zeit verdrecken. Um diese zu säubern, mussten die Mitarbeiter regelmäßig zu Reinigungsschichten reinkommen. Diese Mitarbeiter haben sich überlegt, dass es eine technische Lösung für das Problem geben müsste, und haben die technische Lösung aus einem KVP-Prozess heraus selbst entwickelt. Ein verschleißfreies Reinigungszahnrad war das Ergebnis.

Beide Dinge gehen nur, weil die Menschen in diesen typischen Fertigungshallen eine solide Facharbeiterausbildung haben. Sie entsprechen nicht dem so oft in der Presse dargestellten Bild von unqualifizierten Arbeitern, die nur einen

Claudia Pest und Dr. Detlef Gerst von der IG Metall.

Handgriff machen oder nur ein Knöpfchen drücken. Sie sind auch nicht auf der Facharbeiterstufe stehengeblieben, viele von ihnen sind Techniker oder Meister. Alle haben im Laufe ihrer Berufstätigkeit alle möglichen Zusatzausbildungen, Herstellerschulungen usw. absolviert und haben sich mit der Fertigung ständig weiterentwickelt und jeden Digitalisierungsschritt der vergangenen Jahre mit gemacht und bewältigt. Vor allem aber: sie haben (und machen täglich neue) Erfahrung im Umgang mit einem solch komplexen und sich ständig verändernden System. Ihr Fachwissen und ihr Erfahrungswissen ermöglichen ihnen, alles bewältigen zu können, was passieren kann.

Formale Qualifikationen finden sich in der Statistik, Erfahrung aber kann man in der Statistik leider nicht so leicht sehen. Wir haben versucht, sie mit einem komplexen Index mithilfe von 18 Items aus der BIBB/BAuA-Befragung statistisch zu erfassen. Am Ende erhält man einen Wert zwischen Null und Eins für das, was ich „lebendiges Arbeitsvermögen“ nenne. Null entspricht praktisch keinem Arbeitsvermögen, was nur statistisch möglich ist, und Eins bedeutet ein extrem stark entwickeltes Arbeitsvermögen. Wir messen mit diesem Wert, wie viel von der Fähigkeit, mit Wandel, mit Komplexität und mit Unvorhergesehenem umzugehen, der Arbeitsplatz abfordert.

*Frage: Lässt sich mit diesem Index-Wert denn sagen, wie viele Arbeitnehmer in einem strukturell komplexen Umfeld agieren? Oder am Arbeitsplatz mit starkem organisatorischen oder technischem Wandel konfrontiert sind?*

Von 74 Prozent der Beschäftigten wird dies an ihrem Arbeitsplatz sogar häufig gefordert. Zwar finden sich bei Beschäfigten mit keiner formalen Qualifikation mehr Arbeitsplätze, die eher wenig Arbeitsvermögen abfordern. Aber auch hier streuen viele Werte stark nach oben, auch Anlerntätigkeiten können heute in komplexer Arbeitsumgebung stattfinden und erfordern dann mehr als die Beherrschung des einen Handgriffs.

Auffällig ist vor allem, dass Beschäftigte mit einer Qualifikation in der Mitte – also mit einer dualen Berufsausbildung als höchstem Abschluss – heute sehr häufig an ihrem Arbeitsplatz mit Wandel, Komplexität und Unwägbarkeiten umgehen. In den industriellen Branchen finden wir überdurchschnittliche Werte an Arbeitsplätzen, die mit Robotik oder computergestützten Maschinen und Anlagen arbeiten. Dies stellt sich so in vielen Branchen dar, nicht nur im Automobilbereich. Wer also im Produktionsprozess computergestützte Maschinen bedient und überwacht, bewältigt mehr unterschiedliche Facetten von Wandel und geht stärker mit Komplexität und Unwägbarkeiten um als andere, formal ähnlich in der Mitte Qualifizierte in der jeweils gleichen Branche.

> *„Das digitale Können dieser Facharbeiter aber wird stark unterschätzt, dabei sind sie die einzigen, die produktionstechnologisches und digitales Know-how alltäglich zusammenbringen.“*

Beispielsweise Instandhalter, die für die gesamte Robotik in einem Karosseriebau zuständig sind, sind längst auch Netzwerk-und IT-Spezialisten geworden. Sie können sehr genau und fundiert begründen, warum sich die Standzeiten erhöht haben und es für sie schwieriger und langwieriger geworden ist, die Sache im Störungsfall wieder ins Laufen zu bringen, seit die Softwareupdates zentral ausgefahren werden. Diese Facharbeiter wissen natürlich generell um die sachlich nachvollziehbaren Gründe für zentral ausgeführte und damit einheitliche Software-Updates. Sie sind Techniker genug, um die sinnvolle Logik dahinter zu verstehen. Sie können aber fachlich auf höchstem Niveau zeigen, welche und wo genau dies zu ökonomisch negativen Folgen auf dem Shopfloor führen kann. Ihr Fach- und Erfahrunsgwissen aber wird zu solchen Themen gar nicht angefragt und einbezogen. Was für ein verschenktes Potenzial. Und zudem ziemlich demotivierend für die betroffenen Instandhalter.

Wenn man den Beschäftigten in den Betrieben, in der Produktion zuhört und ihre Arbeit begleitet, lässt sich sehen, wie viel (digitales) Wissen sie haben. Sie können genau sagen, welche standortspezifischen Probleme sich in der Vernetzung der Roboter abzeichnen. Sie können genau schildern, welche Probleme sich unter welchen Produktionsbedingungen zwischen der SPS eines Robotikherstellers und der standardisiert aufgespielten Steuerung des Roboters

ergeben können usw. Das digitale Können dieser Facharbeiter aber wird stark unterschätzt, dabei sind sie die einzigen, die produktionstechnologisches und digitales Know-how alltäglich zusammenbringen. Würde man sie mehr zum Gestalter machen, ließen sich nicht nur gravierende versteckte Formen von Verschwendung aufdecken, sondern bei der Gestaltung von Industrie 4.0 ganz andere Wege gehen.

*Frage: Welche Perspektive ist notwendig für eine gesteigerte Akzeptanz der Digitalisierung auf dem Shopfloor?*

In vielen Abteilungen der Automobilkonzerne werden tolle Dinge unternommen, um Innovationsideen zu generieren. Im Mittelpunkt steht dabei aber meist der Endconsumer, also der potentielle Autokäufer. Mit ähnlichen Kreativitätsmethoden könnte man aber auch Industrie 4.0 auf dem Shopfloor gestalten. Nicht im Hinblick auf das Produkt und mit dem Endkunden, sondern: im Hinblick auf die Prozesse mit den Experten des Shopfloors, die die Zukunft des Shopfloors gestalten. Innovation mit den Facharbeitern, aber bitte von Anfang an – nicht erst am Ende „mitnehmen“, wenn schon alles entschieden ist und den Beschäftigten nur noch bleibt, konstruktive Fehler inkrementell zu verbessern. Innovation auf dem Shopfloor: Das ist mein Plädoyer. Dabei würden erstens die Technikentwickler und Automatisierungsingenieure Neues lernen, weil sie die Komplexität der Produktion aus anderer Perspektive kennenlernen würden. Zweitens würden die Beschäftigten frühzeitig lernen, was an neuen Technologien auf sie zukommt, weil sie es von Anfang an verstehen und mitgestalten. Drittens könnten die Interessensvertretungen ein wenig entlastet werden, weil die Beschäftigten dort, wo sie sich am besten auskennen, direkt und von Anfang an mitreden. Und viertens dürfte die Wahrscheinlichkeit wachsen, dass am Ende „gute“ Arbeit herauskommt – und damit auch Produktionsarbeit, die auch für junge Menschen attraktiv sein kann.

Prof. Dr. Ulrich Jürgens, Fellow des IGZA

# Perspektiven und Gestaltung digitaler Industriearbeit

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen,
TU Dortmund

## Unklare Entwicklungstrends von Arbeit

Unstrittig ist in der wissenschaftlichen wie gesellschaftspolitischen Debatte, dass sich Arbeit mit dem fortschreitenden Einsatz digitaler Technologien in nahezu allen Sektoren nachhaltig wandeln wird. Im industriellen Bereich betrifft dies nicht nur die Tätigkeiten auf dem Shopfloor, sondern auch die indirekten Bereiche wie Planung und Steuerung oder Engineering: Auch die Anforderungen an Leitung und Management sowie Führungsstile werden sich deutlich verändern. Darüber hinaus ist mit einer durchgreifenden Reorganisation überbetrieblicher Arbeits-und Wertschöpfungsketten zu rechnen. Im Hinblick auf diesen Wandel von Arbeit wird im Kontext des Industrie 4.0-Diskurses in Deutschland vielfach eine sehr optimistische Perspektive formuliert und Chancen für einen Ausbau der Beschäftigung und eine humanorientierte Gestaltung von Industriearbeit postuliert (z. B. Wissensch. Beirat 2014). Es braucht nicht weiter begründet zu werden, dass es sich dabei um eine im weitesten Sinn gesellschafts- und industriepolitisch sehr wünschenswerte Entwicklungsperspektive handelt.

Resümiert man allerdings die bislang vorliegenden Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Arbeitsforschung, so lässt sich derzeit die Frage kaum beantworten, in welcher Weise sich Beschäftigung, Tätigkeiten und Qualifikationen tatsächlich verändern werden. Vielmehr finden sich widersprüchliche und nur wenig eindeutige Forschungsergebnisse und Prognosen. Diese Diskussion soll im vorliegenden Beitrag aufgegriffen werden. Zum einen sollen die Herausforderungen des derzeit absehbaren Wandels industrieller Arbeit zusammengefasst werden. Zum zweiten soll in arbeitspolitischer Perspektive ein Gestaltungansatz skizziert werden, der auf die Realisierung und den Ausbau qualifizierter digitaler Arbeit zur Diskussion zielt.

### Dimensionen des Wandels von Arbeit

Die Debatte über den absehbaren Wandel von Arbeit lässt sich zu drei großen Themenfeldern bündeln: quantitative Beschäftigungseffekte, Konsequenzen für Tätigkeiten und Qualifikationen sowie zunehmende Flexibilisierung und Entgrenzung von Arbeit.

#### a) Arbeitsmarkt und Beschäftigungseffekte

Sehr intensiv werden wissenschaftlich wie auch gesellschaftspolitisch die möglichen Beschäftigungseffekte Industrie 4.0 diskutiert. Unstrittig ist in der vorliegenden Literatur, dass kurzfristig durchaus mit Freisetzungseffekten zu rechnen sei. Umstritten ist indes, ob diese sich auch langfristig durchsetzen oder ob sie längerfristig durch neu entstehende Arbeitsplätze kompensiert werden. Weitgehend einig sind sich dabei fast alle einschlägigen Autoren, dass Arbeitsplatzverluste vor allem im Segment geringqualifizierter und standardisierter Tätigkeiten in Produktion und Logistik anfallen werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich dabei um Tätigkeiten handelt, die einen gut strukturierten und regelorientierten Charakter aufweisen, daher in Algorithmen überführt und automatisiert werden können.

Zu nennen sind hier beispielsweise Frey und Osborne (2017), die in ihrer international prominenten Studie für die nahe Zukunft auf den US-amerikanischen Arbeitsmarkt vor allem die Substitution von Berufen mit vornehmlich routinisierten Tätigkeiten prognostizieren. Ähnliche Befunde werden auch für Deutschland vorgelegt (z.B. Dengler/Matthes 2015). Darüber hinaus nehmen viele Autoren aber auch eine mögliche Substitution qualifizierter (nicht-) routinisierter Tätigkeiten und Berufe mit kreativen und sozial-interaktiven Aufgaben an. Dies betrifft nicht nur qualifizierte Tätigkeiten auf dem Shopfloor, sondern auch die indirekten Bereiche der Planung und Steuerung, die Verwaltung, die Produktentwicklung und das Management.

Solchermaßen weitreichende Substitutionsthesen sind allerdings auch umstritten. Denn, so das Argument (Vogler-Ludwig et al. 2016; Warning/Weber 2017), erwartbare positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte der Digitalisierung heben das gesamte Beschäftigungsniveau an und zudem werde insbesondere auch einfache routinisierte Arbeit in einem dynamischen Wirtschaftssystem weiterhin gebraucht. Darüber hinaus wird kritisiert, dass auch Routinetätigkeiten stets Nicht-Routine-Elemente wie Erfahrungswissen einschließen, die sich computertechnisch kaum zureichend abbilden und substituieren lassen (z.B. Autor 2015; Pfeiffer/Suphan 2017). Letztlich richtet sich diese Kritik auf die als tendenziell überschätzt bezeichneten technologischen Potentiale und deren Reichweite, die methodisch zumeist auf den Einschätzungen von Technikexperten beruhen. Zusammenfassend lässt sich daher festhalten, dass die tatsächlichen quantitativen Beschäftigungseffekte der Digitalisierung derzeit nur schwer zu prognostizieren sind.

#### b) Entwicklung von Tätigkeiten und Qualifikationen

Allerdings wird in der laufenden Debatte unisono von einer wachsenden Dynamik und weitreichenden Strukturverschiebungen auf dem Arbeitsmarkt ausgegangen (z.B. Wolter et al. 2015; BMAS 2016). Angenommen wird, dass diese ganze Branchen, Beschäftigtensegmente sowie generell Tätigkeiten und Qualifikationen verschiedenster Beschäftigtengruppen betreffen. Dabei wird der Frage, wie sich Qualifikationsanforderungen und Kompetenzen entwickeln werden, im Industrie-4.0-Diskurs ein hoher Stellenwert eingeräumt. So liegen eine ganze Reihe instruktive Studien vor, die insgesamt die Notwendigkeit einer generellen Förderung von Kompetenzen und die Ausweitung von Weiterbildung und Qualifizierungsmaßnahmen für möglichst alle Beschäftigten postulieren (z. B. acatech 2016; Pfeiffer et al. 2016). Damit wird das generelle Ziel verbunden, die Erwerbstätigen durch einen kontinuierlichen Kompetenzerwerb und Weiterbildungsaktivitäten in die Lage zu versetzen, die absehbaren dynamischen Wandlungs- und Anpassungsprozesse zu bewältigen (BMAS 2016).

> *„Erwartbare positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte der Digitalisierung heben das gesamte Beschäftigungsniveau an.“*

Im Einzelnen wird freilich die absehbare Qualifikations- und Kompetenzentwicklung in durchaus unterschiedlicher Weise thematisiert. Zusammenfassend kann von einem relativ breiten Spektrum von möglichen Pfaden der Qualifikationsentwicklung ausgegangen werden, das durch zwei Pole begrenzt wird (vgl. zusammenfassend Hirsch-Kreinsen et al. 2017): Der eine Pol wird durch eine Tendenz zu einer generellen Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationen bezeichnet. Diese wird zunächst als Folge der Substitution einfacher und geringqualifizierter Tätigkeiten durch digitale Technologien angesehen. Darüber hinaus wird darunter aber auch ein Prozess verstanden, der generell alle Beschäftigtengruppen erfasst. Digitalisierung von Arbeit wird in dieser Perspektive primär als Informatisierung von Arbeit verstanden, die zu einer steigenden Verfügbarkeit einer großen Vielfalt von Informationen und Wissen über laufende Prozesse

führt. Deren Komplexität und Nutzungsmöglichkeiten führt danach ganz generell zu neuen und bislang nicht gekannten Anforderungen an Tätigkeiten.

Der andere Pol des Qualifikationsspektrums lässt sich als fortschreitende Polarisierung von Arbeit bezeichnen. Ihr Kern ist, dass sich zunehmend eine Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen und einfachen Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau öffnet, während mittlere Qualifikationsgruppen durch ihre Automatisierung und qualifikatorischen Entwertung zunehmend an Bedeutung verlieren. Daher werden einfache Tätigkeiten auch kaum durch Automatisierung verschwinden, vielmehr werden neue einfache Tätigkeiten mit niedrigen Qualifikationsanforderungen entstehen. Als Ursache einer fortschreitenden Polarisierung und insbesondere der Erosion der mittleren Qualifikations-

gruppen kann das Zusammenspiel von Automatisierung und Informatisierung der neuen Technologien angesehen werden: Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich auch dabei um Tätigkeiten handelt, die einen gut strukturierten und regelorientierten Charakter aufweisen und daher „algorithmisiert“ werden können oder sich technisch rationalisieren lassen. Zudem wird argumentiert, dass die Beschäftigten zwar über ein Mehr an Informationen über laufende Prozesse verfügen, jedoch computergestützte Informationsvorgaben ursprünglich komplexe Tätigkeiten durch ihre Modellierung und Formalisierung zugleich weitreichend standardisieren können. Etwa durch den Einsatz entsprechend ausgelegter Assistenzsysteme können viele Tätigkeiten, etwa bislang anspruchsvolle Produktionsarbeiten in der Montage und Überwachung, relativ problemlos arbeitsteilig in Teiloperationen zerlegt und vereinfacht werden sowie mit restriktiven Arbeitsvorgaben, die kaum noch Handlungsspielräume erlauben, versehen werden. Damit eröffnen sich zudem deutlich gestiegene Kontrollmöglichkeiten über Arbeit.

c) Beschleunigte Flexibilisierung und Entgrenzung

Als weitere Herausforderung vor allem für Fragen einer arbeitnehmerorientierten Arbeitsregulation und sozialpolitischen Absicherung der Beschäftigten werden fortschreitende Tendenzen der Flexibilisierung und beschleunigten Entgrenzung von Arbeit im Zuge ihrer Digitalisierung thematisiert (z.B. BMAS 2016). Innerbetrieblich können diese Tendenzen die unterschiedlichsten Beschäftigungssegmente vom Shopfloor, über Engineeringtätigkeiten bis hin zu Leitungs- und Managementfunktionen betreffen. Vor allem ist hier die mit modernen digitalen Technologien verbundene Abkehr von den bisherigen hierarchisch aufgebauten IT-Systemen zu sehen. Die damit verbundene Erwartung vieler Experten ist, dass dadurch die bisherigen Formen der Fabrikorganisation, insbesondere auch die bis heute existierenden mehr oder weniger zentralisierten Muster der Arbeitsorganisation und des Personaleinsatzes umgebaut und dezentralisiert werden. Als eine Konsequenz gilt, dass vermehrt hochflexible und temporäre Projektorganisationen und Netzwerke an die Stelle fester, vor allem auch hierarchischer Organisations- und Managementstrukturen treten.

