



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

Statusreport

Arbeitswelt Industrie 4.0

November 2016

Vorwort

Dieser Statusreport richtet sich an Unternehmen, Politik und Verbände, die die digitale Transformation in produktionsnahen Bereichen gestalten, und dabei in besonderem Maße arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse berücksichtigen möchten.

Der Fachausschuss 7.22 „Arbeitswelt Industrie 4.0“ hat sich in seiner Arbeit zentral mit der Leitfrage „Wie sieht die Arbeitswelt in Industrie 4.0 aus?“ auseinandergesetzt. Auf dem Weg zu einer Antwort auf diese Frage wurden vom Fachausschuss folgende Aspekte diskutiert:

- 1 Trends und Treiber der Digitalisierung,
- 2 aktuelle Entwicklungsperspektiven zum Thema Digitalisierung und Arbeit,
- 3 Beschreibungsdimensionen für menschliche Arbeit im Kontext der Digitalisierung,
- 4 mögliche Gestaltungsspielräume und bestehende Forschungsbedarfe sowie
- 5 aktuelle Beispiele und Umsetzungsprojekte an denen mögliche Veränderungen der Arbeitswelt verdeutlicht werden.

Die einzelnen Aspekte werden wie folgt verstanden:

- 1 Treiber der Digitalisierung sind längst nicht nur technologische Entwicklungen aus dem Bereich der Digital- und Informationstechnik – auch Unternehmen mit neuen Geschäftsmodellen treiben die Digitalisierung mit neuen Services und Produkten voran. Aber auch die Menschen selbst, allen voran die Generation Y, mit ihren Bedürfnissen und Verhaltensweisen formulieren Wünsche nach neuen Lösungen und Möglichkeiten der digitalen Unterstützung im alltäglichen Leben und Arbeiten.
- 2 „Intelligente Systeme“ durchdringen zunehmend unsere Arbeitswelt. Ziel ist eine Erhöhung der Produktivität und Flexibilität der Beschäftigten. Diese Systeme werden sich nach und nach sowohl auf die Wissens- als auch die Produktionsarbeit auswirken. Verschiedene Szenarien werden hierbei diskutiert und reichen von der Zunahme an Assistenzsystemen, um menschliche Arbeit physisch und kognitiv besser zu unterstützen, bis hin zu Automatisierungsszenarien, in denen einzelne Tätigkeiten vollständig von Maschinen oder Softwarealgorithmen übernommen werden. Aus diesen technologischen Entwicklungen entstehen Handlungsbedarfe auch auf menschlicher und organisatorischer Seite:

- Um den Auswirkungen und neuen Anforderungen der Digitalisierung Rechnung zu tragen, benötigen wir verstärkt Bildungsanstrengungen in Schulen, Hochschulen sowie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung, um einerseits neue Qualifikationen für den Umgang mit digitalen Medien zu erwerben als auch Beschäftigte auf neue Tätigkeiten vorzubereiten.

- Auf der organisatorischen Seite müssen Unternehmen flexibler und agiler werden, um mit den technologischen Entwicklungen Schritt zu halten. Hierzu zählen die unternehmensinternen Strukturen und Prozesse, die technischen Voraussetzungen, gesetzliche Rahmenbedingungen (z. B. die Betriebsverfassung, das Arbeitszeitgesetz oder das Arbeitsschutzgesetz) sowie die Mentalität, Bedürfnisse und Interessen der Belegschaft.

- 3 Um Auswirkungen und Gestaltungsspielräume menschlicher Arbeit umfassend und systematisch im Kontext der Digitalisierung zu diskutieren, ist es notwendig ein handlungsleitendes, ganzheitliches Beschreibungsmodell mit relevanten Dimensionen und Entwicklungsperspektiven an der Hand zu haben. Hierzu wurde das Beschreibungsmodell für Arbeit des Fraunhofer IAO herangezogen, das die folgenden Dimensionen enthält [1]:

- Arbeitsziel
- Arbeitstätigkeit
- Arbeitsort
- Arbeitsmittel
- Organisation
- Qualifizierung
- Beschäftigung
- Führung
- Mensch

Je Dimension wurden im Fachausschuss mögliche Entwicklungsrichtungen diskutiert (siehe Kapitel 2).

- 4 Die grundlegende Fragestellung zur Gestaltung einer Arbeitswelt 4.0 betrifft die Geschwindigkeit und den Umfang von Digitalisierung und Automatisierung.

Hierbei befinden wir uns in dem Dilemma, dass einerseits heute Digitalisierung und innovative Automatisierung vor allem bei kleinen und middle-

ren Unternehmen wesentlich langsamer erfolgen als vielfach erwartet [2; 3]. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass vom Markt akzeptierte Lösungen (von Wettbewerbern) sehr schnell in die eigenen Unternehmensprozesse umgesetzt werden müssen. Um die Chancen der Digitalisierung für Unternehmen und Beschäftigte erfolgreich nutzen zu können, wird in Kapitel 3 der hierfür notwendige Handlungsbedarf in Form eines 12-Punkte-Plans vorgestellt.

- 5 Schließlich wird anhand mehrerer Beispiele aus aktuellen Forschungs- und Umsetzungsprojekten im Kontext Industrie 4.0 gezeigt, für welche betrieblichen Funktionsträger und Tätigkeiten in Unternehmen sich Aufgaben ändern könnten.

Düsseldorf im November 2016



Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Wilhelm Bauer,
Vorsitzender des GMA-Fachausschusses 7.22
„Arbeitswelt Industrie 4.0“ und
Leiter des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO Stuttgart

Inhalt

Vorwort	1
1 Arbeitswelt Industrie 4.0 - Transformation im Kontext der Digitalisierung	4
1.1 Ausgangspunkt: Trends und Treiber der Digitalisierung	4
1.2 Mögliche Entwicklungsperspektiven für Arbeit	4
2 Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“	7
2.1 Modellstruktur und relevante Beschreibungsdimensionen für Arbeitssysteme	7
2.2 Arbeitsziel	7
2.3 Arbeitstätigkeit	8
2.4 Arbeitsmittel	9
2.5 Arbeitsort	10
2.6 Organisation	10
2.7 Qualifizierung	11
2.8 Beschäftigung	12
2.9 Führung	13
2.10 Mensch	13
3 Umsetzung einer Arbeitswelt 4.0	15
3.1 Gestaltungsspielräume für die Umsetzung einer Arbeitswelt 4.0	15
3.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf	16
3.3 Beispiele und Anwendungsfälle für Industrie 4.0	17
3.4 Beispiel 1: Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen für die flexible Produktion in modularen Prozessanlagen	18
3.5 Beispiel 2: CyProS - Assistenzsystem für die variantenreiche Montage	19
3.6 Beispiel 3: KapaflexCy - Flexible Kapazitätssteuerung mittels Social Media	21
3.7 Beispiel 4: SozioTex- Bedienung von Webmaschinen	22
3.8 Beispiel 5: SmARPro - Erweiterte Horizonte durch den Einsatz von Wearables in der Logistik	24
3.9 Beispiel 6: motionEAP - Assistenzsysteme für manuelle Montage- und Kommissioniertätigkeiten	25
3.10 Beispiel 7: MANUSERV - Industrielle Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage	28
Autoren	34
Literatur	35

1 Arbeitswelt Industrie 4.0 – Transformation im Kontext der Digitalisierung

1.1 Ausgangspunkt: Trends und Treiber der Digitalisierung

Digitale Revolution oder Evolution, keiner weiß mit Bestimmtheit, wie der Wandel von statten geht. Sicher ist nur, dass er mit einer großen Dynamik stattfindet, denn wir sind schon mittendrin. Drei wesentliche Elemente werden unsere Lebens- und Arbeitswelt tiefgreifend verändern:

- 1 wir Menschen selbst mit unseren Bedürfnissen, Einstellungen und Interessen,
- 2 neue – teilweise disruptive – Geschäftsmodelle und Strategien sowie
- 3 die Technologie – allen voran die Digital- und Informationstechnik.

In Bezug auf die Menschen ändern sich vor allem die Anforderungen der jungen Menschen, die mit hoher IT-Affinität digital sozialisiert und „always online“ sind und mit Digitaltechnik geradezu emphatisch umgehen: Eine große Affinität in der Nutzung von Apps aus dem Internet und Plattformen, von Chatrooms, WhatsApp, Twitter und Co., die gemeinsame Nutzung von Daten und Ressourcen – also Sharing – ist Ausdruck ihrer Einstellungen und Bedürfnisse.

Gleichzeitig sind die Anforderungen von Menschen zu erfüllen, die diese Affinität zum Digitalen aufgrund von Alter oder Qualifikation so nicht haben. Auf dem Weg in die zukünftige digitale Welt müssen wir sorgsam darauf achten, Menschen aller Qualifikations- und Altersklassen mitzunehmen. Dies setzt selbstverständlich deren Einsatzbereitschaft und Motivation voraus, auch mitzugehen, und dabei ebenfalls zu investieren und Verantwortung zu übernehmen. Es braucht also einen differenzierten Ansatz für alle Teile unserer Gesellschaft. Der Trend zur Digitalisierung ist zudem kein singuläres Phänomen sondern wird zusätzlich durch gesellschaftliche Entwicklungen wie beispielsweise einer zunehmenden Individualisierung oder auch demografische Entwicklungen zunehmend beeinflusst.