Darüber hinaus sind die digitalen Technologien, insbesondere die Nutzung von Vernetzung und Big-Data-Methoden oftmals die Voraussetzung für neue Geschäftsmodelle und Kundenbeziehungen. Dies verweist auf die überbetriebliche Dimension der digitalen Transformation von Arbeits- und Wertschöpfungsprozessen. Unstrittig ist, dass die digitalen Technologien zu einer sehr viel weitergehenden Ausdifferenzierung von Arbeitsprozessen als früher und den via Internetplattformen koordinierten Einbezug unterschiedlichster unternehmensexterner Akteure in den Wertschöpfungsprozess genutzt werden können. Die damit neu entstehenden Arbeitsformen werden auch als „Crowdworking“ bezeichnet (Benner 2014). Verstanden wird darunter die Ausdifferenzierung von Arbeitsfunktionen nicht mehr in Form einer formalisierten Auslagerung vertraglich definierter Aufgaben an ein Drittunternehmen, vielmehr geht es dabei um die Verlagerung von Arbeitsaufgaben an eine ex ante nicht definierte Anzahl unterschiedlich spezialisierter einzelner Akteure.

Indes ist das Ausmaß eines solchermaßen überbetrieblich vernetzten orts- und zeitentkoppelten Arbeitens auf Grund fehlender Forschungsergebnisse weitgehend unklar. Allen vorliegenden Befunden zu Folge betreffen diese Trends bislang, wenn überhaupt, nur ein kleines Beschäftigtensegment IT-gestützter wissensintensiver Tätigkeiten etwa aus Marketing-und Engineeringbereichen (Vogler-Ludwig et al. 2016). Gleichwohl sind die möglichen Konsequenzen für Arbeit Gegenstand einer intensiven Debatte und werden als sehr weitreichend eingeschätzt

(Leimeister/Zogaj 2013; Benner 2014; BMAS 2016). Auf der einen Seite finden sich Argumente, die eine Steigerung der Qualität der Arbeit betonen. Hervorgehoben wird, dass die neuen Technologien trotz steigender betrieblicher Flexibilisierungsanforderungen auf Grund der mit ihren Social Media Funktionen gegebenen Kommunikations- und Koordinationsmöglichkeiten eine deutlich verbesserte „Work-Life-Balance“ als bisher ermöglichen. Auf der anderen Seite werden vielfältige Risiken für die Beschäftigten betont. Hingewiesen wird auf einen Druck ständiger Erreichbarkeit, die fehlende sozial- und arbeitspolitische Regulation der neuen Arbeitsverhältnisse, damit neu entstehende prekäre Arbeitsformen sowie auch auf das bislang kaum einschätzbare digitale Kontrollpotential über die Arbeit.

> *„Die Sicherung und der Ausbau qualifizierter Arbeit im Zuge der Digitalisierung ist kein Selbstläufer.“*

## Gestaltung digitaler Arbeit

### a) Zum Konzept des sozio-technischen Systems

Die vorliegenden Forschungsergebnisse zum Wandel von Industriearbeit zeigen, dass zukünftig mit heterogenen, teilweise widersprüchlichen Entwicklungstrends von Arbeit zu rechnen ist. Anders formuliert, es existiert offensichtlich keine eindeutige, durch die Technologie determinierte und sich zwangsläufig durchsetzende Entwicklungsperspektive von Arbeit. Deutlich machen die Forschungsergebnisse vor allem aber auch, dass die Sicherung und der Ausbau qualifizierter Arbeit im Zuge der Digitalisierung kein Selbstläufer ist. Vielmehr erfordert diese Zielsetzung einen ganzheitlichen Gestaltungsansatz, der gleichermaßen die technologische, die organisatorische und die arbeitsbezogene Dimension eines Produktionsprozesses in den Blick nimmt. Der Ausgangspunkt hierfür ist der Ansatz des sozio-technischen Systems. Dieser Ansatz wurde explizit in den Umsetzungsempfehlungen für das Projekt Industrie 4.0 von der Forschungsunion und acatech als Voraussetzung einer umfassenden Systemgestaltung für Industrie 4.0 im Jahr 2013 hervorgehoben (Forschungsunion/acatech 2013). Er hat aber auch schon seit geraumer Zeit in der Arbeitsforschung einen prominenten konzeptionellen und analytischen Stellenwert bei der Untersuchung und Gestaltung technisierter und automatisierter Arbeitsprozesse (z.B. Trist/Bamforth 1951). Diesem Ansatz zufolge geht es nicht um die Frage eines entweder Technik oder Mensch, sondern anzustreben ist eine komplementäre Gestaltung der einzelnen Systemelemente zu einem aufeinander abgestimmten sozio-technischen Gesamtsystem (z. B. Grote 2017). Bei der komplementären Gestaltung des Gesamtsystems sollte das leitende Kriterium stets sein, die Potentiale einer qualifikationsorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

Die dafür zentralen Gestaltungsräume sind daher weniger die einzelnen Teilsysteme, als vielmehr die Interdependenzen zwischen Technik, Mensch und Organisation. Konkret geht es um die Auslegung der funktionalen Interdependenzen bzw. der Schnittstellen zwischen den technischen, menschlichen und organisationalen Teilsystemen. Für deren konkrete Ausgestaltung spielen neben funktionalen und ökonomischen Erfordernissen, vor allem die normativen Vorgaben über „gute“ Arbeit sowie divergierende soziale und arbeitspolitische Interessenlagen eine wichtige Rolle.

### b) Zentrale Gestaltungskriterien

Ausgehend von diesen Überlegungen und auf der Basis der vorliegenden Forschungsergebnisse lassen sich eine Reihe grundlegender Gestaltungskriterien für die Schnittstellen zwischen Mensch, Technik und Organisation benennen (vgl. dazu zusammenfassend Hirsch-Kreinsen et al 2016; Ittermann et al. 2016). Unterstrichen werden muss dabei, dass diese Gestaltungskriterien einerseits weit in den tradierten Wissensbestand der Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung zurückreichen. Andererseits aber eröffnen die Social Media-Funktionen der neuen Technologien nicht nur völlig neue Möglichkeiten, diese Gestaltungsziele umzusetzen, sondern es ergeben sich auch neue Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung.

## Mensch-Maschine-Schnittstelle

Als zentrale Kriterien für die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Maschine und Mensch lassen sich die Kriterien Kontextsensitivität und Adaptivität sowie Komplementarität hervorheben:

- Kontextsensitivität und Adaptivität umfassen zunächst Aspekte einer ergonomisch orientierten Anpassung von digitalen Systemen an spezifische Arbeitsbedingungen und Belastungen, ggf. eine systematische Belastungskontrolle oder die Automatisierung besonders belastender Tätigkeiten. Darüber hinaus geht es dabei um eine situationsspezifisch optimale Bereitstellung von Daten und Informationen zur Sicherung eines störungsfreien Arbeitsflusses und die Vermeidung stressauslösender und belastender Unterbrechungen. Zudem ist eine intelligente Anpassungsfähigkeit der Informations- und Assistenzsysteme an jeweils unterschiedliche, teilweise individuell verschiedene Qualifikationsniveaus möglich, um damit technologisch die Möglichkeiten für kontinuierliche Lern- und Qualifizierungsprozesse zu gewährleisten.

- Komplementarität stellt auf zwei zentrale Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion ab: Zum einen geht es um eine flexible situationsspezifische Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine, zum anderen sollen die Voraussetzungen für eine hinreichende Transparenz und Kontrollierbarkeit des Systems durch die Beschäftigten geschaffen werden. Relevante Gestaltungsaspekte sind dabei: sichere Mensch-Maschine-Interaktion durch intuitiv bedienbare und schnell erlernbare Anlagen sowie zielgerichteter und situationsspezifischer Zugang zu digitaler Information in Echtzeit, um damit digital gestützte Handlungs- und Entscheidungsmöglichkeiten der Beschäftigten zu sichern und auszubauen.

> *„Ganzheitlichkeit der Tätigkeiten ist die zentrale Voraussetzung für hohe Handlungsspielräume."*

Die Interaktion zwischen smarten Systemen und Arbeitshandeln kann grundsätzlich als hybrid charakterisiert werden. Im Unterschied zu einer traditionellen Perspektive auf Technik als passives Objekt wird in digitalen Systemen Technik die Rolle eines handlungsfähigen Akteurs zugeschrieben mit der Folge, dass sich nicht nur die Arbeitsteilung, sondern auch die Entscheidungskompetenzen in spezifischer Weise stets zwischen der neuen Technik und dem Menschen einspielen müssen.

### Schnittstelle Mensch-Organisation

Die leitenden Kriterien für die Gestaltung von Tätigkeiten an der Schnittstelle Mensch und Organisation können durch die Stichworte Ganzheitlichkeit und Dynamik von Tätigkeiten und Personaleinsatz zusammengefasst werden:

- Das bekannte Kriterium der Ganzheitlichkeit stellt auf die Vollständigkeit von Tätigkeiten in doppelter Hinsicht ab: Zum einen soll eine Tätigkeit nicht nur ausführende, sondern auch dispositive (organisierende, planende und kontrollierende) Aufgaben umfassen. Zum anderen zielt dieses Kriterium auf eine angemessene, belastungsreduzierende Mischung von mehr oder weniger anspruchsvollen Aufgaben. Ganzheitlichkeit der Tätigkeiten ist die zentrale Voraussetzung für hohe Handlungsspielräume sowie die Selbstorganisation von Arbeit. Schließlich werden damit auch die arbeitsorganisatorischen Voraussetzungen für Lern- und kontinuierliche Qualifizierungsprozesse hergestellt.
- Das Kriterium der Dynamik von Tätigkeiten zielt zum einen auf arbeitsorganisatorische Möglichkeiten für einen systematischen Aufgabenwechsel, um Lernprozesse zu ermöglichen und zu fördern. Zum zweiten fördern die neuen Social Media-Funktionen die interdisziplinäre Kommunikation und Kooperation zwischen verschieden spezialisierten Beschäftigten und damit die Steigerung der Innovationsfähigkeit der Arbeit und das Finden neuer Lösungen. Zugleich wird im Kontext nur wenig strukturierter Arbeitsformen auch der Einsatz von Mitarbeitern mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Leistungsvoraussetzungen möglich, z. B. in altersgemischten Arbeitsgruppen. Zum dritten sind wenig strukturierte und dynamische Arbeitsprozesse vielfach die Voraussetzung dafür, um angesichts der wachsenden Komplexität von Anlagen und Systemen in unbestimmten und unstrukturierten Situationen handlungs- und entscheidungsfähig zu sein und Störungen effektiv beheben zu können.

Die Umsetzung dieser Gestaltungskriterien führt zu einer Form der Arbeitsorganisation, die durch eine lockere Vernetzung unterschiedlich qualifizierter, aber gleichberechtigt agierender Beschäftigter in horizontaler wie auch vertikaler Dimension gekennzeichnet ist. Dieses Muster zeichnet sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung, selbstorganisierte Tätigkeiten und hohe Flexibilität aus.

### Schnittstelle Technologie-Organisation

Als das zentrale Gestaltungskriterium für die Schnittstelle zwischen Organisation und Technologie ist die weitreichende Einführung von dezentralisierten Organisationssegmenten anzusehen. Damit können einerseits die Gestaltungspotentiale der neuen, im Vergleich zu früheren IT-Systemen, ausgeprägt dezentralen digitalen Technologien organisatorisch genutzt werden. Andererseits stellen dezentralisierte Organisationssegmente eine zentrale organisatorische Rahmenbedingung dafür dar, neue Formen humanorientierter innovativer Industriearbeit zu schaffen. Relevante Kriterien sind auch hier Ganzheitlichkeit und Selbstorganisation von Arbeit, Polyvalenz der Tätigkeiten und interdisziplinäre Projektgruppen. Damit liegt ein nachhaltiger Umbau der gesamten Prozessorganisation in ihren verschiedenen Dimensionen nahe. In organisatorisch-horizontaler Hinsicht geht es um die flexible Integration unterschiedlich spezialisierter Funktionsbereiche. In der vertikalen Dimension wird tendenziell die bisherige Arbeitsteilung zwischen ausführenden Shopfloor-Funktionen und indirekten Bereichen aufgehoben und durch neue Formen flexibler und interdisziplinärer Kooperation ersetzt. Schließlich ist eine Neuorganisation von Managementfunktionen, etwa von Produktions- und Betriebsleitungen, in Hinblick auf den Wandel ihrer Entscheidungskompetenzen und die Verantwortungsverlagerung auf nachgeordnete Ebenen unabdingbar.

Naturgemäß muss bei einer Umsetzung dieser Gestaltungskriterien bei einer Systemauslegung den strukturellen und ökonomischen Anforderungen des jeweiligen Einsatzfeldes und der verschiedenen Wissensdomänen von Industrie 4.0 Rech-

nung getragen werden. Explizit aufgegriffen werden müssen damit die betrieblichen Interessen an einem störungsfreien Technologieeinsatz, effizienter Fertigungsstrukturen sowie konkurrenzfähiger Produktionsbedingungen und Produkte. Leitendes Kriterium sollte dabei allerdings stets auch sein, die Potentiale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

## Rahmenbedingungen

Abschließend ist freilich zu betonen, dass die Sicherung und der Ausbau qualifizierter Produktionsarbeit an eine Reihe von Zusatzbedingungen geknüpft sind. So muss die Akzeptanz von Industrie 4.0-Systemen und den damit verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeit sowohl auf den Seiten der Belegschaften und ihrer Vertretungen als auch seitens des Managements gesichert und vielfach erst hergestellt werden. Dass diesem Faktor eine wichtige Rolle zukommt, belegt nicht zuletzt die laufende Industrie 4.0-Debatte.

Geeignete Lösungsansätze hierfür liegen in Methoden einer partizipativen Systemauslegung und breit angelegter Beteiligungsverfahren für Beschäftigte und ihre Interessenvertretungen im Verlauf des Einführungs- und Gestaltungsprozesses von Industrie 4.0-Systemen. Unabdingbar erscheint es einmal mehr, hierfür vor allem auch die Regelungen der betrieblichen Mitbestimmung extensiv auszulegen und zu nutzen. Damit zusammenhängend ergeben sich auch neue Herausforderungen für Managementfunktionen und Führungsstile. Denn es ist davon auszugehen, dass angesichts der generellen Herausforderungen der neuen Technologien, insbesondere auch angesichts der Implementation humanorientierter Arbeitsformen, die bisherigen hierarchisch verfestigten Managementpraktiken und -strukturen dysfunktional und obsolet werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die sozio-technische Gestaltungsperspektive nicht nur hinreichend für die Realisation und den Ausbau qualifikationsorientierter Arbeitsformen ist, sondern sie ist auch die Voraussetzung dafür, dass die technologischen und ökonomischen Potenziale der neuen Technologien tatsächlich ausgeschöpft werden. Denn unstrittig ist, dass auch in der Zukunft qualifizierte Mitarbeiter einer der zentralen Bestimmungsfaktoren für den ökonomischen Erfolg der industriellen Produktion in Deutschland und die Sicherung der Arbeitsplätze sind. Zudem ist festzuhalten, dass eine qualifikationsorientierte Gestaltung von Arbeit die beste Voraussetzung dafür ist, den demographischen Wandel zumindest in der Arbeitswelt ein Stück weit zu bewältigen und Industriearbeit alters- und alternsgerecht weiterzuentwickeln. Außerdem kann sie als anspruchsvolle und selbstorganisierte „Hightech"-Arbeit auch für die junge Generation, die bekanntlich überwiegend an akademisch ausgerichteten Berufen interessiert ist, wieder attraktiv werden.

Literatur

acatech (Hg.) 2016: Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze. München/Berlin.

Autor, D. (2015): Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. In: Journal of Economic Perspectives. Vol. 29 (2015), No. 3,S. 3-30.

Benner, C. (Hg.) (2014): Crowd Work – Zurück in die Zukunft. Frankfurt am Main

BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2016): Weissbuch Arbeiten 4.0. Berlin.

Dengler, K.; Matthes, B. (2015): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt.

Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, IAB Forschungsbericht 11/2015. Nürnberg.

Forschungsunion, acatech (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Berlin.Frey, C.B.; Osborne, M.A. (2017): The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? In: Technological Forecasting & Social Change, Vol. 114 (2017), Issue 1, S. 254-280.

Grote, G. (2017): Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. 2. Aktualisierte und überarbeitete Auflage. Baden-Baden.

Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.) (2017): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Aktualisierte und überarbeitete Auflage. Baden-Baden.

Hirsch-Kreinsen, H.; ten Hompel, M.; Ittermann, P.; Niehaus, J.; Dregger, J. (2016): Social Manufacturing and Logistics. Konturen eines Leitbildes digitaler Industriearbeit. Berlin (http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-somali.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (Zugriff: 8.Oktober 2016).

Ittermann, P.; Niehaus, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Dregger, J.; ten Hompel, M. (2016): Social Manufacturing and Logistics. Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 47. TU Dortmund (http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/AP-SOZ-47.pdf) (Zugriff: 25.Oktober 2016).

Leimeister, J. M.; Zogaj, S. (2013): Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie. Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Arbeit und Soziales 287. Düsseldorf OECD (2017): OECD Employment Outlook 2017. Paris.

Pfeiffer, S.; Suphan, A. (2017): Industrie 4.0 und Erfahrung: Statt vager Prognosen zu technologischer Arbeitslosigkeit morgen, heute das Gestaltungspotenzial der Beschäftigten nutzen und anerkennen. In: Hirsch-Kreinsen H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. 2. Aktualisierte und überarbeitete Auflage. Baden-Baden.

Pfeiffer, S.; Lee, H.; Zirnig, C.; Suphan, A. (2016): Industrie 4.0 – Qualifizierung 2015, Studie für den VDMA, www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2016-Pfeiffer-Industrie40-Qualifizierung2025.pdf (Zugriff: 15. Juli 2016).

Trist, E.; Bamforth, K. (1951): Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. In: Human Relations, Vol. 4 (1951) No. 1,S. 3-38.

Vogler-Ludwig, K.; Düll, N.; Kriechel, B. (2016): Arbeitsmarkt 2030 Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter Prognose 2016. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, unter Mitarbeit von T. Vetter. München.

Warning, A.; Weber, E. (2017): Digitalisierung verändert die betriebliche Personalpolitik. IAB-Kurzbericht 12/2017. Nürnberg.

Wissenschaftlicher Beirat der Plattform Industrie 4.0 (2014) Neue Chancen für unsere Produktion. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0. Berlin.

Wolter, M. I.; Mönnig, A.; Hummel, M.; Schneemann, C.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.; Maier, T.; Neuber-Pohl, C. (2015): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. IAB-Forschungsbericht 8/2015. Nürnberg.

# Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – eine Klarstellung

Kurt Vogler-Ludwig,
Economix Research & Consulting, München

## Nur die halbe Wahrheit

Nicht allein in den Medien und der öffentlichen Debatte hat sich die Erwartung durchgesetzt, dass die enormen Rationalisierungspotenziale der digitalen Technik zu massiven Beschäftigungsverlusten führen werden. Eine solch pessimistische Sicht auf die Zukunft des Arbeitsmarktes sieht sich auch durch wissenschaftliche Studien bestätigt, die den Versuch unternahmen, die Gefährdung einzelner Berufe im Zuge des digitalen Wandels zu bestimmen. So kamen Frey und Osborne (2013) für die USA zu dem Ergebnis, dass 47 % der Arbeitsplätze durch die Informationstechnik in Gefahr wären. Bonin/Gregory/Zierahn (2015) haben die Methode auf Deutschland übertragen und ein Gefährdungspotenzial von 42 % ermittelt. Dengler und Matthes kamen mit einem veränderten Untersuchungsansatz zu dem Ergebnis, dass 15 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Deutschlands in hohem Maße durch die Digitalisierung substituierbar wären (2015).[1]

All dies hat sich in der Öffentlichkeit schnell herumgesprochen und zu weitreichenden Überlegungen Anlass gegeben: Treten wir in eine neue Phase technologischer Arbeitslosigkeit ein? Wie sind die Sozialsysteme angesichts der zu erwartenden Massenarbeitslosigkeit umzubauen? Welche Art von Grundeinkommen wäre angemessen? Wie kann die soziale Spaltung der Gesellschaft verhindert werden? Solchen Befürchtungen kann man ein „gemach, gemach!“ entgegenhalten, denn die genannten Studien berücksichtigen nur die halbe Wahrheit. Die jeweiligen Schätzungen messen allein die Substituierbarkeit von Arbeit durch die Informationstechnik, lassen aber die positiven Wirkungen auf Nachfrage und Produktion außer Acht. Diese entstehen insbesondere durch die Entwicklung verbesserter Produkte und eine kostengünstigere Produktionsweise. Den Freisetzungseffekten der Informationstechnik stehen also – wie bei allen technischen Neuerungen – positiv wirkende Wachstums- und Beschäftigungseffekte gegenüber. Wie dieser Saldo aussieht, ergibt sich allerdings erst unter den konkreten Markt- und Produktionsbedingungen. Er kann a priori nicht bestimmt werden.

Diese Klarstellung unternimmt den Versuch, die Auswirkungen der Informationstechnik auf die Güter- und Arbeitsmärkte aus drei Blickwinkeln zu bestimmen. Zunächst geht es um die Darstellung der theoretischen Zusammenhänge von technologischem Wandel und Beschäftigung mit dem Ziel, die wichtigsten Bestimmungsfaktoren einer Technikfolgenabschätzung zu beschreiben. Im zweiten Abschnitt werden die Besonderheiten informationstechnischer Märkte dargestellt, um die Unterschiede zu den „analogen“ Märkten zu erkennen. Schließlich werden die zu erwartenden Auswirkungen der Informationstechnik auf die deutsche Wirtschaft und ihren Arbeitsmarkt als Ergebnis der von Economix erstellten Prognose „Arbeitsmarkt 2030“ eingeschätzt (Vogler-Ludwig et al. 2016). Dabei spielt die Frage des technologisch bestimmten Strukturwandels eine ebenso bedeutsame Rolle wie die Frage nach dem gesamtwirtschaftlichen Saldo von Freisetzungs- und Expansionseffekten.

> *„Die Nachfrageexpansion der technologisch „neuen“ Güter ersetzt in der Regel das bisherige Angebot und bewirkt daher Produktionseinbußen und Beschäftigungsverluste in den „alten“ Produktionsbereichen.“*

## Grundschema der ökonomischen Technikfolgenabschätzung

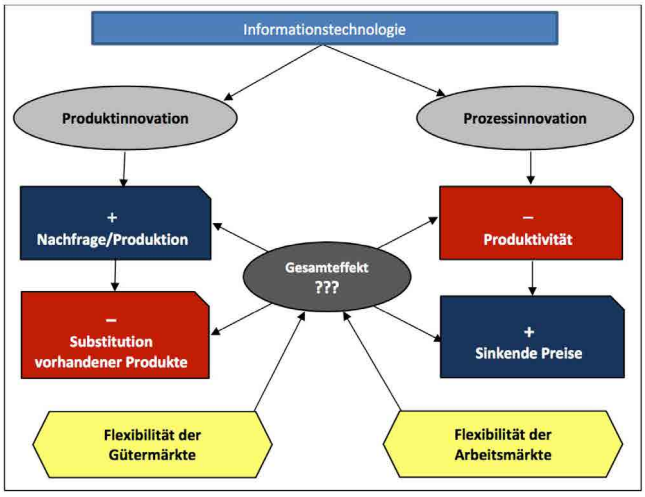
Eine so breit einsetzbare Basistechnologie wie die Informationstechnik bringt sowohl Produkt- als auch Prozessinnovationen in großer Zahl hervor. Durch die Miniaturisierung der Bauteile und rapide Kostensenkung ist sie weit in die Konsumgütermärte vorgedrungen. Gleichzeitig wird sie in praktisch allen Produktionsprozessen eingesetzt, sodass es heute kaum einen Herstellungs- oder Dienstleistungszweig gibt, der ohne sie auskäme. Soweit die Produktinnovationen im Vergleich zum bestehenden Angebot bessere Lösungen anbieten, führen sie zur Ausweitung der Nachfrage und – je

1) Frey/Osborne leiteten ihre Ergebnisse aus der Klassifizierung von 70 Berufen ab, deren subjektiv bewertete Automatisierungswahrscheinlichkeit mit Hilfe der O*NET Daten über die Tätigkeitsprofile auf die 702 Berufe

nachdem wo das Produkt hergestellt wird – zu einer Ausweitung der Produktion. In gleicher Weise müssen die Prozessinnovationen technisch und kostenmäßig überlegene Lösungen anbieten. Soweit dies der Fall ist, werden die Hersteller sie nach und nach in ihren Produktionsprozessen einsetzen. Produktinnovationen wirken expansiv und gehen (für sich betrachtet) mit Beschäftigungsgewinnen einher, während Prozessinnovationen häufig mit Produktivitätssteigerungen und einem Wegfall von Arbeitsplätzen verbunden sind. Bereits auf dieser ersten Stufe des Wirkungsmechanismus führt der Einsatz der Technologie also sowohl zu positiven als auch zu negativen Beschäftigungseffekten (Abbildung 1).

Die Komplexität des Wirkungsmechanismus ist damit allerdings noch nicht vollständig beschrieben. Die Nachfrageexpansion der technologisch „neuen" Güter ersetzt in der Regel das bisherige Angebot und bewirkt daher Produktionseinbußen und Beschäftigungsverluste in den „alten" Produktionsbereichen. Die expansive Wirkung der neuen Technologie wird dadurch verringert, der wirtschaftliche Strukturwandel beschleunigt sich und die gesamtwirtschaftliche Produktivität wird durch das Verschwinden weniger produktiver Produktionsbereiche gesteigert. Die Produktivitätssteigerung wiederum führt zu Preissenkungen für die neuen Produkte und unterstützt daher – bei funktionierendem Wettbewerb – die expansive Wirkung auf der Nachfrageseite. Auch die Prozessinnovationen lösen daher sowohl negative als auch positive Effekte aus.

**Abbildung 1 Beschäftigungswirkungen der Digitalisierung**




Quelle: Economix

Schließlich hängen Umfang und Tempo der Diffusion neuer Technologien von der Flexibilität der Gütermärkte und der Arbeitsmärkte ab. In den Unternehmen gibt es häufig Widerstände, da die Einführung neuer Produkte bzw. Technologien nicht nur hohe Anschaffungs- und Umstellungskosten, sondern Abschreibungen auf die vorhandenen Produktionsanlagen erfordert. Die Verwertungsinteressen der „alten" Produzenten behindern damit die Diffusion der neuen Technologien. Das geht auch so weit, dass Marktzugangsbarrieren aufgebaut und verteidigt werden[2].

Darüber hinaus treten bei umfassenden technologischen Neuerungen häufig Engpässe auf den Arbeitsmärkten auf, da die erforderlichen Spezialisten vor allem in der Anfangsphase der Diffusion nicht in genügender Anzahl vorhanden sind. Die Ausbildung des vorhandenen Personals führt zu weiteren Kosten. Auch im Hinblick auf die strukturelle Anpassungsdynamik an technologische Veränderungen stehen sich also widerstreitende wirtschaftliche Interessen gegenüber, von deren relativer Bedeutung die Beschäftigungswirkungen maßgeblich abhängen.

Aus theoretischer Sicht bleibt also völlig offen, welche Beschäftigungseffekte durch den Einsatz einer neuen Technologie ausgelöst werden. Nachfrage- und Produktivitätseffekte kompensieren sich nicht nur gegenseitig, sondern sind auf Grund der vielfältigen Rückkoppelungen selbst nicht eindeutig positiv oder negativ. Nicht zuletzt schließen die vielfältigen Anpassungsprozesse auf den Güter- und Arbeitsmärkten die Bestimmung der Wirkungsrichtung an Hand theoretischer Schemata aus. Der Gesamteffekt bleibt unbestimmt und kann letztlich nur empirisch ermittelt werden. Es ist also unabdingbar, die spezifischen Eigenschaften einer Technologielinie zu beschreiben und ihre Wirkungen im konkreten wirtschaftlichen und politischen Kontext einer Volkswirtschaft abzuschätzen. Dabei bleibt man weitgehend auf Hypothesen angewiesen, denn der Nachweis einer eindeutigen Wirkungsrichtung gelingt auf Grund der unzureichenden Indikatoren zur Verbreitung einer Technologie meist nicht.

Einen ersten Hinweis auf die vielfältigen Kompensationsmechanismen – und die Schwierigkeiten der empirischen Analyse – liefern die zahlreichen Untersuchungen zu den Produktivitätseffekten der Informationstechnik, denen es insgesamt nicht gelungen ist, den empirischen Nachweis für signifikante Produktivitäts- oder Beschäftigungswirkungen zu erbringen. Laut dem Übersichtsartikel von Cardona et al. (2013) liegt die durchschnittliche geschätzte Produktionselastizität für IKT zwischen 0,05 und 0,06, und Solow kam schon 25 Jahre früher zu der Schlussfolgerung: „We see the computer age everywhere, except in the productivity statistics" (1987).

## Besonderheiten digitaler Märkte

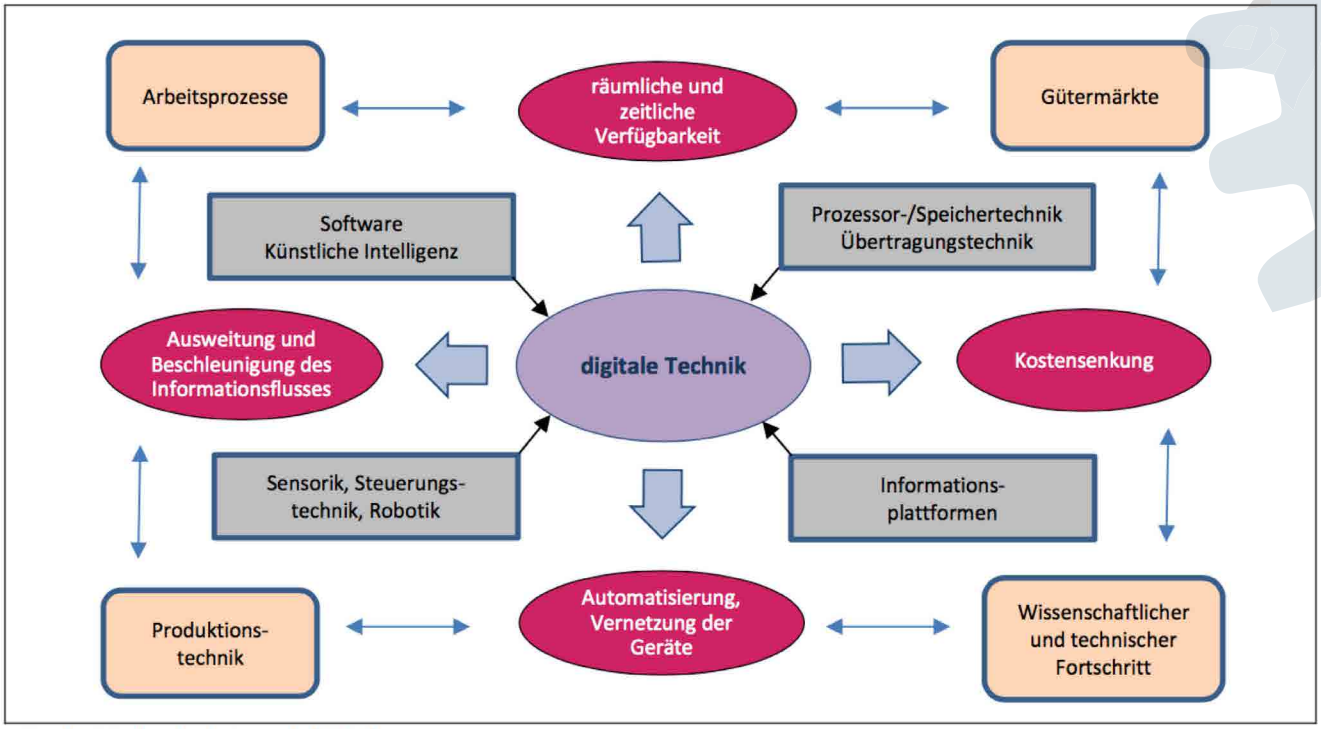
Die digitale Technik besteht aus vier Technologielinien (Abbildung 2):

- Prozessor- und Speichertechnik, Übertragungstechnik
- Sensorik und Steuerungstechnik, Robotik
- Software und künstliche Intelligenz
- Informationsplattformen, Digitalisierung der Information

Von diesen Technologielinien gehen starke Wirkungen nicht nur auf den Informationsfluss und seine Nutzung aus. Die Infor-

2) Der langjährige Kampf um das Postmonopol im deutschen Telekommunikationsbereich oder die harten Auseinandersetzungen um das Copyright zwischen Internetplattformen und Verlagsgewerbe mögen dafür als Beispiele dienen.