Der zweite radikale Wandel vollzieht sich in den Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen mit teils disruptivem Charakter. Plattformstrategien scheinen besondere Bedeutung zu erlangen und smarte Produkt-Service-Lösungen – Everything-as-a-Service –

sind immer mehr gefragt. Aktuelle Stichworte in dieser Diskussion sind im Bereich Mobilität z. B. Sharing und Smart Mobility, im Bereich Energieversorgung z. B. Smart Grid und Smart Metering, und im Bereich der Produktion z. B. autonome Logistik, Individualisierung, Losgröße Eins, On-Demand-Production oder Self-Servicing.

Dritter Treiber sind technische Innovationen der digitalen Vernetzung. Zentral dabei sind unter anderem die Verfügbarkeit von immer preiswerterer Sensorik (z. B. Kamera- und Radarsysteme), personalisierte Mobile Devices, immer leistungsfähigere Algorithmen und eine immer umfassendere Datenverarbeitung. Big Data, Data Analytics und Cloud Computing sind die aktuellen Stichworte dazu.

1.2 Mögliche Entwicklungsperspektiven für Arbeit

Die Interpretation und schnelle Nutzung von Daten lassen Maschinen immer leistungs- und reaktionsfähiger werden. Autonome Systeme halten mehr und mehr Einzug in unsere Lebens- und Arbeitswelt, wie beispielsweise die aktuelle Diskussion um autonomes Fahren zeigt. Solche „intelligenten“ Systeme werden wir als Assistenz- und Expertensysteme vermehrt in der Wissens- und Büroarbeit erleben, in der Dienstleistung als Smart-Service-Systeme und in der Fabrik und Logistik z. B. als mit Menschen kooperierende Montageroboter und Logistiksysteme. Wichtige Bestandteile für die Akzeptanz dieser Lösungen sind Datenschutz und Datensicherheit.

Das Besondere daran ist, dass diese neuen intelligenten Systeme menschenähnlich agieren und interagieren werden. Wir werden ganz neue Formen der Maschine-Maschine- und der Mensch-Maschine-Kooperation erleben. Zukünftige Systeme werden Sprache und Gestik nutzen – das was uns Menschen angeboren ist. Die Wertschöpfung wird in einer neuen Form der Arbeitsteilung erbracht werden können.

Diese Entwicklungen können unsere Arbeit – auf längere Sicht betrachtet – erheblich verändern. Andrew McAfee und Erik Brynjolfsson vom MIT nennen diese erwartete Entwicklung „The Second Machine Age“ [4]. Zukünftig können zahlreiche bislang von Menschen

durchgeführte standardisierte Prozesse und Routine-tätigkeiten von Maschinen und Software übernommen werden. Hierzu zählen sowohl Tätigkeiten aus der Büro- als auch der Fabrikarbeit. Amerikanische Studien sagen voraus, dass in den nächsten 10 bis 20 Jahren 47 % der heutigen Jobs ein hohes Risiko besitzen, durch Digitalisierung und Automatisierung ersetzt zu werden [5]. Eine Studie des IAB hat für Deutschland kürzlich den Verlust von 490.000 Arbeitsplätzen in den nächsten zehn Jahren durch die Digitalisierung prognostiziert [6]. Im gleichen Zeitraum sollen den Autoren zufolge aber auch 430.000 neue Jobs entstehen, mit veränderten Arbeitsinhalten und Qualifikationsanforderungen.

In der Qualifizierung für die Arbeit in digital vernetzten Prozessen und Systemen liegt eine große, vielleicht die größte gesellschaftliche Herausforderung, um unser Land zukunftsfest zu machen. Wir brauchen zusätzliche Bildungsanstrengungen in Schulen und Hochschulen und in der beruflichen Qualifizierung (Aus- und Weiterbildung). Und auch jeder Einzelne muss für sich für seine Beschäftigungsfähigkeit im digitalen Zeitalter engagieren.

Gerade die tragende Säule für Beschäftigung in Deutschland, der deutsche Mittelstand, steht hier vor einer großen Herausforderung. Laut IHK-Unternehmensbarometer gehen 95 % der befragten Geschäftsführer von KMU davon aus, dass die Digitalisierung ihr Geschäft und die Arbeit in ihrem Unternehmen stark verändern wird. Gleichzeitig fühlen sich aktuell weniger als 20 % dafür gut aufgestellt [7]. Ein Grund dafür kann mangelnde Kompetenz der Belegschaft sein. Nicht ausreichende Kompetenz wird auch beim Management in den Betrieben gesehen. Ein weiteres ganz wesentliches Merkmal der genannten Veränderungen hin zu einer Wirtschaft 4.0 und einer Arbeit 4.0 ist die zunehmende Dynamik der Wirtschaft. Sehr häufig ist in diesem Zusammenhang die Rede von der agilen Organisation, die sich dynamisch und erfolgreich an veränderte Rahmenbedingungen anpasst. Spätestens hier zeigt sich die entscheidende Rolle, die Flexibilität zukünftig einnehmen wird. Im Besonderen findet die Diskussion zum Thema Flexibilität im Kontext der Arbeitszeiten, veränderter innerbetrieblicher Arbeitsprozesse sowie Veränderungen der Qualifikationsanforderungen statt.

Die hohe Bedeutung von Flexibilität folgt zum einen aus den Anforderungen des zunehmend globalisierten und digitalisierten Wirtschaftsgeschehens [8; 9], zum anderen aber auch aus den Bedürfnissen und Bedarfen der Beschäftigten. Der Wunsch, mobil und von zu Hause aus arbeiten zu können sowie ausreichende Freiheiten bei Arbeitszeiten und Arbeitsorten zu

haben, ist weit verbreitet. Gründe liegen beispielsweise im Wunsch einer guten Vereinbarkeit von Familie und Beruf oder im Betreuen von ganz jungen und zunehmend auch älteren Angehörigen. Eine Reihe von Unternehmen haben bereits Betriebsvereinbarungen geschlossen, die den Rahmen für die individuelle Wahl der Arbeitszeit regeln. Vermehrt wird diese Regelung auf die Wahl des Arbeitsorts erweitert. Voraussetzung hierfür ist, dass mobiles Arbeiten und Präsenz im Sinne einer Vertrauenskultur optimal gestaltet wird.

Um bessere flexiblere Lösungen für Unternehmen und Beschäftigte zu erreichen, müssen die gesetzlichen und tariflichen Rahmenbedingungen geklärt werden. Arbeitgeber und Gewerkschaften sind gefordert, innovative Regelungen für Arbeitszeitmodelle und mobile Arbeitsformen zu finden und damit zuverlässige und genügend Gestaltungsspielraum bietende Leitplanken für Vereinbarungen auf betrieblicher Ebene zu schaffen. Die Beteiligung der Beschäftigten kann ein wichtiger Beitrag für ihre gute Ausgestaltung sein.

Bundesarbeitsministerin Andrea Nahles hat mit dem Grünbuch „Arbeiten 4.0“ unter anderem den Diskurs zum Thema Flexibilität gestartet, den sie in einem Arbeitszeitdialog fortsetzen will. Es bleibt zu hoffen, dass dieser Weg auch mit der nötigen Konsequenz gegangen wird. Im Sinne der geschilderten Entwicklungen sind in jedem Fall größere Flexibilitätskorridore wünschenswert, die den Bedarfen der Unternehmen entsprechen und durch den Aushandlungsprozess in den Betrieben gestützt und gefördert werden.

Ein zweiter Flexibilitätsaspekt entsteht aus dem Innovationsgeschehen in den Unternehmen. Immer mehr Unternehmen binden neue Ideen und Impulse für Produkte und Services von extern ein. Die Zusammenarbeit mit Start-ups, die temporäre Kooperation mit Selbstständigen, mit Studierenden, Hochschulen und Forschungseinrichtungen nimmt derzeit stark zu. Der digitale Arbeitsmarkt wird demzufolge eine noch größere Bandbreite an flexiblen Arbeitsverhältnissen ausprägen.

Die digitale Transformation eröffnet eine Vielfalt an Chancen für unsere Unternehmen, für die Beschäftigten, für unsere Gesellschaft insgesamt.

Prognosen sagen allein durch Industrie 4.0 ein wirtschaftliches Wachstumspotenzial in Milliardenhöhe voraus (vgl. Bild 1).

Wenn wir in dieser zukünftigen Economy 4.0 erfolgreich sein wollen, müssen wir uns auf die beschriebenen Entwicklungsmöglichkeiten schnellstmöglich einstellen und Gestalter sein. Bekannte Internetunter-

nehmen und ehemalige Start-Ups wie Google, Apple und Facebook haben eindrücklich gezeigt, welche Auswirkungen Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung haben können, und nicht nur im Silicon Valley, sondern auch in China oder in Indien wächst die Dynamik, mit der neue Ideen entstehen.

Wir können die mit der Digitalisierung verbundenen Risiken und Herausforderungen nur als konstruktiv gestaltende Akteure bearbeiten und dem Wandel eine positive Richtung im Sinne der Stärkung von wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit und gesellschaftlicher Wohlfahrt geben.

McKinsey (2013)	Ca. 145 Mrd. Euro (übergreifend Internet der Dinge)	Sehr grobe und optimistische Schätzung
Roland Berger (2014)	Mindestens ca. 20 Mrd. Euro (ohne Berücksichtigung von Überwälzungseffekten)	Konservative Schätzung
BITKOM (2014)	Ca. 28 Mrd. Euro	Optimistische Schätzung
PwC (2014)	Ca. 30 Mrd. Euro	Optimistische Schätzung

Bild 1. Industrie 4.0 – Prognostiziertes volkswirtschaftliches Potenzial (pro Jahr) für Deutschland [11 bis 15]

2 Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“

Digitalisierung und Automatisierung beeinflussen schon heute die Gestaltung unserer Arbeitssysteme, da unter anderem die Leistungsfähigkeit der Arbeitssysteme immer stärker von der Gestaltung der Informationsflüsse abhängt. Global vernetzte Wertschöpfungsketten, fortschreitende Kundenintegration und eine anhaltende Reduzierung der Lieferzeiten sind für diese Verschiebung hauptverantwortlich.