**Abbildung 2 Die ubiquitäre Wirkung der Informationstechnik**




Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016)

mationstechnik ist vielmehr in der Lage, über die Ausweitung der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Information, die Reduzierung der Informationskosten, die Übernahme von Steuerungsfunktionen in maschinelle Anlagen, und letztlich über das Wachstum der Informationsbestände selbst in fast alle Lebens- und Arbeitsbereiche vorzudringen. Schon heute ist die ubiquitäre Präsenz der Informationstechnik sichtbar, und sie wird allen Erwartungen zufolge noch weiter zunehmen.

Sie verändert Produktionstechnik und Verwaltungsabläufe, die Organisationsstruktur der Unternehmen und letztlich die Qualifikationsstruktur der Belegschaften. Auf ihrer Basis entstehen neue Geschäftsmodelle und alte geraten in Gefahr. Die Wettbewerbspositionen der Anbieter auf den Gütermärkten verschieben sich und die Technologie bewirkt das Wachsen und Sterben von Wirtschaftszweigen. Sie beschleunigt den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt und verändert dadurch Wirtschaft und Gesellschaft als Ganzes. Schließlich beeinflusst sie den Arbeitsmarkt sowohl in seinem Gesamtgleichgewicht als auch in seinen beruflichen und qualifikationsspezifischen Teilarbeitsmärkten.

Die Diffusion der digitalen Technik wird vor allem von zwei Faktoren vorangetrieben: dem außergewöhnlichen Tempo des technischen Fortschritts, das im sog. Moore'schen Gesetz seinen Ausdruck fand, und in der Annäherung der Grenzkosten für die Verbreitung von Informationen an die Null-Linie. Während das Moore'sche Gesetz zutreffend die jährliche Verdoppelung der Speicherkapazitäten auf elektronischen Chips in Relation zu ihren Kosten, und damit eine rasche Verbilligung der Hardware prognostiziert hat, weist die Null-Grenzkosten-Hypothese auf die verschwindend geringen Kosten für die Informationsverbreitung und -beschaffung hin. Auch wenn dies keine Gesetzmäßigkeiten im strengen Sinne sind, beschreiben sie doch die entscheidenden, langfristig wirksamen Vorteile der digitalen Technik im Vergleich zur analogen: Sie ist nicht nur besser, schneller und billiger, sie wird auch in Zukunft immer besser, schneller und billiger werden. Dies erklärt die hohen Wachstumsraten der digitalen Wirtschaft und die Omnipräsenz der digitalen Technik in der heutigen und künftigen Welt.

Aus der ökonomischen Perspektive unterscheiden sich die Informationsmärkte in einigen wichtigen Punkten von den „analogen" Märkten:

- Es ergeben sich starke Größenvorteile (economies of scale), die durch Netzwerkeffekte, wie sie bei den Informationsplattformen auftreten, verstärkt werden. Gleichzeitig wird der Marktzugang erleichtert, so dass der wirtschaftlichen Konzentration in den Informationsindustrien eine wachsende Zahl von Anbietern in vielen anderen Märkten gegenübersteht.
- Sinkende Preise für Hardware, Software und vor allem die Annäherung der Grenzkosten für die Informationsverbreitung und -beschaffung an die Null-Linie verringern die Lenkungs- und Ausschlussfunktion von Preisen. Die

Nachfrage nach Informationsgütern wächst mit exorbitanten Raten und die digitale Technik verdrängt immer größere Teile der „analogen“ Produktionsweise.

- Das rasche Wachstum der digitalen Informationsbestände ermöglicht im Zusammenspiel mit verbesserten Analysetechniken eine exponentiell steigende Zahl an Kombinationen für das vorhandene Wissen. Dies beschleunigt das Potenzial des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts. Soweit die Menschen in der Lage sind, daraus Erkenntnisse zu ziehen, ist auch von hohen „realen“ Fortschrittsraten auszugehen.

Bisher hat Deutschland von der Informationstechnik vorwiegend als Anwender und Nutzer profitiert. Im Herstellerbereich haben sich Wachstum und Beschäftigung hingegen abgeschwächt. Positive Entwicklungen zeigten sich nur bei den IT-Dienstleistungen. Angesicht der großen Wettbewerbsvorteile der ausländischen – insbesondere chinesischen – Anbieter gibt es in Deutschland kaum eine Aussicht auf eine Wiederbelebung der Hardware-Industrie, zumal die chinesischen Konkurrenten immer größere Teile des Weltmarktes für sich gewinnen. Gleiches gilt für die Entwicklung von IT-Spitzentechnologie und Software, die weitgehend in den Händen amerikanischer Unternehmen liegt. Nennenswerte Wachstums- und Beschäftigungsimpulse sind daher nur zu erwarten, wenn sich Deutschland im Rahmen einer forcierten Digitalisierung zu einem weltweit führenden Anbieter für die vernetzte Industrieproduktion (Industrie 4.0) entwickelt.

> *„Die Technologien, die im Jahr 2030 zur Anwendung kommen, sind zum guten Teil noch gar nicht erfunden.“*

### Szenario für eine Digitalisierungsstrategie

Im Grunde ist es ein anmaßendes Vorhaben, die Zukunft der Informationstechnik, und sei es nur für die nächsten 15 Jahre, vorherzusagen. Die Technologien, die im Jahr 2030 zur Anwendung kommen, sind zum guten Teil noch gar nicht erfunden, geschweige denn angewandt. Und selbst wenn sie bekannt wären, wissen wir sehr wenig über ihre Auswirkungen und können folglich auch über die künftigen Wirkungen nur Vermutungen anstellen. Dieses Manko lässt sich allerdings ausgleichen, wenn man sich von der heute vorherrschenden Realität ein Stück weit löst und im Rahmen eines Szenarios über die Zukunft der Informationstechnik nachdenkt. Dabei geht es nicht darum, der Phantasie freien Lauf zu lassen, sondern eine Strategie zu entwickeln, die eine beschleunigte Digitalisierung der deutschen Wirtschaft zum Ziel hat.

Eine solche Entwicklungsstrategie strebt die technologische Führerschaft im Bereich von Industrie 4.0 an und setzt daher auf die intensive Nutzung und Anwendung der digitalen Technik durch Bevölkerung, Wirtschaft und den öffentlichen Sektor. Sie zielt auf die weitgehende Digitalisierung aller Lebens- und Arbeitsbereiche, um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu erhalten. In der Tat droht die heute noch so wettbewerbsstarke deutsche Industrie ihre Position zu verlieren, wenn sie den Anschluss an die digitale Technik verliert. Mehr noch: Neue Wettbewerber aus dem IT-Sektor dringen in die Investitionsgütermärkte ein und versuchen über die Entwicklung der vernetzten Industrieproduktion Marktanteile für sich zu gewinnen. Die deutsche Industrie steht also mit dem Rücken an der Wand, wenn sie ihre Stellung behalten will und die Digitalisierung stellt so etwas wie ihre letzte Chance dar.

Die Digitalisierungsstrategie verfolgt darüber hinaus ein zweites Ziel, das auf den demografischen Wandel gerichtet ist. Auch nach unseren Prognosen wird das Arbeitskräfteangebot spätestens nach 2020 wieder rückläufig sein, wenn es nicht zu einer erneuten Einwanderungswelle kommt (vgl. Abbildung 4). Es gilt also, den sich abzeichnenden Mangel an Arbeitskräften durch ein möglichst hohes Produktivitätsniveau zu verringern. Dazu bietet die Digitalisierung wirksame Lösungen. Allerdings führt sie einerseits zu hohen Freisetzungen von (in der Regel einfacher) Arbeit in digitalisierbaren Tätigkeitsfeldern und andererseits zu einem verstärkten Bedarf an koordinierenden, forschenden, kommunikativen, kreativen und entscheidungsintensiven Tätigkeiten.

Dieses strategische Szenario, das wir „Szenario beschleunigte Digitalisierung“ nennen, zielt also sowohl auf die Nutzung von Marktchancen als auch auf die Lösung eines langfristigen Problems auf dem deutschen Arbeitsmarkt. Es geht von einer Konzentration der Aktivitäten auf die Entwicklung und Vermarktung digitaler Technik insbesondere im Bereich Industrie 4.0 aus und unterstellt für den Zeitraum bis 2030 die folgenden Trends:

- Bevölkerung: hohe Akzeptanz des digitalen Fortschritts; rasche Verbreitung der Sharing-Kultur; sekundäre Bedeutung des Datenschutzes; hohe Beteiligung an IT-spezifischer Weiterbildung; Verbreitung des digitalen Lernens und Lehrens; Ausbau der IT-Studienfächer und Integration digitaler Kompetenzen in die Berufsbildung;
- Unternehmen: technologische Führerschaft der Investitionsgüterindustrie wird durch Entwicklung von Industrie 4.0 verteidigt; hohe Investitionsbereitschaft; hoher F&E-Aufwand; geringer Wettbewerbsschutz für „analoge“ Märkte; starker Nachfrageschub für Unternehmensdienste durch die zentrale Rolle von Software und Unternehmensorganisation in den Bereichen Big Data, selbstfahrende Fahrzeuge, Rationalisierung der Verwaltungen, Industrie 4.0 usw.;

- Handel und Dienstleistungen: Handels- und Dienstleistungsplattformen führen zu hoher Konzentration unter den Plattformbetreibern und zur Diversifizierung und Ausfächerung der direkten Leistungsanbieter; digitale Medien verdrängen zunehmend die Printmedien;
- Verkehr: selbstfahrende Autos sind bis 2030 Standard; vollautomatische Lagerhaltung; Car-Sharing setzt sich durch; digitale Verkehrsleitsysteme an vielen Knotenpunkten;
- Öffentliche und soziale Dienste: starke Förderung der digitalen Technik; internet-basierte Verwaltung; steigende Technik-Intensität bei sozialen Diensten; digitale Medizintechnik wird stark entwickelt; digitale Haustechnik findet weite Verbreitung;
- IT-Industrien: starke Wachstumsimpulse aus dem technologischen Wandel; Spezialisierung auf Produktionssteuerung, Logistik, Netzwerktechnik; forcierter Ausbau der Telekommunikation;
- Arbeitsmarkt: stärkere Arbeitsteilung bei einfachen, höhere Spezialisierung bei komplexen Tätigkeiten; stärkere Vernetzung der Fachdomänen; fortschreitende Flexibilisierung von Arbeitszeiten und Beschäftigungsverhältnissen; mehr Solo-Selbständige; Nutzung digitaler Techniken zur Integration weniger leistungsfähiger Personen;

Das Alternativszenario (Basisszenario) setzt hingegen auf die bestehenden Wettbewerbsvorteile der deutschen Wirtschaft im Bereich der wissensorientierten, kulturellen und sozialen Dienste, verzichtet aber auf eine forcierte Digitalisierung. Gleichwohl kommen digitale Techniken auch in diesem Szenario zum Einsatz, da eine Welt ohne digitale Technik nicht mehr vorstellbar ist.

### Modellgestützte Wirkungsanalyse

Angesichts der weit fortgeschrittenen Diffusion und der komplexen wirtschaftlichen Verflechtungen können die Beschäftigungswirkungen der Informationstechnik nur auf Basis eines gesamtwirtschaftlichen Strukturmodells abgeschätzt werden. Diese Modelle erlauben eine nach Wirtschaftszweigen, Berufen und Qualifikationsgruppen differenzierte Berechnung der Beschäftigungswirkungen einer beschleunigten Digitalisierung. Gleichzeitig berücksichtigen sie die gesamtwirtschaftlichen Zusammenhänge und garantieren damit konsistente Schätzergebnisse für Nachfrage, Produktion und Beschäftigung.

Die Prognose „Arbeitsmarkt 2030“ von Economix Research & Consulting (Vogler-Ludwig et al. 2016), deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden, beruht auf dem von Cambridge Econometrics entwickelten G3M-Strukturmodell, das sowohl den Produktionskreislauf als auch den Arbeitsmarkt der deutschen Wirtschaft in einer Differenzierung nach 44 Wirtschaftszweigen abbildet (im Einzelnen vgl. Kriechel/Vogler-Ludwig 2013: 8 ff). Die Modellrechnungen gehen von den direkten Nachfrageeffekten der digitalen Technik aus. Sie führen zu Veränderungen von Investitionen (einschl. Forschungs- und Entwicklungsausgaben), Importen und Exporten und werden über die Verflechtungsmatrix in andere Wirtschaftszweige transferiert. Dabei ändert sich auch die Nachfrageverflechtung im Zuge der technologischen Umgestaltung (insbesondere durch Industrie 4.0).

Gleichzeitig löst die Anwendung digitaler Technik sektorale Produktivitäts-, Kosten- und Preiseffekte aus. Die Produktivität ist im Modell eine Funktion von Sachkapitalinvestitionen, F&E-Ausgaben und weiteren Technologieindikatoren. Zusätzlich zu diesen aus der Vergangenheit bekannten Abhängigkeiten wurde unterstellt, dass digitale Technik – auf Grund der sinkenden Preise – mit einer steigenden Kapitalproduktivität verbunden ist. Schließlich ergeben sich aus dem Einkommenskreislauf entsprechende Nachfrage-, Produktions- und Beschäftigungseffekte.

Beide oben genannten Szenarien wurden im Rahmen der Prognose „Arbeitsmarkt 2030“ in das gesamtwirtschaftliche Strukturmodell G3M übertragen und bis zum Jahr 2030 durchgerechnet. Dadurch war es nicht nur möglich, die sektorale Verflechtung der deutschen Wirtschaft zu berücksichtigen, sondern auch die zeitliche Dynamik der Entwicklungen abzubilden. Das Basisszenario dient als Vergleichsmaßstab, um den Effekt einer beschleunigten Digitalisierung zu messen.

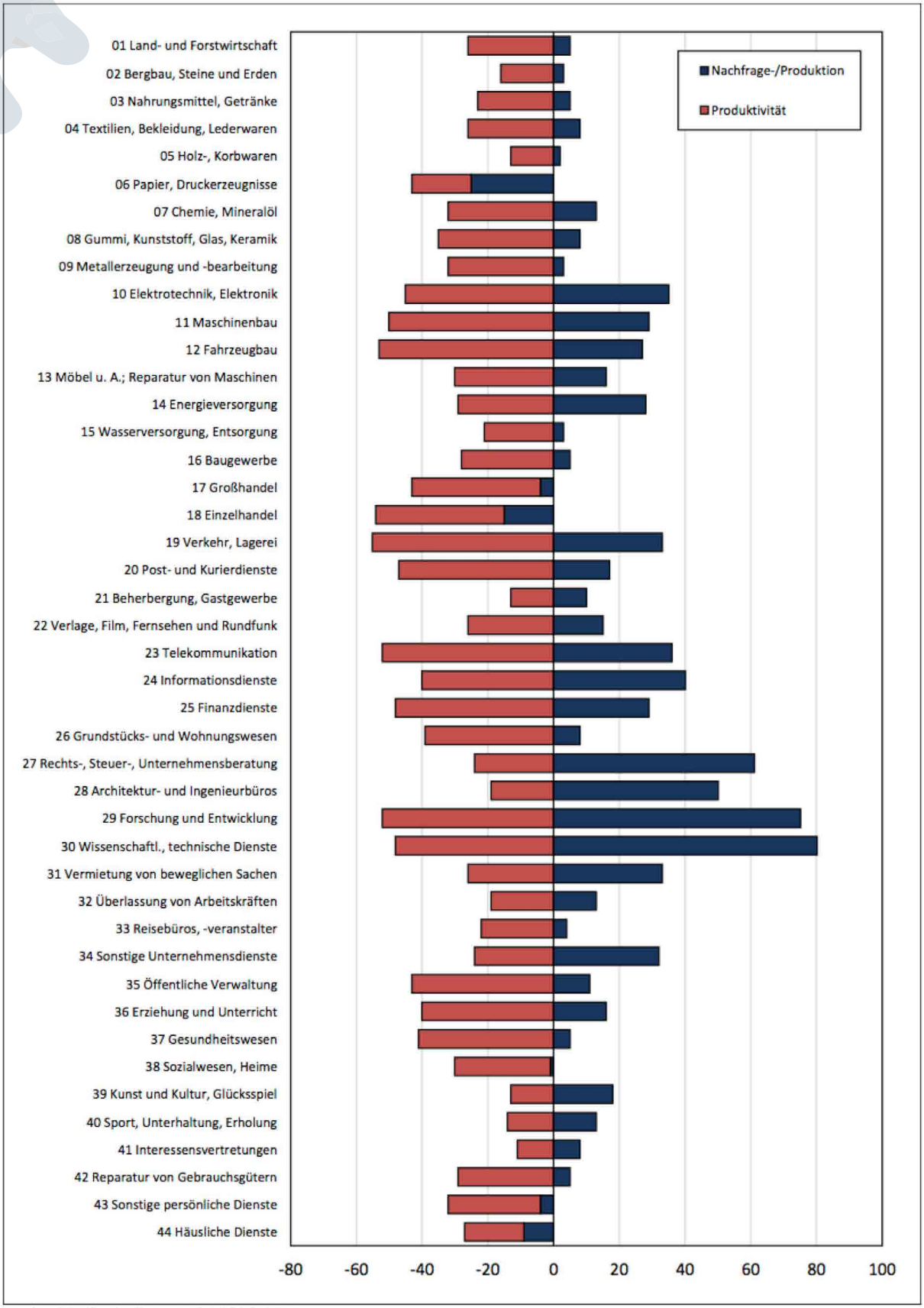
### Direkte Produktions- und Produktivitätseffekte