Digitale Arbeitsmittel haben längst Einzug in unseren Arbeitsalltag gehalten; im Unterschied zu früher in Form von direkt in den Arbeitsprozess integrierten Assistenten. Smartphones, Leichtbauroboter und individuell einstellbare Arbeitsplätze sind dabei nur die Vorboten einer durchgehenden digitalen Vernetzung.

Digitalisierung und Automatisierung beeinflussen unsere Arbeitswelt vor allem durch die Veränderungen von Arbeitsorganisation, Führung und notwendigen Kompetenzen, die durch bereits heute nutzbare Formen vernetzter Zusammenarbeit entstehen. Nicht zuletzt ändert sich die Erwartungshaltung der Beschäftigten. Die betriebliche Nutzung privat akzeptierter Medien und Hilfsmittel wird zu einem der wesentlichen Gestaltungstreiber unserer Arbeitswelt.

Da dieser Prozess zeitlich schwer vorhersehbar, multioptional und hochgradig vernetzt abläuft, stellt der erste Schritt zu seiner Gestaltung eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme der betroffenen Dimensionen der Arbeitswelt und ihrer erwarteten Entwicklungsrichtung dar. Grundlage dafür ist ein Modellansatz, als Beitrag zur aktuellen Diskussion um die Zukunft von Arbeit und Beschäftigung, der Arbeit in Form der wesentlichen durch Digitalisierung und Automatisierung betroffenen Veränderungs- und damit verbundenen Gestaltungsbereiche beschreibt. Allgemein soll das Beschreibungsmodell dazu beitragen, die folgende Arbeitshypothese zu überprüfen:

Digitalisierung und Automatisierung ermöglichen Produktivitätssteigerungen einerseits durch eine Substitution von Arbeitstätigkeiten und andererseits durch die Entwicklung von Assistenzsystemen zur Unterstützung und Erhöhung der Produktivität der Beschäftigten.

2.1 Modellstruktur und relevante Beschreibungsdimensionen für Arbeitssysteme

Ziel des Beschreibungsmodells ist einerseits die kurzfristige Abbildung von Entwicklungsrichtungen und andererseits langfristig die qualitative sowie quantitative Abschätzung von Auswirkungen sowie die Entwicklung durchgängiger Transformationspfade einer digital vernetzten Arbeitswelt [15]. Ziel des vorliegenden Beschreibungsmodells der Arbeitswelt Industrie 4.0 ist es nicht, die bestehenden Modellierungsansätze zu ersetzen; vielmehr fokussiert das vorliegende Modell die besonders von Digitalisierung und Automatisierung betroffenen Gestaltungsbereiche.

2.2 Arbeitsziel

Das Arbeitsziel eines Arbeitssystems beschreibt das primäre Ziel der Summe der Arbeitstätigkeiten unter Einhaltung der bestehenden internen und externen (Markt, Wettbewerb, Gesetzgebung, akzeptierte Normen) Randbedingungen. Eine Unternehmung verfolgt die Erfüllung ihrer Arbeitsziele mit möglichst produktivem Mitteleinsatz bei der Entwicklung neuer Produkte und Prozesse.

Entwicklungsrichtungen

Die Veränderung der Arbeitsziele von Unternehmen über die letzten Jahre und Jahrzehnte zeigt sehr gut, dass die Entwicklung von Arbeitssystemen wesentlich von äußeren Effekten getrieben wird. Noch vor wenigen Jahren galt die Reduzierung von Durchlaufzeiten bei gleichzeitig hoher Anlagenverfügbarkeit (OEE) als maßgebliches Ziel der Arbeitsgestaltung und die darauf ausgerichtete Methodenlehre des Lean Management als führendes Gestaltungsparadigma in Produktion und zunehmend auch in Entwicklung und Verwaltung. Heute erleben wir große Anstrengungen, kundenindividuelle Produkte in Losgröße 1 herzustellen und dafür durchaus Einbußen in der Produktivität in Kauf zu nehmen. Dabei bleiben die Grundlagen des Lean Managements – insbesondere klar strukturierter Prozesse – wesentlich für eine erfolgreiche Produktion [17]. In Summe bleibt die Erzielung internationaler Wettbewerbsfähigkeit als Produkt aus Kostenführerschaft und Innovationshöhe

ein wichtiges Unternehmensziel, doch hat in den letzten Jahren eine Verschiebung hin zu verstärkter Kundenintegration in die unternehmerische Wertschöpfung stattgefunden – bis hin zur Akzeptanz von Einzelfertigung und Kleinserien, für die keine definierten Prozessstandards gelten. Gleichzeitig steigt die Volatilität der Kundennachfrage in Form immer kurzfristigerer und größerer Schwankungen [18]. Die Fähigkeit zur Problemlösung als Kernkompetenz von Unternehmen und deren Beschäftigten hat vor diesem Hintergrund stark an Bedeutung gewonnen. Einher mit dieser Entwicklungsrichtung geht eine Änderung der Wettbewerbssituation Deutschlands durch weitergehendes Offshoring von Arbeitsplätzen nach (Süd-)Osteuropa, (Latein-)Amerika, China und vermehrt Südostasien. Im Unterschied zur traditionellen Neulokalisierung einfacher Arbeitsplätze im globalen Maßstab, werden vermehrt Entwicklungs- und IT-basierte Funktionen verlagert. Ein Ergebnis dieser Entwicklung ist die bereits heute spürbar geringe Verfügbarkeit qualifizierter Beschäftigter im Bereich hardwarenaher Softwareentwicklung, die mehr und mehr in asiatischen Standorten gedeckt wird [19].

Zuletzt gehört zum heutigen Entwicklungsstand der Arbeitsziele deutscher Unternehmen die zunehmende Auseinandersetzung mit disruptiven Geschäftsmodellen, die die Art der Leistungserbringung dahingehend verändern, dass mit dem Einsatz neuer Technologien wohl auch eine Substitution oder zumindest Veränderung von Arbeitstätigkeiten einhergeht. Der Einsatz additiver Fertigungstechnologien (3-D-Druck) oder der Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens zur durchgängig automatisierten Auftragsbearbeitung in die Fertigung sind zwei Ansätze, die aktuell prominent diskutiert werden.

2.3 Arbeitstätigkeit

Die Arbeitstätigkeit in einer Organisation beschreibt die zeitliche und räumliche Abfolge der Arbeitsaufgaben einer Person oder die Kombination der gesamten menschlichen Arbeitsleistung eines Arbeitenden in einem Arbeitssystem zur Realisierung der Arbeitsziele [16].

Tabelle 1. Beschreibungsdimensionen von Arbeit [1]

Beschreibungsdimension	Beschreibung
Arbeitsziel	Primäres Ziel der Summe der Arbeitstätigkeiten unter Einhaltung der bestehenden internen und externen Randbedingungen (Markt, Wettbewerb, Gesetzgebung, akzeptierte Normen).
Arbeitstätigkeit	Zeitliche und räumliche Abfolge der Arbeitsaufgaben einer Person oder die Kombination der gesamten menschlichen Arbeitsleistung eines Arbeitenden in einem Arbeitssystem zur Realisierung der Arbeitsziele. [16]
Arbeitsort	Platz oder Raum, an dem Arbeitstätigkeiten (durch Menschen) ausgeführt werden: <ul style="list-style-type: none"> ■ bei stationärer Arbeit der Platz, ■ bei kurzfristig wechselnden Orten mit stationären Anteilen die Gesamtzahl der Plätze bzw. die abgedeckte Arbeitsfläche oder ■ bei mobiler Arbeit alle Orte an denen Arbeitstätigkeiten ausgeführt werden.
Arbeitsmittel	Werkzeuge, einschließlich Hardware und Software, Maschinen, Fahrzeuge, Geräte, Möbel, Einrichtungen und andere im Arbeitssystem benutzte (System-)Komponenten. [16]
Organisation	Gliederung des Gesamtarbeitsziels eines Unternehmens in Teilaufgaben deren Beziehungen mit dem Zweck der effektiven und effizienten Zielerreichung (Unterscheidung in Aufbau- und Ablauforganisation).
Qualifizierung	Formalisierter und informeller Kompetenzaufbau zur Erfüllung von Arbeitszielen.
Beschäftigung	Menge, Güte und Ausprägungsart von Erwerbsarbeit zur Erfüllung von Arbeitszielen eines Unternehmens.
Führung	Bewusste und zielbezogene Einflussnahme auf Menschen. Führung beinhaltet asymmetrische soziale Beziehungen der Über- und Unterordnung.
Mensch	Beschäftigte und Gruppen von Beschäftigten (Teams) als Nutzer und Gestalter von Arbeitssystemen mit gemeinsamen und individuellen Bedürfnissen und Voraussetzungen.

Entwicklungsrichtungen

Die momentane Entwicklung von Arbeitstätigkeiten ist geprägt durch die zunehmende Automatisierung manueller Routinetätigkeiten und Digitalisierung kognitiver Routinetätigkeiten. Möglich wird und wurde diese Entwicklung durch Fortschritte im Bereich flexibler und kostengünstiger Automatisierungslösungen, die für immer kleinere Losgrößen wirtschaftlich werden. Aktuelle Beispiele dafür sind die Customization von Leichtbaurobotern und die Innovationssprünge im Bereich intuitiver Bedienbarkeit [5]. Wenngleich die erwarteten Durchdringungsraten als viel zu optimistisch erscheinen [20], werden weiterhin bestehende Routinearbeitstätigkeiten substituiert. Erst kürzlich ins Blickfeld gekommen sind zusätzlich dazu die Automatisierung und Digitalisierung von Nicht-Routinetätigkeiten, die lange als rein menschliche Domäne und somit nicht substituierbar galten. Diese Entwicklungen wurden angefeuert durch die Fortschritte in den Bereichen künstlicher Intelligenz und autonomer Systeme (vor allem im Bereich der Mobilität).

Im Unterschied zu dieser Entwicklungsrichtung erzeugt eine immer stärker gewünschte Individualisierung der Produkte und die vermehrte Einbeziehung der Kunden in den Prozess der Produktentstehung den Bedarf nach ganzheitlichen Tätigkeitszuschnitten als Basis für Produktionssysteme und übergreifendes Prozessverständnis, die durch Methoden des Lean Managements erreicht werden können. In diesem Spannungsfeld prägt sich aktuell eine Gleichzeitigkeit von Spezialisierung und Generalisierung von Tätigkeitsprofilen in den Unternehmen heraus. Diese beinhaltet Teilaspekte eines Automatisierungsszenarios mit polarisierter Organisation, also einfachsten Resttätigkeiten und Aufgaben für Spezialisten sowie des sogenannten Werkzeugszenarios, in dem technische Assistenzsysteme zur Unterstützung menschlicher Arbeit im Büro als auch in der Fabrik eingesetzt werden [21; 23].

2.4 Arbeitsmittel

Als Arbeitsmittel werden Werkzeuge, einschließlich Hardware und Software, Maschinen, Fahrzeuge, Geräte, Möbel, Einrichtungen und andere im Arbeitssystem benutzte (System-)Komponenten bezeichnet [16].

Entwicklungsrichtungen

Momentan lässt sich im Kontext der Arbeitsgestaltung deutlich erkennen, dass die Anzahl und Funk-

tionalität von Assistenzsystemen stetig zunimmt. Darunter fallen sowohl informatorische Assistenzsysteme als auch physische, je nach adressierter Arbeitstätigkeit in unterschiedlicher Ausprägung. Momentan liegt der Fokus auf Handhabungshilfen und teilautonomen Unterstützungssystemen. Mittelfristig werden autonome Systeme mehr und mehr Einzug in unseren Arbeitsalltag halten. Bei der Einführung von Assistenzsystemen lassen sich heute drei Zielausprägungen unterscheiden.

- Zuallererst werden Systeme zur Optimierung von Betriebskennzahlen wie Herstellungskosten, Produktivität, Qualität und Lieferzeit eingeführt. Dieser Trend wird getrieben von den heutigen Möglichkeiten im Bereich der Low-Cost-Automation bzw. flexiblen Automatisierung.
- Als zweiter großer Aktionsbereich hat sich in letzter Zeit die Entwicklung physischer und digitaler Assistenzsysteme zur Verbesserung der Ergonomie für die Beschäftigten herausgestellt. Schon allein aus Gründen der Akzeptanz erster teilautonomer Systeme in der Belegschaft verfolgen viele Pilotprojekte in erster Linie Verbesserungen der Ergonomie. Dieses Vorgehen gilt sowohl für die Entwicklung neuer physischer Arbeitshilfsmittel als auch für den Einsatz von Leichtbaurobotern in der Mensch-Roboter-Kollaboration als Montage-, Handling- oder Logistikassistent bis hin zu Anwendungen von Exoskeletten. Besonderes Augenmerk liegt vermehrt auf der intuitiven Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen unter Nutzung aller multimodal vorhandenen Möglichkeiten im realen Anwendungsumfeld.
- Die dritte maßgebliche Zielstellung betrifft die Optimierung des Informationsflusses und dabei die Sicherstellung echtzeitnaher Rückmeldungen aus dem Produktionsprozess, um damit Expertensysteme zur Entscheidungsunterstützung der Beschäftigten bzw. zur automatisierten Entscheidungsfindung aufzubauen. Insbesondere in Situationen, in denen eine autonome Rückmeldung von Prozesszuständen, Arbeitsergebnissen oder ungeplanten Ereignissen bzw. Störungen wirtschaftlich (noch) nicht realisierbar ist, kommen vermehrt Mobilgeräte wie Smartphones, Tablets und Datenbrillen zum Einsatz.

Im Zuge des momentanen IT-Schubs in der Produktion mit großen (Nachhol-)Investitionen zur Sicherstellung einer zuverlässigen Datenqualität werden neuere Systeme mit Möglichkeiten der echtzeitnahen Informationsbereitstellung eingeführt. Diese Voraussetzungen sind auch zwingend nötig, um tatsächlich

aus großen, unstrukturierten Datenmengen wettbewerbsrelevante neue Zusammenhänge herauszulesen (Big Data) bzw. die Datengrundlage für vorausschauende Prozessanalysen (Predictive Analytics) zu schaffen. Grundlage für die hohen Erwartungshaltungen an Assistenzsysteme sind die folgenden Möglichkeiten, die eine stärkere IT-Integration von Unternehmensprozessen mit sich bringt:

- 1 IT ermöglicht eine kostengünstige Individualisierung von Arbeitsorten, indem jeder Beschäftigte die zu ihm passenden Einstellungen an seinen jeweiligen Arbeitsplatz mitbringt („Digitale Aura“).
- 2 IT ermöglicht die Bereitstellung von kontextsensitiven Informationen, das heißt einer dezidierten Informationsauswahl, die sich nach der arbeitenden Person und deren Qualifikation, nach dem aktuellen Arbeitsort oder der spezifischen Tätigkeit richtet.
- 3 IT-Vernetzung ermöglicht digitale Schatten aller vernetzten Objekte und Menschen und darauf abgestimmte Assistenzfunktionalitäten.

Wie bei jedem Arbeitsmittel wird die Benutzung für Unternehmen und Belegschaft neben neuen Nutzen und Arbeitserleichterungen auch neue Herausforderungen mit sich bringen. Direkt absehbar ist heute schon die notwendige Sicherung der Vertrauensbasis bei der betrieblichen Nutzung von personenbezogenen Daten.

2.5 Arbeitsort

Der Arbeitsort bezeichnet den jeweiligen Platz oder Raum, an dem Arbeitstätigkeiten (durch Menschen) ausgeführt werden. Diese Definition betrifft bei stationärer Arbeit den Arbeitsplatz als „Kombination und räumliche Anordnung der Arbeitsmittel innerhalb der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben erforderlichen Bedingungen“ [16]. Bei kurzfristig wechselnden Orten mit stationären Anteilen bezeichnet der Arbeitsort die Gesamtzahl der Plätze bzw. die abgedeckte Arbeitsfläche und bei mobiler Arbeit alle Orte an denen Arbeitstätigkeit ausgeführt wird.

Entwicklungsrichtungen

Die Gestaltung ortsflexibler Arbeit gewinnt mehr und mehr an Bedeutung. Eines der wesentlichen Merkmale digitaler Vernetzung ist die Entkopplung von Entstehung, Ablage und Nutzung von Information im Sinne eines kostengünstigen (bzw. vielfach kostenlosen) weltweiten Vernetzungspotenzials.

Dieses Vernetzungspotenzial resultiert im Arbeitsprozess, z. B. in der Fertigung, direkt in einer Steigerung von Maschinenbedienverhältnissen pro Mitarbeiter. Durch die echtzeitnahe Informationsversorgung wird es möglich, eine größere Anzahl an Maschinen je Maschinenbediener zu überwachen sowie schnellere und abgesicherte Entscheidungen zu treffen. Darüber hinaus werden die innerbetriebliche Mobilität der Beschäftigten sowie der Austausch mit externen Partnern und Standorten durch eine echtzeitnahe Informationsversorgung verbessert. Die räumliche Bindung von Arbeitstätigkeit und Arbeitsplatz wird zunehmend aufgehoben. In der Konsequenz steigt der Anteil mobiler Arbeit kontinuierlich an. Dies gilt jedoch nicht für manuell oder assistiert ausgeführte Tätigkeiten, die entsprechende Werkstücke bzw. Komponenten und Betriebsmittel erfordern, wie beispielsweise in der Montage.

2.6 Organisation

Organisation gliedert die Gesamtaufgabe des Unternehmens in Teilaufgaben und setzt diese zueinander in Beziehung, damit die Ziele des Unternehmens optimal erreicht werden:

- **Aufbauorganisation** ist die arbeitsteilige, hierarchische Gliederung und Ordnung der betrieblichen Handlungsprozesse durch die Bildung von Bereichen und Verteilung von Aufgaben
- **Ablauforganisation** ist die Festlegung der Arbeitsprozesse unter Berücksichtigung von Raum, Zeit, Sachmitteln und Personen
- **Arbeitsorganisation** beinhaltet Aufbau- und Ablauforganisation und beschreibt somit die Zusammenarbeit von Menschen, die mit Informations- und Betriebsmitteln Verrichtungen an Arbeitsobjekten vornehmen

Entwicklungsrichtungen

Die direkten Auswirkungen von Digitalisierung und Automatisierung betreffen hauptsächlich Änderungen im Sinne einer Unterstützung der Ablauforganisation. So ermöglicht vernetzte Sensorik die Erfassung großer Datenmengen. Big Data und günstige, leistungsfähige Datenplattformen ermöglichen, diese Daten zu speichern und auszuwerten. Suchalgorithmen werden stetig verbessert. Dadurch entstehen die Voraussetzungen für eine echtzeitnahe Synchronisation von Simulationen und Berechnungen mit den realen Abläufen und Zuständen.