Ausgangspunkt der Modellrechnungen sind Einschätzungen (oder Hypothesen) zu den wichtigsten Entwicklungstrends der Informationstechnik und ihren direkten Auswirkungen auf Produktion und Produktivität. Sie werden durch Indexwerte dargestellt, die den Einfluss der digitalen Technik in den 44 Wirtschaftszweigen des G3M-Modells bemessen. Dabei werden sechs Technologiefelder unterschieden:

- Vernetzung, Industrie 4.0
- Robotik
- Additive Fertigung, 3D-Druck
- Autonomes Fahren
- Informationsplattformen
- Software, künstliche Intelligenz, Big Data

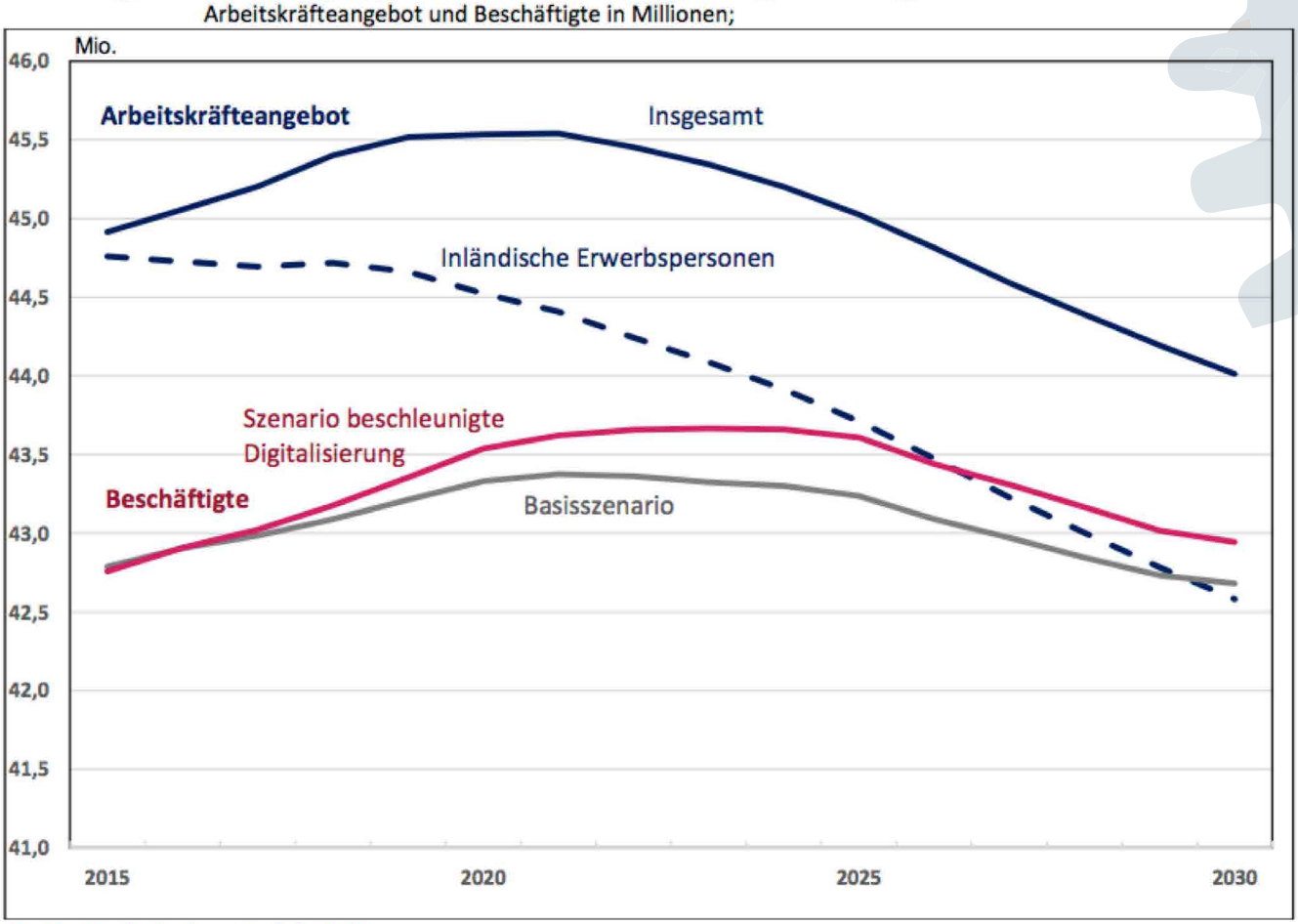
Zur Festlegung der Indexwerte wurden die Ergebnisse der Fachexpertisen herangezogen, die im Rahmen der Prognose „Arbeitsmarkt 2030“ erstellt worden waren (Düll 2016; Bertschek et al. 2016). Darüber hinaus wurden die oben genannte Fachliteratur und weitere Quellen berücksichtigt. Für jedes Technologiefeld wurde die Wirkungsintensität in den einzelnen Wirtschaftszweigen eingeschätzt. Im Anschluss wurden die einzelnen Technologiefelder im Hinblick auf ihren Einfluss auf die (inländische) Nachfrage bzw. die Produktion einerseits und die Produktivität andererseits gewichtet. Daraus ergaben sich die in Abbildung 3 dargestellten Werte, die sich in einem maximalen Zahlenraum von 100 bewegen.

**Abbildung 3** **Direkte Nachfrage-/Produktions- und Produktivitätseffekte der Digitalisierung**
Indexwerte für die Wirkungsintensität von sechs Technologiefeldern (Maximum ± 100)




Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016: 147)

**Abbildung 4 Beschäftigungseffekt der beschleunigten Digitalisierung**
Arbeitskräfteangebot und Beschäftigte in Millionen;




Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016)

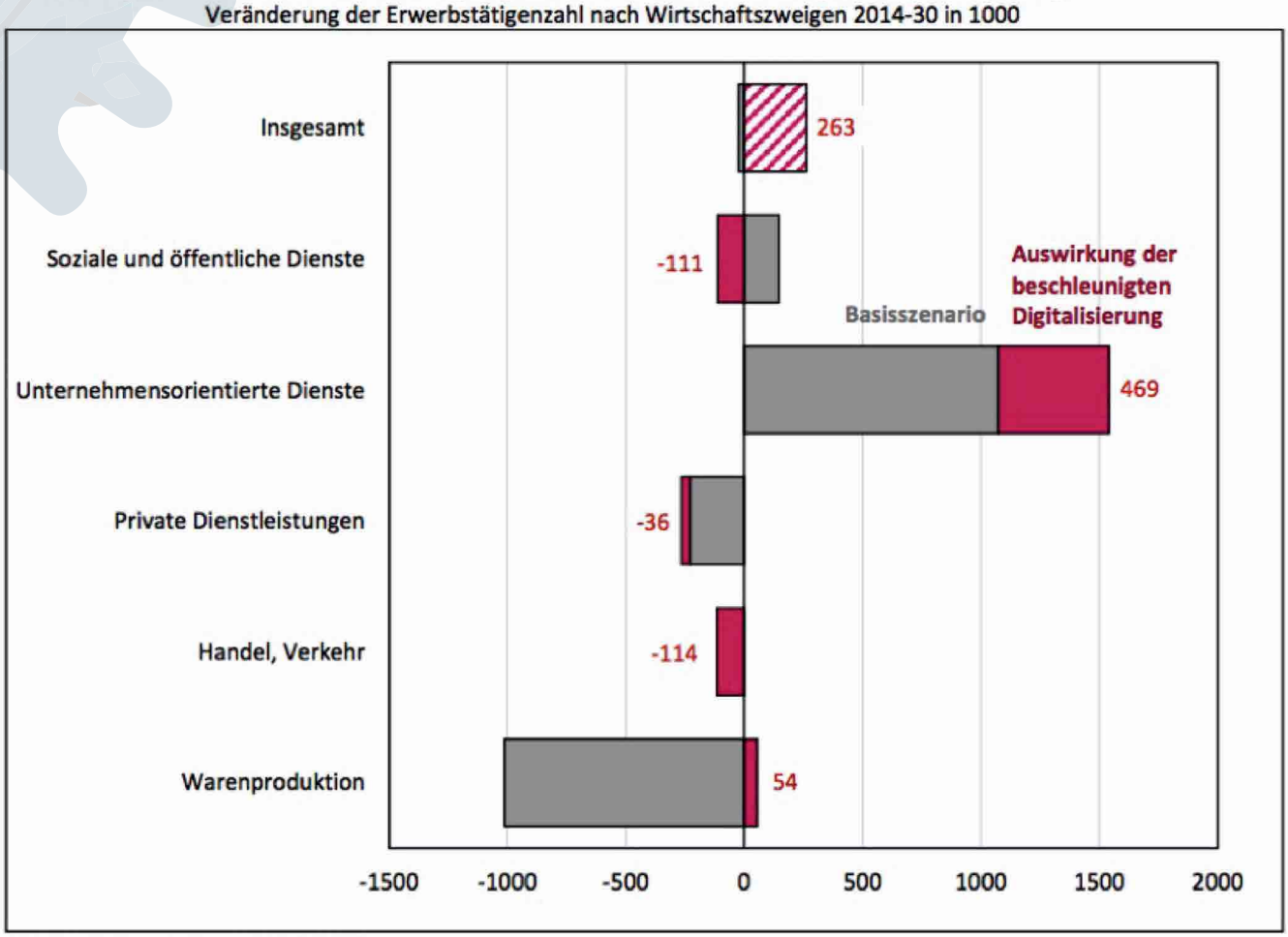
Relativ starke Nachfrage-/Produktionsimpulse erhalten danach die wissensorientierten Dienste (Wissenschaft, Forschung und Entwicklung, Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung), die Investitionsgüterproduzenten (Elektrotechnik, Maschinenbau), die IT-Industrie selbst (IT-Dienste, Telekommunikationsdienste) sowie vor- und nachgelagerte Bereiche der digitalen Industrien (Verkehrswesen, Energiewirtschaft, Finanzdienste). Negative Nachfrageeffekte werden nur für den Handel, die persönlichen Dienstleistungen sowie das Papier- und Druckgewerbe unterstellt. In allen anderen Branchen wird die Nachfrage im Zuge des durch die Digitalisierung ausgelösten Wachstums expandieren. Die Produktivitätseffekte der Digitalisierung sind im Hinblick auf die Beschäftigung in allen Branchen negativ. Besonders starke Effekte ergeben sich für die Investitionsgüterindustrien (Elektrotechnik, Maschinenbau, Fahrzeugbau), die klassischen Dienstleistungen (Handel, Verkehr, Post- und Kurierdienste), in den öffentlichen und sozialen Diensten, aber auch in den IT-Industrien selbst sowie in Wissenschaft und Forschung. Es sind also einerseits die Entwickler der digitalen Technik, die ihre Konzepte in der eigenen Produktion testen und umsetzen, und andererseits die traditionellen Dienstleister, bei denen die digitale Technik bisher ungenutzte Produktivitätspotenziale ausschöpfen kann. Auch alle anderen Branchen werden ihre Produktivität durch den Einsatz digitaler Technik steigern, allerdings in geringerem Umfang. Der Erstimpuls der digitalen Technik ist nach diesen Annahmen insgesamt negativ, wenn man die Indexwerte für die Nachfrage- und Produktivitätseffekte gegeneinander saldiert. Die negative Wirkung entsteht insbesondere durch den verstärkten Einsatz von Robotern und autonomen Fahrzeugen, aber auch für die anderen Technologielinien sind die Produktivitätseffekte stärker als die Nachfrageeffekte. Erst die nachfolgenden Reaktionen, insbesondere die verbesserte Wettbewerbsposition, die aus Effizienzsteigerungen resultierenden Kostensenkungen und die sinkenden Güterpreise, führen in unseren Modellrechnungen – wie nachfolgend gezeigt wird – zur Umkehr dieses Impulses.

### Positive gesamtwirtschaftliche Effekte

Entgegen den Befürchtungen, wie sie in den eingangs genannten Studien zum Ausdruck kommen, zeigen die Modellrechnungen, dass es durch eine beschleunigte Digitalisierung gelingen kann, wirtschaftliches Wachstum und Beschäftigung zu erzeugen (Abbildung 4).[3]

3) Derartige Berechnungen unternimmt das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung in seinen Szenario-Rechnungen, kommt allerdings zu leicht negativen Effekten auf die Gesamtbeschäftigung (Wolters et al. 2015).

**Abbildung 5 Sektorale Beschäftigungseffekte der beschleunigten Digitalisierung**
Veränderung der Erwerbstätigenzahl nach Wirtschaftszweigen 2014-30 in 1000




Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016)

Die Berücksichtigung von Produktinnovationen, Nachfrageeffekten sowie Kosten- und Preissenkungen wendet das Blatt gegenüber dem Erstimpuls der Informationstechnik und stellt am Ende einen Beschäftigungsgewinn von rund 1⁄4 Million in Aussicht. Das reale Bruttoinlandsprodukt von 2030 liegt nach unseren Schätzungen um 4 % höher als ohne beschleunigte Digitalisierung und die Erwerbslosigkeit sinkt um 20 %. Die Pro-Kopf-Einkommen sind ebenfalls um 4 % höher. Der maximale Beschäftigungszuwachs ergibt sich um 2025 mit etwa 300.000 Erwerbstätigen. Danach erzwingt das sinkende Arbeitsangebot den Rückgang um 0,8 Millionen auf 43 Millionen.

Entscheidend für diesen Entwicklungspfad sind die Produktivitätseffekte der Digitalisierung, die das Produktivitätswachstum nach einer langen Entwicklungs- und Erprobungsphase in den Jahren 2025-2030 deutlich ansteigen lassen. Mit einem jährlichen Zuwachs von 2,4 % kompensiert die Produktivitätssteigerung dann nicht nur den Rückgang im Arbeitsangebot, sondern beschleunigt das durchschnittliche jährliche Wirtschaftswachstum mit einem Beitrag von 0,3 Prozentpunkten.

### Sektorale Wirkungen

Die Digitalisierung beschleunigt den Strukturwandel auf allen Ebenen, also in sektoraler, beruflicher und qualifikationsspezifischer Richtung. Im Hinblick auf die sektorale Struktur löst sie vor allem in den vor- und nachgelagerten Branchen der digitalen Industrien starke Beschäftigungsimpulse aus (Abbildung 5). Dazu gehören die Unternehmensdienste, die IT-Dienste sowie Forschung und Entwicklung. Hier entstehen bis 2030 nach unseren Modellrechnungen fast 1⁄2 Million Arbeitsplätze. Auch die Investitionsgüterhersteller – die Hardwarelieferanten des Industrie 4.0-Komplexes Maschinenbau, Fahrzeugbau und Elektronikindustrie – können Beschäftigungsgewinne in der Größenordnung von jeweils 100.000 bis 150.000 erwarten. Insgesamt werden 13 Branchen ihre Beschäftigung im Zuge einer beschleunigten Digitalisierung ausweiten können. Ihr Beschäftigungsgewinn bis 2030 wird bei einer Million Erwerbstätigen liegen. In den warenproduzierenden Sektoren heben sich hingegen positive und negative Beschäftigungseffekte weitgehend auf, so dass bis 2030 nur ein kleiner Beschäftigungsgewinn von etwa 50.000 Arbeitsplätzen entstehen wird. In den Anwenderbranchen wird die digitale Technik hingegen Arbeit freisetzen. Dies gilt vor allem für den Einzelhandel, das

Papier- und Druckgewerbe und die Öffentliche Verwaltung. Die Beschäftigung wird in 27 Wirtschaftszweigen rückläufig sein. Der Beschäftigungsverlust dieser Sektoren wird nach unseren Einschätzungen bei 750.000 Erwerbstätigen liegen.

### Beruflicher Strukturwandel

Die beschleunigte Digitalisierung erhöht vor allem die Nachfrage nach IT-Berufen, Berufen der Unternehmensführung und -organisation sowie Berufen im Bereich Werbung und Marketing. Gleichzeitig steigt im Zuge von Industrie 4.0 der Bedarf an Mechatronikern sowie Maschinen- und Fahrzeugtechnikern. Negative Beschäftigungseffekte sind hingegen für eine Vielzahl von Fertigungsberufen zu erwarten, wie z. B. in Metallerzeugung und -verarbeitung, Textil- und Bekleidungsberufen, Ernährungsberufen. Darüber hinaus sind Verkehrsberufe, Verkaufsberufe und einfache Gesundheitsberufe (z. B. Labor, Pflege) negativ betroffen. Einem Beschäftigungsgewinn von 580.000 Arbeitsplätzen in den begünstigten Berufen steht ein Beschäftigungsverlust von 310.000 Arbeitsplätzen in benachteiligten Berufen gegenüber (Abbildung 6).