Neue Benutzerschnittstellen ermöglichen eine bessere Informationsbereitstellung und Visualisierung und

versprechen einfachere, intuitive Bedienung. Informiert sein, ist somit an (fast) jeder Stelle des Unternehmens möglich. Dadurch wird es ermöglicht, zunehmend dezentrale Organisationskonzepte zu realisieren. Durch Standarddatenformate und -schnittstellen werden Medienbrüche zunehmend beseitigt. Das ermöglicht eine schnelle und flexible Vernetzung und Kommunikation zwischen beliebigen Partnern mit unterschiedlichsten Medien. Weiter vorangetrieben wird diese Entwicklung durch die Integration von Social Media in das Arbeitsumfeld sowie auch Smartphones, Tablets und Wearables (z. B. Smartwatches, Datenbrillen, Fitness-Armbänder oder aber Smart Textiles, z. B. der intelligente Handschuh ProGlove). Diese Hilfsmittel sind und werden vermehrt als Arbeitsmittel angenommen und bringen eine niedrige Akzeptanzschwelle bei den Beschäftigten mit, da sie diese Geräte bereits im Privaten einsetzen. Momentan werden daher weitverbreitete und nutzenstiftende Apps aus dem Consumerbereich in industrielle Prozesse transferiert. Whatsapp, Doodle, Facebook, Wikipedia und Tripadvisor sind nur einige der bereits in Pilotanwendungen umgesetzten Ideen.

Eine flexible und dynamische Zusammenarbeit wechselnder und räumlich getrennter Stellen wird möglich. Organisationskonzepte, die das nutzen können, sind allerdings erst in Konturen erkennbar. Vieles spricht dafür, dass sich die Aufbau- und die Ablauforganisation der Unternehmen – unabhängig von der Digitalisierung – in Zukunft stark verändern werden. Auslöser sind der Flexibilitätsbedarf auf volatilen Märkten, die Beschleunigung der Innovationen und die Vielfalt der Produkte und Prozesse, aber auch die zunehmende Vernetzung der Technologien. Das erhöht die Komplexität, arbeitsteilige und hierarchische Organisationen werden zunehmend intransparent.

Vor allem in Bereichen mit hohen Komplexitätsanforderungen arbeiten häufig autonome Teams in weitgehender Selbstorganisation. Zur Bewältigung der Komplexität ist eine Minimierung von Schnittstellen in den Prozessen erforderlich. Autonome Teams in prozessgerechten Bereichen könnten durch digitale Assistenzsysteme besser unterstützt werden. Wo Flexibilität, Veränderung und Vernetzung eine untergeordnete Rolle spielen, können eine funktionale Aufbauorganisation und eine hierarchische Arbeitsorganisation weiterhin funktionieren.

Die Weiterentwicklung der IT wird ein etwas höheres Maß an Komplexität zulassen. Denn zukünftig können mehr ausführende, planende und steuernde Tätigkeiten und Abläufe als bisher durch Digitalisierung und Mechanisierung substituiert oder unterstützt werden. Voraussetzung für eine wirkungsvolle Digitalisierung ist, dass die Aufgabenstellung, die Einflussfaktoren und die Aktionsmöglichkeiten ausreichend genau

beschrieben werden können. Der Umgang mit unvorhergesehenen Situationen gehört bereits jetzt zu den zentralen Herausforderungen einer stark digitalisierten Arbeitswelt. Engpass ist häufig die Softwareentwicklung, deren Leistungsfähigkeit mit der der IT-Hardware kaum mithält.

2.7 Qualifizierung

Qualifizierung bezeichnet im Zusammenhang der Ausführungen Prozess und Ergebnis des formalisierten und nicht formalisierten Kompetenzaufbaus zur Erfüllung von Arbeitszielen. Kompetenz beschreibt dabei die „dargelegte Eignung, Wissen und Fertigkeiten anzuwenden“ [24].

Entwicklungsrichtungen

Qualifizierung und Kompetenzentwicklung nehmen eine Schlüsselstellung im Kontext der Veränderung der Arbeitswelt durch Digitalisierung und Automatisierung ein. Unterscheiden lassen sich zwei Entwicklungen. Zum einen wird eine aktive Rolle qualifizierter Beschäftigter bzw. deren Aus- und Weiterbildung erforderlich (Qualifizierung für Industrie 4.0). Zum anderen bietet eine Arbeitsgestaltung, die weit stärker als heute von Digitalisierung und Automatisierung geprägt wird, neue Möglichkeiten zur Qualifizierung. Viel Potenzial wird z. B. in digital unterstützten Lernsystemen gesehen (Qualifizierung durch Industrie 4.0).

Hinsichtlich der benötigten Kompetenzbedarfe für die stringente Umsetzung verstärkter Prozessautomatisierung und -digitalisierung lassen sich zwei grundsätzliche Bedarfsfelder beschreiben. Zum einen lässt sich schon heute ein Bedarf an Spezialisten für die Analyse und Auswertung von Unternehmensdaten erkennen. Gerade in Großunternehmen wird der Einsatz solcher spezialisierter Data Scientists verstärkt gefördert. Parallel dazu werden Mitarbeiter mit der Fähigkeit gesucht, Anwendungskompetenz aktueller IT-Lösungen (IoT, Embedded Systems) mit der Optimierung bzw. dem Redesign bestehender Prozessabläufe im Unternehmen und der jeweiligen Wertschöpfungskette zu kombinieren. Zudem wird erwartet, dass IT-Kompetenz als Querschnittskompetenz in allen Unternehmensfunktionen massiv an Bedeutung gewinnen wird.

Hinsichtlich der Auswirkung einer stärker digital geprägten Prozessgestaltung stehen heute zwei mögliche Ausprägungsszenarien im Raum. Im Polarisierungsszenario wird von einer Erosion mittlerer Qualifizierungen ausgegangen, die insbesondere durch die verstärkte Automatisierung und Digitalisierung von Routinetätig-

keiten in manuellen und kognitiven Arbeitsbereichen entstehen, da gerade hier große Produktivitätsfortschritte im Bereich heutiger Arbeitsgestaltung (Sach- und Facharbeit) technisch möglich und prinzipiell umsetzbar sind. Dem gegenüber steht die Erwartung eines durchgängigen Upgrading des Qualifikationsniveaus über alle Qualifizierungen. Letztes Szenario entspricht stark dem aktuell am Hochlohnstandort Deutschland erfolgreichen Modell durchgängiger Prozessketten, schneller Reaktionsfähigkeit und Flexibilität, die zu einem hohen Maß durch die Flexibilität, Erfahrung und Bereitschaft der Beschäftigten sichergestellt werden [8; 21; 26].

2.8 Beschäftigung

Beschäftigung bezeichnet die Menge, Güte und Ausprägungsart von Erwerbsarbeit zur Erfüllung von Arbeitszielen eines Unternehmens.

Entwicklungsrichtungen

Eng verbunden mit der Abschätzung, welche Qualifikationen für die Arbeitswelt in Zeiten der Digitalisierung benötigt werden, ist die Frage, wie viele Arbeitsplätze je Branche, Berufsgruppe und Qualifikationsniveau zukünftig benötigt werden. Dazu liegen bereits erste qualitative und quantitative Studien vor, mit teilweise stark unterschiedlichen Aussagen (siehe Bild 3 [1; 5; 6; 27 bis 30]).

Im Ergebnis sind durch die Digitalisierung und Automatisierung von Arbeitstätigkeiten bzw. Berufen je nach Studie in Deutschland über die nächsten 20 Jahre 18 Millionen Arbeitsplätze stark gefährdet [28] oder werden mehr als 600.000 Arbeitsplätze aufgebaut [30].

Die Ergebnisse sind allerdings kaum vergleichbar, weil sich die Abschätzungen hinsichtlich Grundan-

	UNTERNEHMENSKOMPETENZEN	FÄHIGKEITEN DER BESCHÄFTIGTEN
TECHNOLOGIE-/DATENORIENTIERT	<ul style="list-style-type: none"> - Datenauswertung und -analyse - IT-Sicherheit - Cloud-Architekturen - Künstliche Intelligenz - User-Support / Service Technik 	<ul style="list-style-type: none"> - Interdisziplinäres Denken und Handeln - Beherrschung komplexer Arbeitsinhalte - Fähigkeit zum Austausch mit Maschinen - Problemlösungs- und Optimierungskompetenz
PROZESS-/KUNDENORIENTIERT	<ul style="list-style-type: none"> - Prozessmanagement - Kundenbeziehungsmanagement - IT-Geschäftsanalysen - E-Commerce / Online-Marketing - Beratung 	<ul style="list-style-type: none"> - Zunehmendes Prozess-KnowHow - Mitwirkung an Innovationsprozessen - Fähigkeit zur Koordination von Arbeitsabläufen - Dienstleistungsorientierung
INFRASTRUKTUR-/ORGANISATIONSORIENTIERT	<ul style="list-style-type: none"> - Umgang mit spezifischen IT-Systemen - Netzwerk-/Datenbankadministration - IT-Architekturen - Datenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> - Führungskompetenz - Eigenverantwortliche Entscheidungen - Sozial-/Kommunikationskompetenz

Bild 2. Systematisierung der Unternehmenskompetenzen und Fähigkeiten der Beschäftigten [25]

[Frey, Osborne, 2013]
[Bowles, 2014]



»47% der heutigen US-Jobs in Gefahr (Frey, Osborne) – 51% der deutschen Jobs (Bowles)«

[ING DIBA, 2015]



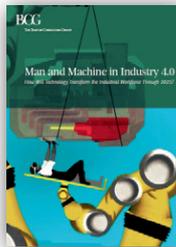
»18 Millionen deutsche Arbeitsplätze bedroht«

[ZEW, 2015]



»9% der heutigen US-Jobs in Gefahr – 12% der deutschen Jobs«

[BCG, 2015]



»bis 2025 entstehen in Deutschland netto 350.000 Jobs«

[IAB, 2015]



»bis 2025 fallen in Deutschland netto 60.000 Jobs weg«

[WEF, 2016]



»5 Mio. weniger Jobs bis 2020 weltweit durch Industrie 4.0«

Bild 3. Abschätzungen zur Auswirkung von Digitalisierung und Automatisierung auf Beschäftigung [5; 6; 27 bis 30]

nahmen, Datenbasis und Modellierungsparametern unterscheiden. Des Weiteren bilden sämtliche Studien abgeleitete Gesamtaussagen ab. Diese bestehen aus Experteneinschätzungen zur Substitution von Arbeit durch ausgewählte Automatisierungs- und Digitalisierungstechnologien sowie der Anwendung dieser Substitutionsfaktoren auf die Grundgesamtheit bestehender Beschäftigter im Bezugsland. Teilweise wird diesem Negativsaldo die Erwartungshaltung neu entstehender Beschäftigung entgegengestellt. Diese speist sich aus:

- Beschäftigungseffekten einer gestiegenen Wettbewerbsfähigkeit, die sich in Form einer Mehrproduktion günstigerer Produkte widerspiegelt,
- Auswirkungen neuer technologieinduzierter Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten,
- Wachstum neu entstehender und in der Regel IT-affiner Berufe und Berufsgruppen wie beispielsweise Data Scientists, Produktionsinformatiker und Cloud-Service-Spezialisten,
- Beschäftigungseffekten, die durch vermehrte Investitionen in Industrie-4.0-fähige Anlagen, Betriebsmittel, Schulung und Qualifizierung entstehen, sowie
- Re-Shoring von Produktionsanteilen aus bisherigen Niedriglohnländern aufgrund veränderter Kostenstrukturen und der Nachfrage der Kunden nach geringen Lieferzeiten.

Neben der unzureichenden Vergleichbarkeit der bestehenden Studien sind die Ergebnisse für die Umsetzung und Gestaltung betrieblicher Prozesse nur begrenzt anwendbar und nicht durchgängig handlungsleitend. Zudem bilden die aufgeführten Studien jeweils genau eine Ausprägung erwarteter Veränderungen ab und nicht den Gestaltungsraum, der durch ein integriertes Zusammenspiel von Maßnahmen in den arbeitswissenschaftlichen Kernbereichen Mensch, Technik und Organisation aufgespannt wird.

2.9 Führung

Führung bezeichnet die bewusste und zielbezogene Einflussnahme auf Menschen. Führung beinhaltet asymmetrische soziale Beziehungen der Über- und Unterordnung.

Entwicklungsrichtungen

Heute verbreitete Konzepte zur Führung sind interaktionale Führung und strukturelle Führung. Interaktionale Führung erfolgt durch direkte Kommunikati-

on z. B. mit Anweisungen oder Mitarbeitergesprächen. Strukturelle Führung wirkt indirekt durch systemische Leistungsbedingungen, wie Stellenbeschreibungen, Arbeitspläne oder Organisationsanweisungen. Um Selbstorganisation zu stärken, werden diese Konzepte durch Führen mit Kontext (Sinnggebung, Kultur, demokratische Prinzipien) ergänzt. Ziel des Führens mit Kontext ist es, Einsicht und die Fähigkeiten der Beschäftigten zu entwickeln. Die Wege dazu sind Qualifikation, Informationen und die Unternehmenskultur. Eine direktive und disziplinarische Führung wird durch Stärkung von Selbstorganisation und Eigenverantwortung ergänzt.

Hierarchie, Strukturen und fachliche Dominanz von Führungskräften werden mit zunehmender Komplexität an Bedeutung verlieren. Der steigende Bedarf an Flexibilität und Schnelligkeit wird nicht nur dezentrale Organisationsformen, sondern auch eine neue Art der Führung benötigen, die noch viel stärker als heute auf Delegation und qualifizierter Eigenverantwortung der Beschäftigten basiert.

Unter weniger komplexen Rahmenbedingungen können eine funktionale Aufbauorganisation und eine hierarchische Arbeitsorganisation weiterhin funktionieren. Wo Flexibilität, Veränderung und Vernetzung eine untergeordnete Rolle spielen, können interaktionale und strukturelle Führung durch Digitalisierung und Automatisierung unterstützt werden. In diesem Fall ist eine direktive und disziplinarische Führung weiterhin möglich. Neue digitale Möglichkeiten für Informationsbereitstellung und Assistenz unterstützen auch die Stabilisierung einer Organisation und „Führung 1.0“. Die Herausforderung ist es, erfolgsrelevante Faktoren rechtzeitig zu erkennen und Führung ständig so anzupassen, dass die besten Ergebnisse erzielt werden.

2.10 Mensch

Die Perspektive „Mensch“ bezieht sich auf Beschäftigte und Gruppen von Beschäftigten (Teams) als Nutzer und Gestalter von Arbeitssystemen mit gemeinsamen und individuellen Bedürfnissen und Voraussetzungen. In Bezug auf den arbeitenden Menschen sind gleich mehrere Fragestellungen relevant: Wie können Gesundheit und Wohlbefinden sowie Kompetenz, Leistungsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit ein Arbeitsleben lang erhalten und gefördert werden? Welche Motivation treibt Beschäftigte an bzw. wie kann Motivation über das gesamte Erwerbsleben erhalten und möglichst gesteigert werden? [31]

Entwicklungsrichtungen

Auch die Arbeitswelt der Zukunft braucht motivierte Beschäftigte. Jede neue Generation an Beschäftigten stellt dafür neue Anforderungen an die Arbeit und die Unternehmen. Vieles spricht dafür, dass Digitalisierung und Automatisierung eher eine Arbeitskultur fördern, die sich stärker an dezentralen und selbstorganisierten Organisationsformen orientiert. Die Ursache für diese Erwartungshaltung liegt in schwer beherrschbarer Komplexität durch zunehmende Varianz, Flexibilität und Innovation. Damit wird die Rolle der Beschäftigten weiter an Bedeutung zunehmen. Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft der Beschäftigten werden dadurch nachhaltig geprägt.

Die Beanspruchung der Beschäftigten entsteht durch Belastung bei der Arbeit wie auch im Privaten. Digitalisierung und Automatisierung haben einen direkten Einfluss auf die Belastung. Oftmals ist insbesondere die klassische Ergonomie ein Auslöser für positiv wirkende technische Unterstützungen mit der Folge körperlicher Entlastung, etwa durch Hebehilfen, Positionier- und Dosiergeräte, Transportmittel, Roboter oder Automaten sowie geistiger Entlastung durch anwendungsgerechte Informationsbereitstellung. Aus Digitalisierung und Automatisierung kann aber auch zusätzliche Belastung entstehen. Bei schlecht gestalteten Arbeitssystemen droht Fehlbeanspruchung durch Zwangshaltungen und Bewegungsarmut. Insbesondere bei Automatisierungslücken oder übertriebener Assistenz bei der Arbeit besteht die Möglichkeit von Monotonie und Lernentwöhnung. Das kann Gesundheit und Motivation gefährden und sollte vermieden werden, um die Arbeitsfähigkeit bis zum Ende des Erwerbslebens zu erhalten. Zudem sollten sogenannte Ironien der Automatisierung [32] vermieden werden. Sie entstehen, wenn der Mensch als vermeintlich schwächstes Glied der Kette substituiert werden soll, dann aber im Fehlerfalle kompetent und aufmerksam eingreifen soll. Das ist weder menschengerecht noch ergebnisorientiert erfolgversprechend.

Gesundheitliche Ressourcen wirken der Belastung durch Arbeit entgegen und können die individuelle Beanspruchung vermindern. Wichtige gesundheitliche Ressourcen aus der Arbeit können ganzheitliche, als sinnhaft empfundene Arbeitsaufgaben, Handlungsspielräume und soziale Einbindung sein. Dazu gehört aber auch der eigenverantwortliche Umgang mit der eigenen Gesundheit und damit der eigenen Ressource. Digitalisierung und Automatisierung können darauf, je nach Ausgestaltung, positiv oder negativ wirken.

Im bereits erwähnten Automatisierungsszenario übernehmen Digitalisierung und Automatisierung weitgehend die Steuerung. Dadurch werden Handlungsspielräume der Mitarbeiter eingeschränkt. Im gegenteiligen Werkzeugszenario bleibt die Kontrolle beim Menschen. Digitalisierung und Automatisierung dienen als Assistenzsysteme. Das Werkzeugszenario stärkt gesundheitliche Ressourcen in Form von Handlungs- und Einflussmöglichkeiten. Positive Erfahrung im Umgang mit schwierigen Situationen (Bewältigungsstrategien) und Erfolgserleben können aufgebaut werden. Allerdings müssen eine Überforderung oder das Abfordern von nicht vorhandenen Qualifikationen vermieden werden. Automatisierungs- und Werkzeugszenario verdeutlichen dabei Extrempositionen möglicher Auswirkungen von Digitalisierung und Automatisierung. In der praktischen Umsetzung bei Unternehmen sind daher Mischformen dieser Szenarien zu erwarten.