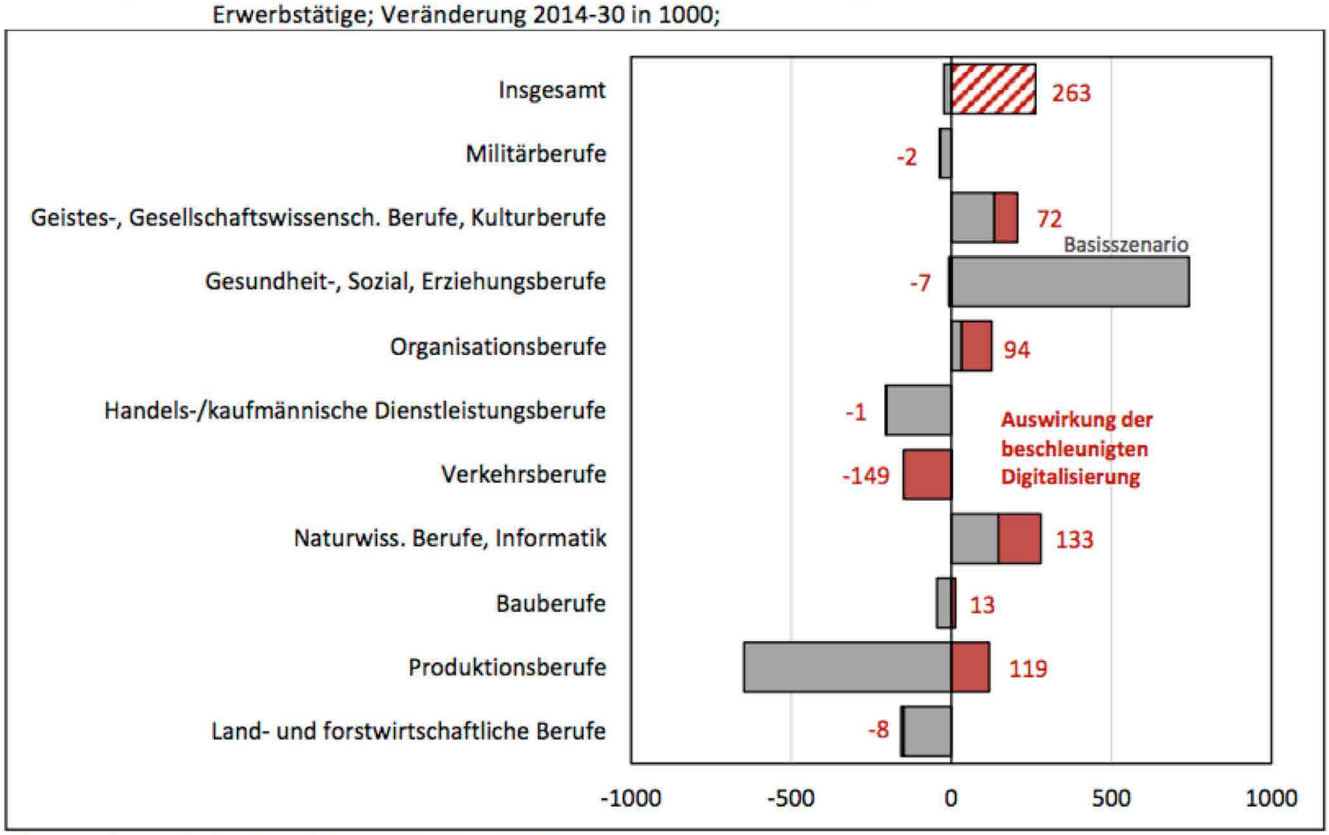
Die Auswirkungen der beschleunigten Digitalisierung auf die Berufsstruktur bleiben also in unseren Modellrechnungen geringer als in der Differenzierung nach Wirtschaftszweigen. Im Durchschnitt führt die Digitalisierung zu einer Veränderung der Erwerbstätigkeit in den einzelnen Berufen von 3 %, wenn man die Ebene der Zweisteller der Berufssystematik verwendet. Auf der Ebene der Dreisteller beträgt die durchschnittliche Veränderung 5 %. Dies geht auf die laufende Anpassung der beruflichen Tätigkeitsprofile zurück, durch die nach unserer Einschätzung der überwiegende Teil der „digitalen“ Arbeitsanforderungen in die beruflichen Aufgaben integriert wird. In der Berufsstatistik ist daher nur ein Bruchteil der Veränderungen der Arbeitswelt sichtbar, die von der Digitalisierung ausgelöst werden.[4]

### Qualifikationsbedarf

Das Arbeitsangebot des Basisszenarios wird nicht ausreichen, um den Qualifikationsbedarf einer forcierten Digitalisierungsstrategie zu decken. Nach unseren Berechnungen erhöht die beschleunigte Digitalisierung den Bedarf an Arbeitskräften mit Hochschulbildung bis zum Jahr 2030 um 530.000 Erwerbstätige im Vergleich zum Basisszenario (+ 5 %; Abbildung 7). Darunter sind 170.000 Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, 140.000 Ingenieure, 90.000 Mathematiker und Naturwissenschaftler sowie 70.000 Sprach- und Kulturwissenschaftler und 30.000 Künstler und Kunstwissenschaftler.

**Abbildung 6 Auswirkungen der beschleunigten Digitalisierung auf die Berufsstruktur***

Erwerbstätige; Veränderung 2014-30 in 1000;



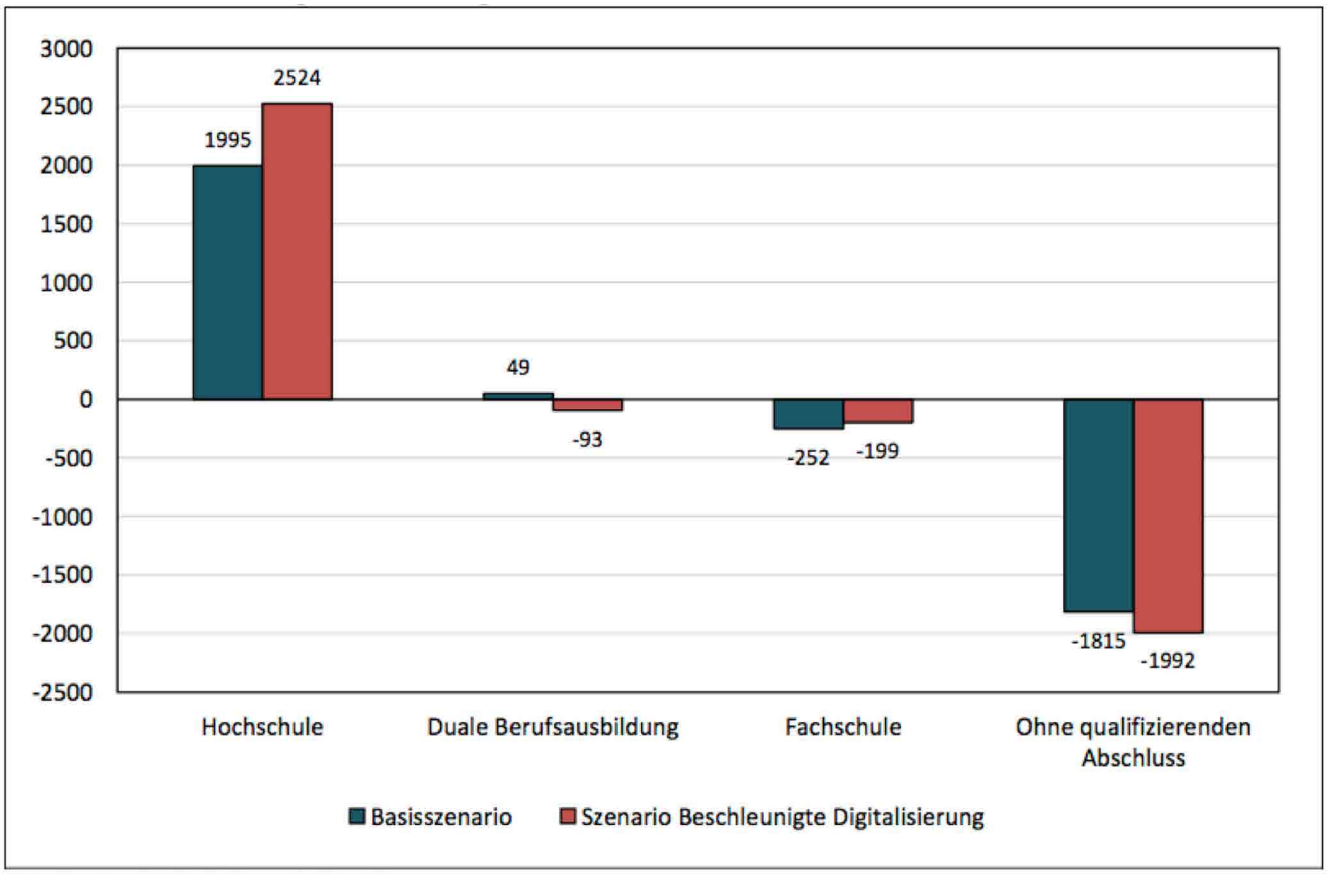

(*) Einsteller nach der Klassifizierung der Berufe 2010.
Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016)

4) Da auch die Entstehung neuer Berufe statistisch nicht abgebildet werden kann, gehen wir davon aus, dass sich neue Berufsbilder innerhalb der bestehenden Berufe herausbilden

Der Bedarf an dual ausgebildeten Arbeitskräften geht hingegen leicht zurück. Er sinkt im Zuge der forcierten Digitalisierung um 140.000 im Vergleich zum Basisszenario (- 1 %). Dahinter verbergen sich starke Umschichtungen: Rückläufiger Bedarf zeigt sich bei Arbeitskräften mit einer Ausbildung in Fertigungs- und Metallberufen und vor allem in Organisations-, Verwaltungs- und Büroberufen. Arbeitskräfte mit einem technischen Ausbildungsberuf, mit einer Ausbildung als Waren- und Dienstleistungskauffrau bzw. -kaufmann und mit Verkehrsberufen werden hingegen häufiger gesucht. Der Bedarf an Arbeitskräften mit Fachschulbildung ist auch im Szenario „Beschleunigte Digitalisierung" rückläufig. Er sinkt bis 2030 um 210.000 (- 5 %). Allerdings wirkt sich die beschleunigte Digitalisierung positiv aus, sodass 2030 etwa 50.000 Arbeitskräfte mehr erforderlich sind als dies im Basisszenario der Fall wäre. Davon profitieren in erster Linie Arbeitskräfte mit einer Fachschulbildung in technischen und kaufmännischen Berufen, während Arbeitskräfte mit einer Fachschulbildung in einem Erziehungs- oder Pflegeberuf etwas weniger gesucht werden. Arbeitskräfte ohne berufliche Bildung werden im Szenario „Beschleunigte Digitalisierung" noch weniger gebraucht als im Basisszenario.

Die Herausforderung der beschleunigten Digitalisierungsstrategie wird darin bestehen, das Potenzial an gering ausgebildeten Arbeitskräften und Personen ohne Berufsabschluss zu mobilisieren. Insgesamt waren 2014 7,8 Millionen Erwerbspersonen in diesem Bildungssegment, und wir rechnen mit zwei Millionen freigesetzten Arbeitskräften bis 2030. Dies werden 3 % mehr sein, als nach dem Basisszenario zu erwarten wäre. Es kommt also darauf an, einen möglichst hohen Anteil dieser Arbeitskräfte für die berufliche Bildung zu motivieren. Dazu ist die erfolgreiche Integration der Flüchtlinge erforderlich. Vor allem ist aber die Verbesserung der beruflichen Bildung der bereits im Arbeitsprozess stehenden Arbeitskräfte – unabhängig von ihrer Wanderungshistorie – unabdingbar. Dabei kommt es darauf an, die berufliche Qualifikation der Arbeitskräfte auf allen Niveaustufen gleichzeitig zu verbessern, nicht allein auf der untersten Ebene. Nur über einen solchen Kaminzugeffekt lässt sich der stark steigende Bedarf an tertiär ausgebildeten Arbeitskräften decken. Die beschleunigte Digitalisierung erfordert daher eine Weiterbildungsinitiative mit großer Breitenwirkung. Mit einer Fokussierung allein auf die informationstechnischen Bildungssegmente sind die Wachstumsziele nicht zu erreichen.

**Abbildung 7 Auswirkungen der beschleunigten Digitalisierung auf die fachliche Berufsbildung**
Veränderung der Erwerbstätigenzahl 2014-30 in 1000




Quelle: Vogler-Ludwig et al. (2016)

5) Die Autoren der oben genannten „Gefährdungsstudien" können dies auch als ernstgemeinte Bitte verstehen, ihre Analysen mit einer Darstellung der Beschäftigungspotenziale durch digitale Technik zu ergänzen.

### Politische Schlussfolgerungen

Wir leben bereits in einer digitalisierten Welt und können ohne digitale Technik im Grunde nicht mehr leben. Wenn wir also über die weitere Entwicklung im Informationszeitalter nachdenken, stellt sich nur die Frage nach schneller oder langsamer Teilnahme am weltweiten technologischen Wandel, nach aktiver Gestaltung oder passiver Anpassung. Die Frage des „ob" ist schon lange beantwortet, von den Jugendlichen, die einen guten Teil ihrer Zeit mit ihren Smartphones verbringen, von den Unternehmen, die massiv in die digitale Fabrik investieren, und von der Politik, die sich mit ihrer digitalen Agenda für eine beschleunigte Digitalisierung entschieden hat. Es gibt also kein Zurück und wir können im Prinzip nur über das Tempo nachdenken, das wir auf dem Weg in die technologische Zukunft einschlagen wollen.

Insoweit ist die Frage nach der Gefährdung von Arbeitsplätzen nicht nur einseitig, sondern im Grunde genommen die falsche. Wenn man anerkennt, dass den gefährdeten Arbeitsplätzen neu geschaffene mit veränderten Tätigkeitsprofilen und Qualifikationsanforderungen gegenüberstehen, sollte das arbeitsmarktpolitische Augenmerk auf die Nutzung der digitalen Technik gerichtet sein – also Arbeitskräfte für die neuen Arbeitsplätze bereitzustellen, statt gefährdete Arbeitsplätze zu retten. Angesichts der Konzentration der öffentlichen Debatten auf die Beschäftigungsrisiken droht dies aus dem Blickfeld zu geraten. Die Betrachtung von Risiken und Chancen erscheint umso wichtiger als das Beschäftigungsrisiko einer rückwärtsgewandten, strukturkonservierenden Politik sehr hoch sein kann. Wenn Deutschland den Anschluss an den internationalen, technologischen Wettbewerb verlieren sollte, sind die Investitionsgüterproduzenten und vielleicht die Wirtschaft als Ganzes hochgradig gefährdet.[5]

Ohne Zweifel stellt eine Strategie der beschleunigten Digitalisierung hohe Anforderungen an die Mobilität und Flexibilität der Beschäftigten, die Umstellungsbereitschaft der Unternehmen und nicht zuletzt an die Bildungs- und Arbeitsmarktpolitik. Eine solche Strategie beschleunigt den Strukturwandel auf den Güter- und Arbeitsmärkten und bringt damit unvermeidlich Gewinner und Verlierer hervor. Dies ist angesichts der weltweiten Globalisierungskritik und der mittlerweile politisch organisierten Renationalisierung alles andere als ein zu vernachlässigendes Problem. Zwar hat Deutschland – anders als die USA – der regionalen Strukturpolitik seit langem einen hohen Stellenwert eingeräumt. Aber auch hier fühlen sich Teile der Bevölkerung und der Wirtschaft vom Tempo der Veränderungen überfordert. Wenn die Strukturpolitik für eine große Zahl an Gewinnern und eine geringe Zahl an Verlierern sorgen will, muss sie daher für eine sozial verträgliche Anpassungsmobilität sorgen. Nach den Empfehlungen, die wir im Rahmen der Prognose „Arbeitsmarkt 2030" ausgesprochen haben, gelten drei Maßnahmen als besonders wichtig:

> *„Wenn man anerkennt, dass den gefährdeten Arbeitsplätzen neu geschaffene mit veränderten Tätigkeitsprofilen und Qualifikationsanforderungen gegenüberstehen, sollte das arbeitsmarktpolitische Augenmerk auf die Nutzung der digitalen Technik gerichtet sein."*

a) Ein strukturiertes und zertifiziertes Weiterbildungssystem

Angesichts der schon jetzt spürbaren Engpässe und der sich abzeichnenden Alterung des Arbeitsangebots kann die berufliche Erstausbildung den Fachkräftebedarf keinesfalls abdecken. Die beschleunigte Digitalisierung wird dieses Problem weiter verschärfen, da sie den Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften weiter steigern wird. Es gilt daher, die Erwachsenenbildung als zusätzliche Säule des beruflichen Bildungssystems auszubauen. Bisher ist das deutsche Weiterbildungssystem zersplittert, intransparent und unübersichtlich. Ein allgemein anerkannter Nachweis von Qualifikationen, die außerhalb des formalen Bildungssystems erworben wurden, ist schwierig. Vor allem im Bereich der informellen/prozessimmanenten Weiterbildung muss das Problem gelöst werden, wie Kompetenzen formal anerkannt werden können. Gerade für die berufliche Weiterbildung für produktionsnahe Tätigkeiten wird die Herausforderung darin liegen, zertifizierbare Kompetenzen zu vermitteln und begleitetes bzw. gestaltetes Lernen in den Arbeitsprozessen zu integrieren. Dies kann nicht ohne den Staat gelingen, der Normen

und Grundsätze festlegen und die Organisationsstruktur der Weiterbildung bestimmen sollte. Darüber hinaus wird eine höhere Weiterbildungsbeteiligung nicht ohne finanzielle Unterstützung erreichbar sein.