Digitalisierung und Automatisierung werden die Zusammenarbeit zwischen den Menschen verändern. Kommunikation und soziale Einbindung sind stark wirkende gesundheitliche Ressourcen. Es ist von Bedeutung, dass soziale Kontakte erhalten bleiben, und dass vom Vorgesetzten, aber auch den Kollegen, eine Unterstützung erfolgt. Dort wo Selbstorganisation und dezentrale Führungsstrukturen herrschen, wird das Werkzeugszenario überwiegen. Hier werden die neu entstehenden technischen Möglichkeiten zur Gestaltung von Assistenzsystemen genutzt. Die Bedeutung von gesunder Arbeit wird steigen. Da Unternehmensabläufe hochgradig komplex sind, werden Digitalisierung und Automatisierung auf absehbare Zeit die Prozesse nicht durchgängig abbilden können. Fehlende Durchgängigkeit führt zu Automatisierungsinself. Deren Auf- und Ausbau muss nicht nur im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit, sondern auch hinsichtlich gesundheitlicher Ressourcen sorgfältig geplant werden, da der Sinn und die Ganzheitlichkeit für einige Menschen durch Stückerlung und Kleinteiligkeit von Arbeitstätigkeiten verloren gehen können.

Ebenfalls aufgrund der Komplexität kann die digitale Abbildung realer Arbeitssituationen („virtueller Zwilling“ bzw. „digitaler Schatten“) oft nicht exakt erfolgen. Vereinfachungen bewirken, dass Berechnungen von der Realität abweichen. Diese Abweichung erfordert eine Übersetzungsleistung von den Beschäftigten, die einerseits neuartige Beanspruchung erzeugen kann und andererseits geeignete Qualifikation erfordert.

3 Umsetzung einer Arbeitswelt 4.0

Die dargestellten Entwicklungslinien, der Umsetzungsstand in der Praxis und die sehr heterogene Diskussion hinsichtlich der erwarteten Auswirkungen einer Arbeitswelt 4.0 auf beispielsweise Beschäftigung zeigen deutlich, dass heute erst in Ansätzen klar wird, auf was sich Unternehmen und Beschäftigte zukünftig einzustellen haben. Eines wird jedoch durchgängig deutlich: Ein Verzicht auf den Einsatz innovativer Technologien der Automatisierung und Digitalisierung kann langfristig zur Erosion der Geschäftsgrundlage vieler Unternehmen führen. Gleichzeitig zeigt sich heute, dass die Transformation in eine Arbeitswelt 4.0 keinem linearen und unvermeidlichen Technikdeterminismus folgt [33].

3.1 Gestaltungsspielräume für die Umsetzung einer Arbeitswelt 4.0

In der Konsequenz eröffnen sich große Gestaltungsspielräume für die Umsetzung der Technologien 4.0 in Anwendungen, Prozessverbesserungen und in neuen Geschäftsmodellen.

Damit die Umsetzung von Industrie-4.0-Projekten gelingt, sollten die Beschäftigten frühzeitig in Veränderungsprozesse eingebunden werden. Folgende Ziele können durch entsprechende Einbindung erreicht werden:

- Sicherung der Akzeptanz und Abbau von Ängsten oder Vorbehalten,
- Erkenntnisse über Wünsche und Interessen der Beschäftigten, etwa bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung und der Arbeitsmittel,
- Nutzung des Wissens und der Erfahrung der Beschäftigten für die Umgestaltung der Prozesse oder die Funktionenteilung zwischen Mensch und Technik.

Dies gilt vor allem für Unternehmen, die bis jetzt nicht die möglichen Auswirkungen, Chancen und Risiken der Digitalisierung auf ihre Wettbewerbsfähigkeit analysiert haben [34]. Information und Sensibilisierung – am besten anhand bereits bestehender Erfolgsbeispiele – können Anstöße geben, werden jedoch selten eine systematische Digitalisierungsstrategie für Unternehmen ersetzen. Dieser Ansatz lässt sich gleichfalls auf die zielgerichtete Mitarbeiterentwicklung übertragen. Auch wenn heute noch nicht absehbar ist, wie genau sich Kompetenzbedarfe und Qualifizierung entwickeln

werden, zeichnet sich ab, dass die Bereitschaft zu lernen und sich neuen Qualifikationen zu öffnen, weiter an Bedeutung gewinnen wird [2; 25].

Entscheidend wird sein, wie Unternehmen die Umsetzung einer Arbeitswelt 4.0 angehen, welche Projekte sie mit welchen Beteiligten starten und auf welche Akzeptanz diese stoßen. Letzteres kann befördert werden, indem die Betroffenen zu Beteiligten an der Neu- und Umgestaltung gemacht werden. „Blaupausen“ und „Kochrezepte“ zur Arbeitswelt 4.0 lassen sich in der Praxis nur in engem Rahmen unternehmensübergreifend übertragen – Erfahrungen mit dem Prozess der Transformation hingegen schon. Gerade weil heute die Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Ausprägung einer Arbeitswelt 4.0 noch sehr hoch erscheint, ist es notwendig, unternehmensspezifische Entwicklungsszenarien für die digitale Transformation zu gestalten und daraus die jeweiligen Entwicklungsschritte abzuleiten. Wengleich vor allem kleineren Unternehmen hierfür vordergründig die Ressourcen fehlen sollten, bieten Digitalisierung und Automatisierung voraussichtlich vor allem für den Mittelstand enorme Chancen, aber auch Risiken [3].

Die systematische Entwicklung von Transformations-Roadmaps gilt mitnichten nur für Unternehmen, sondern ebenso für die Einbindung und Entwicklung der Beschäftigten. Da der Prozess der Digitalisierung nicht linear abläuft und davon auszugehen ist, dass im zeitlichen Verlauf und im globalen Kontext neue, bessere und disruptive Umsetzungen entstehen werden, sollte auch der unternehmensinterne Digitalisierungsprozess möglichst flexibel, offen und beteiligungsorientiert gehalten werden.

Voraussetzung für eine wirkungsvolle Digitalisierung ist ein gut organisiertes Unternehmen mit klaren Prozessen. Als Ausgangspunkt für die digitale Transformation eignen sich organisierte Prozesse, beispielsweise in Form einer umfassenden und integrierten Umsetzung des Lean Managements. Viele Unternehmen sind dafür bereits heute sehr gut aufgestellt und haben Ausprägungen des Lean Management sowohl für funktionale, hierarchische Organisation als auch für prozessorientierte, dezentrale Organisationsformen entwickelt.

Trotz dieser guten Ausgangsposition besteht die wohl größte Herausforderung darin, bei der Veränderung von Arbeit die bestehenden Strukturen systematisch in Frage zu stellen. Das organisationale Beharrungs-

vermögen und Festhalten an scheinbar bewährten Handlungs- und Entscheidungsroutrinen wird bereits heute als eines der größten Hemmnisse gesehen [2].

Klassische Lean-Management-Konzepte können bei der Umsetzung zunehmend volatiler Kundenbedarfe in flexibel adaptierbare Prozesse (z. B. bei der variantenreichen Einzel- und Kleinserienproduktion) an Grenzen stoßen. Gerade hier bietet die zielgerichtete Nutzung von Digitalisierung und flexibler Automatisierung Möglichkeiten zum Umgang mit Varianz und Volatilität. Ausschlaggebend ist der erhöhte Bedarf an Flexibilität und Veränderung, der eine beschleunigte Anpassung von Standards verlangt.

Weiterhin bestehen hohe Erwartungen an Digitalisierung und flexible Automatisierung für die Erhaltung der Gesundheit der Beschäftigten. Der demografische Wandel und das Interesse der Unternehmen an arbeits- und leistungsfähigen Beschäftigten drängen auf eine angemessene Begrenzung von Belastungen und die Förderung des eigenverantwortlichen Umgangs damit, sodass eine Stärkung gesundheitlicher Ressourcen erreicht wird.

Darüber hinaus ermöglicht Digitalisierung neue Geschäftsmodelle, diese erschließen neue Einnahmequellen. Analog ermöglicht Digitalisierung andere Prozesse als heute, die es gestatten, in neue Dimensionen von Leistungsdaten und Kostensenkung vorzustoßen. Zielsetzung sollte es sein, nicht nur bestehende Prozesse zu optimieren, sondern auch neue, ganz andere Prozesse zu gestalten.

Zur Arbeitswelt 4.0 passt keine Organisation und „Führung 1.0“. Durch zunehmende Digitalisierung von Prozessen wird eine dynamische und aufgabenspezifische Vernetzung im und zwischen Unternehmen möglich, sodass sich Organisation und Führung weiter in Richtung Dezentralisierung und Selbstorganisation entwickeln werden [21].

3.2 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Die grundlegende Fragestellung zur Gestaltung einer Arbeitswelt 4.0 betrifft die Geschwindigkeit und den Umfang von Digitalisierung und Automatisierung. Hierbei befinden wir uns in dem Dilemma, dass einerseits heute Digitalisierung und innovative Automatisierung vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen wesentlich langsamer erfolgen als vielfach erwartet [2; 3]. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass vom Markt akzeptierte Lösungen (von Wettbewerbern) sehr schnell in die eigenen Unternehmensprozesse umgesetzt werden müssen.