b) Weiterentwicklung des Flexicurity-Konzepts

Die Arbeitsmarktpolitik kann den Strukturwandel durch die Förderung der beruflichen und regionalen Mobilität einerseits und die Absicherung der Arbeitskräfte während der Transferphasen andererseits unterstützen. Dabei kommt es darauf an, Arbeitslosigkeit und Weiterbildung besser zu verknüpfen, Solo-Selbständige besser abzusichern, Telearbeit und Home-Office zu fördern und die betriebliche Personalpolitik auf langfristige und entwicklungsorientierte Beschäftigungskonzepte auszurichten. Diese Maßnahmen zielen auf die Reduzierung der Risiken bei Arbeitsplatzverlust oder Umstrukturierung und erhöhen die Chancen auf Beschäftigung in den neu entstehenden Arbeitsplätzen der digitalen Wirtschaft. Darüber hinaus wird das Bildungssystem seine Bildungswege besser verbinden müssen, um sich durchgehend zu flexibilisieren und dadurch die notwendige Aufstiegsmobilität zu erreichen. Dabei spielen die Sozialpartner eine wichtige Rolle. Ihnen sollte es gelingen, einen „Neuen Flexibilisierungskompromiss“ zu finden. Er sichert letztlich die Akzeptanz für den beschleunigten Strukturwandel und verringert die Streikrisiken.

c) Integrative regionale Strukturpolitik

Der Arbeitsmarkt ist und bleibt regional, auch wenn sich seine Grenzen durch weltweite Kommunikation aufzulösen scheinen. Wenn man ein weiteres Auseinanderdriften der regionalen Entwicklungstrends verhindern will, sollte man insbesondere in den Problemregionen die wichtigsten Akteure zusammenführen und einen gemeinsamen Ziel- und Maßnahmenkatalog formulieren lassen. Neben den Sozialpartnern gehören dazu die Repräsentanten von Wirtschafts- und Arbeitsförderung, Bildungs- und Forschungseinrichtungen, Infrastrukturanbieter (Telekommunikation, Energiewirtschaft, Bahn- und Straßennetz), sowie die politischen Vertreter der Region. Viele dieser Institutionen werden in Deutschland zentral geführt und die Anpassung an die regionalen Erfordernisse lässt gelegentlich zu wünschen übrig. Eine stärkere Dezentralisierung der Maßnahmensteuerung und vor allem eine bessere Abstimmung der Maßnahmen auf der regionalen Ebene würden der regionalen Strukturpolitik eine größere Schlagkraft verleihen und damit auch die Umsetzung der Digitalisierungsstrategie auf breiter Ebene erleichtern.

Die Zukunft ist offen und gestaltbar, auch wenn die Apologeten der „neuen Technologien“ gelegentlich einen anderen Eindruck zu erzeugen suchen. Die Entwicklungen verlaufen auch meist deutlich langsamer als dies in Technikprognosen vorhergesagt wird. Schließlich ist auch festzustellen, dass die deutsche Wirtschaft auf gutem Weg ist, den Digitalisierungstrend dieses Mal nicht zu verschlafen. Wir haben also Handlungsspielräume und Zeit, uns auf eine sinnvolle Anpassungsstrategie zu einigen und sie umzusetzen. Dazu gehört allerdings ein umfassendes Bild von den wahrscheinlichen Entwicklungstrends. Einseitige Risikoanalysen erscheinen in diesem Zusammenhang eher kontraproduktiv, denn sowohl die Wissenschaft als auch die öffentliche Meinung sollten sich bewusst sein, dass wir nicht erfolgreich sein werden, wenn wir die Chancen vor lauter Risiken übersehen.

Literatur

Bertschek, I.; Ohnemus, J., Niebel, T. (2016): Auswirkungen der Digitalisierung auf die zukünftigen Arbeitsmärkte. In Düll, N. (Hg.) (2016a): Digitalisierung der Arbeitswelt. Fachexpertisen zur Arbeitsmarktprognose 2030. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Bonin, H.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. Kurzexpertise Nr. 57 an das Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Mannheim. Online: http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Kurzexpertise_BMAS_ZEW2015.pdf.

Cardona, M.; Kretschmer, T.; T. Strobel (2013): ICT and Productivity: Conclusions from the Empirical Literature, Information Economics and Policy 25(3), 109–125.

Dengler K.; Matthes B. (2015): In kaum einem Beruf ist der Mensch vollständig ersetzbar. IAB Kurzbericht 24/2015. Online: http://doku.iab.de/kurzber/2015/kb2415.pdf.

Düll, N. (Hg.) (2016a): Digitalisierung der Arbeitswelt. Fachexpertisen zur Arbeitsmarktprognose 2030. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Frey, C.; Osborne, M.A. (2013): The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization? Online: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf.

Kriechel, B.; Vogler-Ludwig, K. (2013): Arbeitsmarkt 2030- Methodenbericht. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld. Vogler-Ludwig K.; Düll N. (2013): Arbeitsmarkt 2030 – Eine strategische Vorausschau auf Demografie, Beschäftigung und Bildung in Deutschland. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Vogler-Ludwig K.; Düll N.; Kriechel B. (2015): Arbeitsmarkt 2030 – Die Bedeutung der Zuwanderung für Beschäftigung und Wachstum. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Vogler-Ludwig K.; Düll N.; Kriechel B. (2016): Arbeitsmarkt 2030 – Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Wolter et al. (2015): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. IAB-Forschungsbericht 8/2015.

# Robocalypse now?

Thorben Albrecht,
Staatssekretär im Bundesministerium für Arbeit

Auf den Bildern sind die Menschen bei der Arbeit umringt von humanoiden Robotern oder längst durch sie ersetzt. So präsentieren uns viele Medien die Zukunft der Arbeit. Und das seit es Roboter in Fabriken gibt. Inhaltlich geht es dann um die Angst vor der Intelligenz der Maschinen und um den Ersatz menschlicher Arbeit durch Automatisierung. Das alles erinnert an die B-Movies aus der Mitte des vergangenen Jahrhunderts. Schlecht gemacht, effekthascherisch, aber höchst unterhaltsam.

Vielleicht ist es kein Zufall, dass diese Filme aus einer Zeit stammen, in der es in den USA bereits eine erste intensive Debatte zur Automatisierung gab, die sich auch im Kern um technikbedingte Arbeitslosigkeit drehte.[1]

Nur: Wenn Sci-Fi mit Realität verwechselt wird, trägt das leider nicht dazu bei, vernünftige Konzepte für die Zukunft zu entwickeln. Das gefährliche an diesen B-Movies zur Zukunft der Arbeit ist nicht nur, dass sie zu einer angstbesessenen Debatte führen. Sondern dass sie vor allem von den eigentlichen Fragen und Problemen ablenken.

Denn die Zukunft der Arbeit wird sehr viel vielfältiger sein, als es der eindimensionale Blick auf die „Herrschaft der Maschinen“ suggeriert. Und ja, es gibt Risiken. Aber eine seriöse Debatte darüber, wie die Arbeit in Zukunft menschengerechter wird, findet nicht statt, wenn wir einem apokalyptischen Technikdeterminismus frönen.

In der deutschen Industrie einschließlich der Industriegewerkschaften gibt es zum Glück keinen alarmistischen Grundton, was ein „Ende der Arbeit“ angeht. Und das obwohl sich bei Industrie 4.0 alles um kollaborative Robotik, vernetzte und selbstlernende Systeme sowie den Einsatz Künstlicher Intelligenz in der industriellen Fertigung dreht.

Wir sollten uns also die Schnittstelle von Mensch und Maschine in der industriellen Produktion der kommenden Jahre einmal genauer ansehen und uns sachlich mit Chancen und Risiken auseinandersetzen.

> *„Wenn Sci-Fi mit Realität verwechselt wird, trägt das leider nicht dazu bei, vernünftige Konzepte für die Zukunft zu entwickeln.“*

Dabei scheint klar, dass sich neue Aufgabenverteilungen auf Basis der jeweiligen situativen und spezifischen Stärken ergeben. Aber auch in der Organisation der Produktion wird es Veränderungen geben: Bislang hierarchisch getrennte, nacheinander ablaufende Teilprozesse werden durch integrierte und gleichzeitig ablaufende sowie dezentrale Verfahren ersetzt. Auch dadurch stellt sich die Frage nach dem Zuschnitt von Aufgaben und der Verteilung von Rollen neu.

Meiner Meinung nach sollte auch in Zukunft der Mensch im Mittelpunkt stehen und das Leitbild Gute Arbeit weiterhin die Richtschnur bleiben. Denn nicht die Einführung neuer, digitaler Technik in der Fabrik entscheidet über die Qualität der zukünftigen Arbeit. Sie entscheidet auch nicht über den ökonomischen Erfolg der Prozessinnovationen. Was morgen Realität wird, hängt außer von der technischen Machbarkeit immer auch von der ökonomischen Rentabilität und von gesellschaftlicher Aushandlung und Ausgestaltung ab.

Zwei idealtypische Szenarien sind dabei vorstellbar:

- In einer stark technikzentrierten Komplementarität von Mensch und Maschine mit weitgehender Automatisierung vieler Arbeitsprozesse wird der „menschliche Anteil“ auf Tätigkeiten reduziert, die aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht automatisiert werden. Der Mensch würde zum bloßen Anhängsel der Maschine. Die Folge wären stark polarisierte Organisationen mit einer geringen Zahl einfacher, hochgradig fremdbestimmt tätiger Arbeitskräfte und einer Gruppe hochqualifizierter Planer, deren Qualifikationsniveau deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau liegt.
- Ebenso möglich ist ein Szenario menschenzentrierter Komplementarität, in dem der Mensch sowohl die gestaltende und entscheidende Autorität als auch der Erfahrungsträger bleibt, während seine Rolle im Arbeitsprozess durch smarte Werkzeuge und Assistenzsysteme

1) Siehe z.B. Warner Bloomberg: The Age of Automation: Its Effects on Human Welfare. League for Industrial Democracy, 1955.

aufgewertet wird. Ein solcher „high road"-Ansatz erscheint mir nicht nur gesellschaftlich wünschenswert, sondern auch ökonomisch vielversprechender.

Eine gestaltende Rolle der Menschen setzt entsprechendes Wissen und Fähigkeiten voraus. Denn es gibt dann keine Trennung von Entwicklung, Steuerung und Ausführung von Produktionsprozessen mehr, sondern eine lockere Vernetzung hochqualifizierter und weitgehend gleichberechtigt agierender Beschäftigter. Im agilen Unternehmen würde der Mensch mit seinen kommunikativen und kreativen Fähigkeiten auf neue Weise in den Mittelpunkt gerückt: Belegschaften müssten daher umfassend befähigt werden, kurze Entwicklungsschritte eigenverantwortlich und mit hoher Dynamik voranzutreiben und auszutesten.

Voraussetzung dafür wäre ein „Upskilling" in allen unternehmerischen Funktionsbereichen. Die Beschäftigtenstruktur in Deutschland bringt dafür gute Voraussetzungen mit, denn die meisten Facharbeiter sind an Komplexität und Veränderung gewöhnt, besonders in den industriellen Kernbranchen wie Automobil oder Maschinenbau. Daran können weitere Qualifizierungsanstrengungen anknüpfen und damit sowohl die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie ausbauen als auch gute und humane Arbeit schaffen.

Im ersten Szenario einer technikzentrierten Gestaltung der Produktion wird das Erfahrungswissen bei zunehmend selbststeuernden Prozessen dagegen nur noch in Ausnahmen, sozusagen „just-in-time", abgerufen. Es ist die „Ironie der Automatisierung", dass der menschliche Überwacher gerade wegen der Automatisierung zunehmend seltener eingreift und dann, wenn es nötig ist, weniger in der Lage ist, die seltener werdenden, aber weiterhin auftauchenden Probleme des automatischen Systems zu lösen. Denn, wenn dieses überfordert ist, braucht es den Menschen, der die Unzulänglichkeiten autonomer Systeme durch sein Erfahrungswissen und per Kommunikation mit den Maschinen zu bewältigen weiß.

Gerade bei selbstlernenden Maschinen, die Prozessdaten für „Predictive Maintenance" nutzen, besteht also die Gefahr, dass die kognitive Entlastung der Arbeitnehmer zu sinkender Aufmerksamkeit und mittelfristig auch zu einer Entwertung von Erfahrungswissen führt. Dies lässt sich nur vermeiden, wenn Beschäftigte nicht isoliert mit Wartungstätigkeiten betraut sind, sondern sowohl in Prozessentwicklung und Steuerung einbezogen werden und regelmäßig weiterqualifiziert werden, möglichst direkt am Arbeitsplatz.

Arbeitsorganisation und Innovationsförderung sowie die Gestaltung von Arbeitsplätzen und Produktionsstätten für mehr Zusammenarbeit sind Elemente, die nicht zuletzt im Hinblick auf dieses Erfordernis einer Veränderung von Führungs- und Unternehmenskulturen bedürfen. Gelingt der Umbruch, bestehen für Beschäftigte Chancen auf ein autonomeres und ganzheitlicheres Arbeiten in stärker selbstverantwortlichen Teams, während die Unternehmen von mehr Innovation und höherer Produktivität profitieren könnten. Vermieden werden müssen hingegen unter anderem Probleme der Entgrenzung und der Verlagerung unternehmerischer Risiken auf die Beschäftigten. Oder anders: „agil" muss mehr sein als „lean" im neuen Gewand.

> *„Gelingt der Umbruch, bestehen für Beschäftigte Chancen auf ein autonomeres und ganzheitlicheres Arbeiten."*

Bei alledem gibt es keine Zwangsläufigkeiten, sondern immer Gestaltungsoptionen in Bezug auf die Unternehmensorganisation. Die betriebliche Mitbestimmung ergänzt um partizipative Konzepte ist eine große Chance, die Unternehmens- und Arbeitsorganisation zukunftsfest unter Beteiligung und Einbeziehung der Kompetenzen der Beschäftigten auszurichten. Wenn neue Formen der Organisation von Arbeit zunehmend die horizontale Wissenskonzentration sowie Mitsprachemöglichkeiten einzelner Beschäftigter und Selbstorganisation in Teams betonen, wird die Stärkung partizipatorischer Elemente auf betrieblicher Ebene zugleich zum wohlverstandenen betrieblichen Interesse. Agile Märkte brauchen agile Entscheidungsprozesse in den Unternehmen, um schnell auf veränderte Kundenwünsche oder andere Markterfordernisse reagieren zu können. Das ist nachhaltig nur unter optimaler Einbeziehung aller Talente, Sichtweisen und Kompetenzen im Unternehmen möglich.

Dies erfordert, Automatisierungsprozesse nicht einfach in bestehende Strukturen „einzupflanzen", sondern sie unter Beteiligung der Mitarbeiter als umfassenden Innovationsprozess zu begreifen, bei dem es nicht nur um Technik, sondern genauso um Prozesse und Arbeitsorganisation geht. Oder um die Soziologin Sabine Pfeiffer zu zitieren: „Die Antwort auf die Frage, wie Industrie 4.0 gestaltet werden soll, liegt in Prozessen sozialer Innovation, die partizipativ und agil organisiert sind."[2] Nur so wird eine menschenzentrierte Komplementarität zwischen Mensch und Maschine gelingen und die vernetzte Industrie zum Gewinn für Wirtschaft und Arbeitsnehmer in Deutschland.

Es gibt also eine Alternative zur „Robocalypse". Aber sie kommt nicht von selbst, sondern ist Ergebnis kluger Unternehmensführung und sozialpartnerschaftlicher Aushandlungsprozesse.

2) Prof. Dr. Sabine Pfeiffer "Soziale Technikgestaltung in der Industrie 4.0", in: BMAS, "Werkheft 01 - Digitalisierung der Arbeitswelt".

# Wir alle werden künftig rascher von gestern sein*

Prof. Dr. Berthold Vogel,
geschäftsführender Direktor SOFI

Digitalisierung ist das zentrale Stichwort in der gegenwärtigen Diskussion um den Wandel der Wirtschafts- und Arbeitswelt. Mit dem Prozess der Digitalisierung sind zunächst sich wechselseitig bestärkende Innovations- und Produktivitätserwartungen verknüpft. Die digitale Transformation der Arbeit soll durch die Verschmelzung von physischer Produktion mit den Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) insbesondere den industriellen Sektor revolutionieren und dafür sorgen, dass die deutschen Unternehmen auf dem Weltmarkt weiterhin eine Führungsrolle einnehmen. Das zentrale und werbewirksame Schlagwort ist hier „Industrie 4.0“. Zugleich versprechen sich nicht wenige, dass mit der Durchdringung der Arbeitswelt mit IKT eine nachhaltige Entlastung von körperlich schwerer und monotoner Arbeit stattfindet. Auch die qualifikatorische Aufwertung von Tätigkeiten sowie die Vergrößerung von Freiräumen der Beschäftigten gehören zum Hoffnungs- und Erwartungsarsenal der Digitalisierungsdebatte. Als neuer Freiraum wird insbesondere die Tatsache gesehen, dass die Ausübung produktiver Arbeit immer weniger davon abhängt, dass sich Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer zu einer bestimmten Zeit an einem vom Arbeitgeber bestimmten Ort aufhalten. Doch auch die Qualität von verwaltenden, kaufmännischen oder personennahen Dienstleistungen soll durch Digitalisierung wachsen. Arbeitsabläufe können effizienter und präziser gestaltet werden. Algorithmen kennen keine menschlichen Schwächen. Die öffentliche Verwaltung wird bürgernäher, kaufmännische Leistungen werden exakter und personennahe Dienste sind buchstäblich kalkulierbar und verlieren an Willkür.

Auf der anderen Seite verbindet sich mit der Digitalisierung die besorgte Erwartung massiver Arbeitsplatzverluste sowie einer Formalisierung und Fremdbestimmung von Arbeitsprozessen. Hinzu kommt die Angst vor allumfassender Kontrolle der Arbeitsleistungen der Beschäftigten. Wer setzt dem Datenhunger der Unternehmen Grenzen und wer schützt vor ungewollter Transparenz in Zeiten von Big Data? Damit verknüpft sind Erfahrungen der Verdichtung der Arbeit sowie eine neue Untrennbarkeit von Arbeitszeit und arbeitsfreier Zeit. Alles ist Arbeit und Arbeit ist alles. Im Spektrum dieser Digitalisierungserwartung spielen neue Techniken der Automatisierung, der permanenten Erreichbarkeit und der Kontrolle von Leistung und Verhalten der Beschäftigten ebenso eine Rolle wie die Erosion gewachsener betrieblicher Strukturen mit negativen Konsequenzen für die Vertretung von Beschäftigteninteressen durch Betriebsräte. Digitalisierung ist dann der letzte Schritt in der autoritären Verfeinerung der Kontroll- und Disziplinargesellschaft.

An dieser Stelle ist nun gar nicht zu entscheiden, welche Entwicklung in welcher Weise kommen wird. Klar ist nur, dass die Fragen nach den positiven oder negativen Wirkungen des technologischen Wandels oftmals lineare Entwicklungen und klar abgrenzbare Szenarien unterstellen. Hierin spiegelt sich die eindimensionale Vorstellung: Der Anfangsimpuls bestimmt das Folgende. Technische Entwicklungen provozieren Zwangsläufigkeiten und nicht mehr revidierbare Sachzwänge. Dieses Denken in Linearitäten ist in positiver wie negativer Hinsicht fasziniert von den zweifellos rasanten Fortschritten in der IKT. Ob unbewusst oder interessengeleitet unterstellt diese Sichtweise, dass die Veränderungen der Arbeitswelt im Wesentlichen durch technologische Weiterentwicklungen vorangetrieben werden.

> *„Digitalisierung ist ein Prozess, der einer aktiven Gestaltung bedarf.“*

Mit Blick auf die sozialwissenschaftliche Forschung sollten freilich nicht Linearitäten, sondern Konflikte mit Blick auf Digitalisierungserwartungen im Vordergrund stehen. Digitalisierung ist dann kein ablaufendes Programm, sondern ein zukunftsoffenes und konfliktreiches Geschehen, dessen produktive Bearbeitung zum Beispiel auf der jeweiligen betrieblichen Ebene keineswegs nur von technischen Gegebenheiten oder Managementstrategien abhängt. Vielmehr ist Digitalisierung ein Prozess, der einer aktiven Gestaltung unter Einbeziehung der Beschäftigten bedarf, um sowohl die erhofften Produktivkraftsprünge als auch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen nachhaltig herbeizuführen. Es ist davon auszugehen, dass eine Veränderung der Arbeitswirklichkeit durch betriebliche Digitalisierungsprozesse ohne damit einhergehende Konflikte nicht zu haben ist. Deshalb kommt es darauf an, wie diese Konflikte bearbeitet werden und ob sie sich produktiv oder destruktiv auf Betrieb und Arbeitsklima, auf Arbeitsbeziehungen und Beschäftigte unterschiedlicher

1) Hermann Lübbe ‚Ernst und Unernst der Zukunftsforschung‘. 1969

Statusgruppen auswirken. Dieser Annahme des Vorhandenseins und der Wirkkraft produktiver und destruktiver Konflikte liegt eine soziologische Denktradition zugrunde, die Konflikte prinzipiell als positive Momente des Wandels konzipiert. Es gilt, Konflikte nicht zu vermeiden, sondern zu gestalten. Allerdings bedarf es „hegender" Institutionen, die beispielsweise mit Hilfe des Rechts oder aufgrund sozialkultureller Konventionen (Traditionen, Religion, Habitus) geschaffen werden, damit Konflikte konstruktive Wirkungen entfalten können.

Resümiert man den Zwischenstand der Digitalisierungsdebatte und die mit ihr verknüpften Hoffnungen, Ängste und Konflikte, so passt das Lübbe-Zitat aus der Dachzeile dieser Textskizze recht gut in die Stimmung unserer Zeit: Wir alle werden künftig rascher von gestern sein. Diese Formel besitzt – exemplarisch mit Blick auf Smartphone und Textverarbeitungsprogramm – starke alltagsweltliche Evidenz. Doch vielleicht sollten wir uns von Erwartungen und Stimmungen, Szenarien und Entwicklungspfaden nicht zu sehr beeindrucken lassen. Denn was ist der Status von Erwartungen? Der Bielefelder Historiker Joachim Radkau beschreibt in seiner aktuellen, klugen und zu guten Teilen amüsant zu lesenden Studie zur „Geschichte der Zukunft" (vgl. Radkau 2017), dass sich in den Zukunftserwartungen einer Gesellschaft deren Gegenwart spiegelt. Die Antworten auf die Fragen „Was dürfen wir erwarten", „Was können wir hoffen" und „Was müssen wir befürchten" sind Auskünfte über die Deutung, die Interpretation und die Bearbeitung der Gegenwart. Um als Historiker die Gegenwart vergangener Zeiten verstehen zu können, muss man sich, so Radkau, die Zukunftserwartungen der jeweiligen Zeitgenossen genauer anschauen. Die Zukunftsszenarien sind dann Projektionen gegenwärtiger Wünsche und Sorgen, ja, auch gegenwärtiger Stimmungen und Eindrücke, die durch den Blick in die Zukunft Systematik erlangen sollen.

In diesem Tenor sammelt Radkau allerlei interessante und bisweilen irritierende Fundstücke aus der Zukunftsliteratur der letzten 70 Jahre. Radkau zitiert beispielsweise eine 1957 viel beachtete Schrift von Louis Emrich „Fabriken ohne Menschen – Unsere Zukunft im Zeichen der Automation". Dort schreibt Emrich: „Im Zeitalter der Automation tritt eine völlig andere Welt in die Schranken und verschafft sich Geltung. Sie wird in den entscheidenden Fragen grundverschieden sein von der von gestern und heute. Wer in diesen Jahren eines neuen großen Stirb und Werde den Anschluss an die neue Zeit verpasst, wird kaum zu den Gewinnenden der Ära der Automation zählen. … Wer das Wagnis unternimmt, sich ihr entgegenzustemmen, wird zur Seite geschoben; wer dem Rad der Entwicklung in die Speichen greift, wird zu Boden gerissen und überfahren. Die Automation ist eine Macht, die an Energie, Größe und Vorwärtsstürmen nicht ihresgleichen hat. Sie greift auf allerbreitester Basis weit in die Zukunft vor. Sie ist selbst Zukunft!"

Wenn wir Automation durch Digitalisierung ersetzen, dann sind wir sofort in der Gegenwart. Gestern wie heute scheinen wir einer unausweichlichen technologischen Beschleunigung gegenüber zu stehen. Das Gefühl und die Gewissheit, in Zeiten starken Wandels zu leben, springt uns hier entgegen. Man könnte auch sagen, dass damals wie heute mit Blick auf Technik und Gesellschaft eine marxistische Eschatologie im Spiel ist: Alles Bestehende verdampft. Tatsächlich spiegeln sich in dieser Zukunftserwartung die technologische Dynamik der Gegenwart und die damit verknüpfte Hoffnung, dass uns die Lästigkeiten dieser Welt bald abgenommen werden. Wir leben auch heute in Digitalisierungserwartung und weniger in Digitalisierungserfahrung. Das gilt für selbstfahrende Autos, für vollautomatisierte Pflegeroboter, für miteinander kommunizierende Dinge in den „smart homes" oder für eine Welt voller Lieferservices, in denen Einkaufsmärkte nur noch museale Relikte sind. Ob das alles so und nicht anders kommen mag – wer weiß es schon. Wir wissen nur, dass all die genannten technologischen Veränderungen schon heute Streit und Konflikt provozieren sowie mit einer Reihe insbesondere rechtlicher Unklarheiten einhergehen.

Dennoch: Im Unterschied zur Automatisierungsdebatte der 1950er und der Folgejahre greift die Digitalisierung über das Smartphone oder über die sich exponentiell steigernden Speicherkapazitäten in der Datenbearbeitung unmittelbar in unseren Alltag, ja, in unser Menschsein ein. Die Frage, wie wir miteinander in Beziehung treten, mit wem wir auf welche Weise kommunizieren und wie sehr wir unser soziales Umfeld kontrollieren und im Griff haben, wird paradigmatisch durch die Nutzung des Smartphones aufgeworfen. Digitalisierung ist daher nicht nur eine technologische, sondern eben auch eine anthropologische Herausforderung. Insofern spiegeln sich in Digitalisierungserwartungen nicht nur Fragen der künftigen Gestaltung von Erwerbsarbeit, sondern auch soziale Fragen nach den Formen sozialer Beziehungen, nach den Prinzipien des Zusammenlebens, nach der Gestaltung des Gemeinwohls. Es geht dabei keineswegs um abstrakte Spaltungslinien und Fragmentierungen der Gesellschaft, sondern auch um das Gefühl und die Erfahrung, ob wir noch Herren im Hause unseres eigenen Lebens sind. Fragen dieser Art treffen dann nicht nur die Rationalisierungsgefährdeten oder die Bildungsverlierer, sondern auch und in besonderer Weise die gut qualifizierte sowie beruflich orientierte Mittelschicht.

Alles in allem gilt es festzuhalten: In den Digitalisierungserwartungen spiegeln sich nicht technologische Sachzwänge, sondern gesellschaftliche Gestaltungs- und Aushandlungsprozesse. Wir selbst tragen zweifelsohne die Verantwortung dafür, welcher Typus von Erwerbsarbeit, welche Ausprägungen sozialer Fragmentierung, aber auch welche Emanzipationspotentiale sich mit dem Prozess der Digitalisierung verbinden und erwarten lassen. Kein Internet der Dinge und kein Algorithmus dieser Welt werden uns aus dieser Verantwortung entlassen. Und das ist gut so.

Literatur

Louis Emrich (1957): Fabriken ohne Menschen – unsere Zukunft im Zeichen der Automation, Wiesbaden.
Hermann Lübbe (1969): Ernst und Unernst der Zukunftsforschung, in: Merkur. Jg. 23, H.250, S. 126.
Joachim Radkau (2017): Geschichte der Zukunft. Prognosen, Visionen, Irrungen in Deutschland von 1945 bis heute, München.

Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion

# Roboter – Assistenz-Systeme – Künstliche Intelligenz:

Dieser Konferenzband entstand im Rahmen der gleichnamigen Tagung des IGZA in Zusammenarbeit mit dem IG Metall Vorstand, Ressort Zukunft der Arbeit. Zentrum der öffentlichen Konferenz Anfang Juni am Bodensee war der Dialog von Expertinnen und Experten aus den Bereichen Robotik, Künstliche Intelligenz und Digitalisierung.

Dieser Tagungsband ist auch unter www.igza.org verfügbar.

**Weitere Publikationen des IGZA:**

Geschichte und Zukunft der Produktivität: Ende oder Halbzeit eines großen Spiels?
Working Paper #2: Cornelius Markert, Horst Neumann, Marc Amlinger (November 2017).
Download http://igza.org/wp-content/uploads/2017/11/IGZA-Arbeitspapier-3.pdf

Deutschland 2040: 10 Thesen zu Arbeitsmarkt und Rente, Demografie und Digitalisierung.
Marc Amlinger, Christian Kellermann, Cornelius Markert, Horst Neumann (Juni 2017).
Download http://igza.org/wp-content/uploads/2017/06/IGZA-Arbeitspapier-1.pdf

## Das Institut für die Geschichte und Zukunft der Arbeit

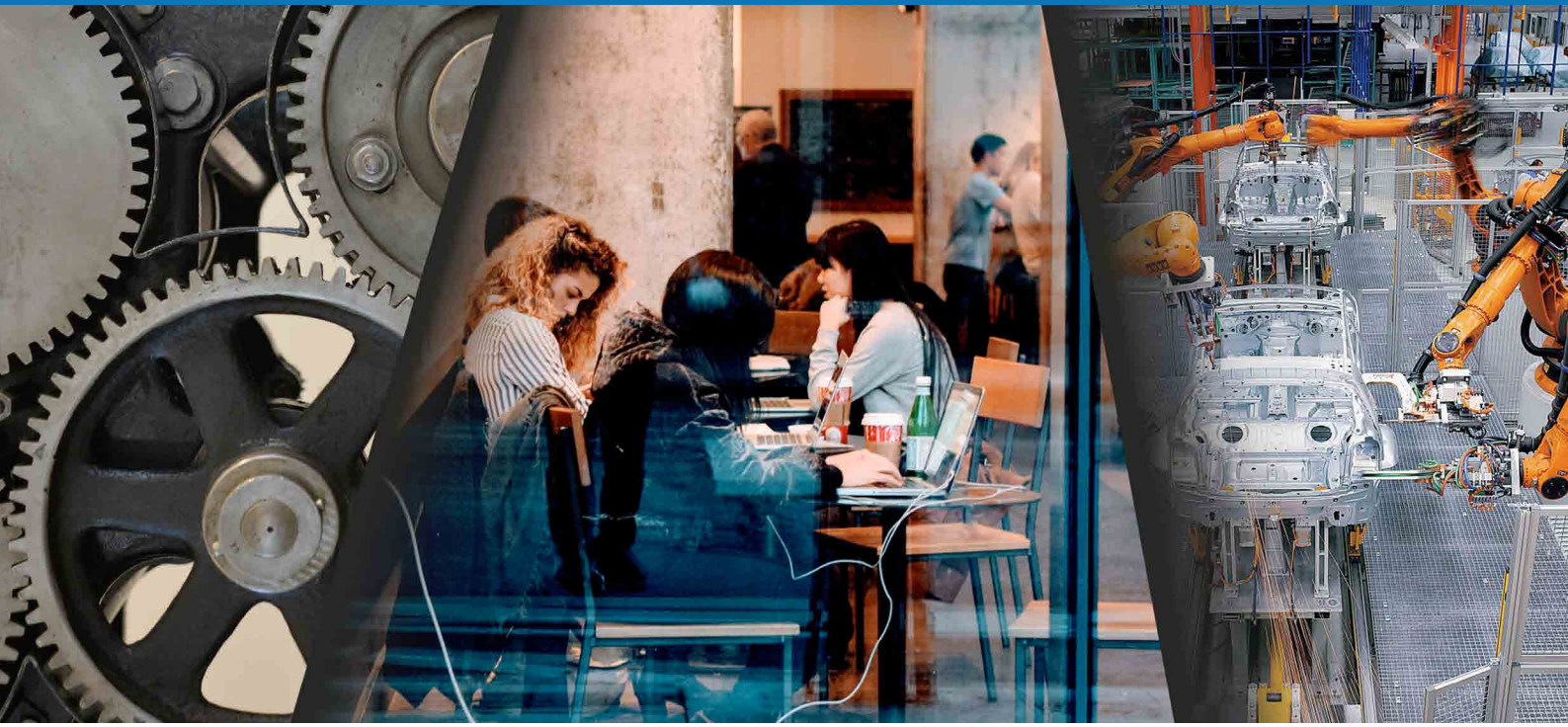
Das IGZA ist ein interdisziplinäres Institut zur Erforschung der Geschichte und Zukunft der Arbeit. 2015 als gemeinnützige Stiftung von Elke Eller und Horst Neumann gegründet, finanziert das IGZA aus seinen Mitteln eigene Forschung und fördert wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen seiner Forschungsprojekte.

IGZA
INSTITUT FÜR DIE GESCHICHTE UND ZUKUNFT DER ARBEIT

**IMPRESSUM**

**HERAUSGEBER**
Institut für die Geschichte und Zukunft der Arbeit
Alte Jakobstr. 149
10969 Berlin
www.igza.org

**REDAKTIONELLE VERANTWORTUNG**
Dr. Christian Kellermann, Geschäftsführer des IGZA

**GESTALTUNG**
KP Wolf Kommunikation, Berlin

Stand: Januar 2018