Um die Chancen für Unternehmen und Beschäftigte erfolgreich nutzen zu können, braucht es mehrere Dinge:

- 1 Eine konstruktive Grundhaltung der digitalen Welt gegenüber, die die Chancen und das Gestaltungspotenzial digitaler Vernetzung betont, mögliche Gefahren für die Beschäftigten jedoch nicht ausklammert.
- 2 Leistungsfähige Infrastrukturen, vor allem Breitbandverbindungen und sehr schnelle flächendeckende 5G-Netze, sowie digitale Infrastruktur in den Unternehmen.
- 3 Umsetzungsbezogene Kompetenzentwicklung, digitale Qualifikation auf allen Ebenen, zusätzliche Bildungsanstrengungen durch Akteure in Staat, Gesellschaft und Betrieb.
- 4 Transparente und offene Gestaltungsprozesse mit bewusster Einbeziehung des Wissens und der Ansprüche der Beschäftigten, Akzeptanzsicherung durch systematische, prospektive Folgenabschätzung der Digitalisierung auf Beschäftigung, Gesundheit, Motivation und Lernförderlichkeit.
- 5 Neue Vertrauensgrenzen und Regelungen in Bezug auf Datenschutz und Datensicherheit zwischen den Beteiligten in Unternehmen und Wertschöpfungsketten.
- 6 Die Mitbestimmung benötigt an einigen Stellen eine Anpassung an die moderne Entwicklung. Ebenso müssen gesetzliche und tarifliche Rahmenbedingungen für innovative Arbeitszeitmodelle und mobile Arbeitsformen den Anforderungen der modernen Arbeitswelt Rechnung tragen.
- 7 Unkomplizierte Innovationsförderung für KMU zur Digitalisierung ihrer Geschäftsprozesse und zur Entwicklung smarterer Produkt-Service-Systeme.
- 8 Offene Innovationszentren, die den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Unternehmen und Start-ups induzieren helfen: On-University-Campus oder On-Industry-Site.
- 9 Weitere F+E-Schwerpunktprogramme zu autonomen Systemen und für das Thema Mensch-Maschine-Interaktion.
- 10 Wissenschaftlich begleitete Umsetzungslösungen, Transformationsszenarien und Living Labs für die digitale Welt, z. B. Arbeitswelt-4.0-Demofabriken und -Unternehmen.
- 11 Eine Gründerkultur und die Unterstützung von Wachstumsunternehmen, die mit neuen Lösungen und innovativen Geschäftsmodellen die Umsetzung digitaler Technologien und deren Akzeptanz vorantreiben.

12 Einen nationalen Think-Tank zu „Digitaler Gesellschaft, Wirtschaft und Arbeit“. Hier sollte im geschützten Raum über Stärken und Schwächen, Chancen und Gefahren, Erwartungen und Ängste gesprochen und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden.

3.3 Beispiele und Anwendungsfälle für Industrie 4.0

Von einem arbeitsplatznahen Beschreibungsmodell der Arbeitswelt Industrie 4.0 wird erwartet, neben einer umfassenden Beschreibung von übergeordneten Entwicklungstendenzen (vgl. Kapitel 2), zusätzlich eine genauere Darstellung der Auswirkungen der

Automatisierung und Digitalisierung auf der Arbeitsplatzebene zu ergänzen und mit ihr abzugleichen. Daher orientiert sich die hier gewählte Darstellung des Lösungsraums für die Arbeitsgestaltung der Zukunft möglichst praktikabel an der sichtbaren betrieblichen Realität im verarbeitenden Gewerbe. Die nun folgenden Beispiele für Industrie 4.0-induzierte Veränderungen von Arbeitstätigkeiten betrieblicher Funktionsträger werden an 14 Beschreibungskriterien aufgetragen und interpretiert. Als solche wurden Kriterien ausgewählt, die einerseits die Veränderungen grundsätzlicher Arbeitstätigkeiten praxisnah beschreiben und andererseits am Beispiel heutiger Pilotprojekte bewertbar sind (vgl. Tabelle 2).

Jedem dieser Kriterien liegen die in Tabelle 2 abgebildeten Fragen zugrunde, die die Veränderung

Tabelle 2. Beschreibungskriterien zur Erfassung möglicher Veränderungen für betriebliche Funktionsträger

Kriterien	Leitfrage(n)
Bedarf	Werden mehr oder weniger Beschäftigte mit dieser betrieblichen Funktion benötigt?
Problemlösung	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich der eigenständigen Lösung nicht vorhersehbarer Probleme?
Monotone Aufgaben	Steigt oder sinkt der Anteil monotoner, sich wiederholender Tätigkeiten?
Komplexe Aufgaben	Steigt oder sinkt der Anteil komplexer Arbeitsinhalte (wenig Wiederholung, relativ hohe kognitive Beanspruchung)?
Planen	Steigt oder sinkt der Anteil planerischer Aktivitäten?
Kontrolle	Steigt oder sinkt der Anteil kontrollierender/überwachender Tätigkeiten?
Lernen, informell	Erhöht oder verringert sich die Möglichkeit/Notwendigkeit des Lernens im Prozess der Arbeit?
Lernen, formell	Erhöht oder verringert sich die Möglichkeit/Notwendigkeit des formellen Lernens (z. B. durch Weiterbildungsmaßnahmen, neue Ausbildungsmodule, neue Studiengänge)?
Selbstbestimmung	Steigt oder sinkt der Grad der Selbstbestimmung der betroffenen Beschäftigten hinsichtlich: <ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmung der Reihenfolge der auszuführenden Tätigkeiten ■ Auswahl der Arbeitsmethoden und/oder -mittel ■ Arbeitsgeschwindigkeit ■ Auswahl der Mitarbeiter, mit denen zusammengearbeitet wird
Optimierung	Steigt oder sinkt die Möglichkeit der Optimierung der eigenen Arbeit (hinsichtlich der Prozesse aber auch der Organisation)?
Kooperation	Wird die Tätigkeit mehr oder weniger in Team-Strukturen eingebunden und entstehen damit höhere/niedrigere Anforderungen an kooperative Fähigkeiten der Beschäftigten?
Kommunikation	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich kommunikativer Fähigkeiten (z. B. durch verstärkte Teamarbeit, stärkere vertikale/horizontale Vernetzung im Betrieb)?
Interdisziplinarität	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich interdisziplinären Wissens, das über die Kenntnisse im eigenen Fachbereich hinausgeht?
IT-Kennntnis	Steigen oder sinken die Anforderungen an die betroffenen Beschäftigten hinsichtlich ihrer IT-Kompetenzen?

für einen betrieblichen Funktionsträger beschreibt. Als solche werden Rollen und Jobprofile zusammengefasst, die typischerweise in Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes vorkommen bzw. aktuell in der Herausbildung sind und von einer Veränderung in den Beschreibungskriterien betroffen sind. Für die Bewertung der Veränderung von Arbeit für die betrieblichen Funktionsträger in den aufgeführten Beschreibungskriterien werden bestehende und geplante Umsetzungsprojekte („Anwendungsfälle Industrie 4.0“) herangezogen.

In einem ersten Schritt wird ein solches Projekt erläutert und hinsichtlich des zu lösenden Problems, der Erwartungen hinsichtlich des Nutzens und der Änderungen des Arbeitsprozesses beschrieben. Anschließend werden die betroffenen betrieblichen Funktionsträger ausgewählt. Auf dieser Grundlage erfolgt die Bewertung der Veränderung des Arbeitsprozesses gemäß den Beschreibungskriterien. Dazu wird auf einer fünfstufigen Likert-Skala zwischen den Ausprägungen „starker Anstieg“ (+2), „Anstieg“ (+1), „gleichbleibend“ (0), „Rückgang“ (-1) und „starker Rückgang“ (-2) unterschieden. Im Ergebnis liegt für jeden betrieblichen Funktionsträger eine Profillinie für die ausgelösten Veränderungen seiner Arbeit aufgrund des betrachteten Projekts vor.

Die praktische Anwendbarkeit an konkreten Umsetzungslösungen stand bei der Entwicklung des Ansatzes im Vordergrund. Getestet wurde der Modellansatz gemeinsam mit dem VDI/VDE-IT und den Projekten des Technologieprogramms „Autonomik für Industrie 4.0“ des BMWi sowie mit aktuellen Projekten der Mitglieder des VDI/VDE-Fachausschuss „Arbeitswelt Industrie 4.0“. In den folgenden Kapiteln wird auf einzelne Projekte und deren Relevanz für die Veränderung von Arbeit in Industrie 4.0 näher eingegangen.

3.4 Beispiel 1: Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen für die flexible Produktion in modularen Prozessanlagen

Modulare Prozessanlagen schließen die Lücke zwischen hochproduktiven, aber unflexiblen monolithischen Großanlagen und flexiblen, aber wenig effizienten Batch-Anlagen. Grundgedanke der klassischen modularen Anlagenarchitektur ist es, vollständig qualifizierte Module mit eigener Automation mit minimalem Aufwand zu einer Gesamtanlage zu integrieren. Die Hersteller liefern vollständig automatisierte Module, die dann nur noch zu einer Gesamtanlage zusammengefügt und leitetechnisch integriert

werden. Durch die zunehmende dezentrale Intelligenz und Selbstorganisationsfähigkeit der Module und den konsequenten Einsatz standardisierter Schnittstellen im Zuge der Digitalisierung sinkt der Aufwand für die leitetechnische Integration zunehmend, wodurch eine flexible Restrukturierung der Gesamtanlage zur kontinuierlichen Anpassung an die Marktanforderungen bei immer kleineren Chargengrößen rentabel wird [35]. Zudem können mit den Modulen hochwertige Dienstleistungen des Herstellers verbunden werden. Werden die steigende Flexibilität und Selbstorganisation der technischen Komponenten bei der Gestaltung des Arbeitssystems geeignet berücksichtigt, können sich auch die Leistungsfähigkeit und Zufriedenheit der Beschäftigten durch eine optimale, situationsangepasste Aufgabenunterstützung deutlich erhöhen [36]. Eine solche Unterstützung erfordert integrierte Informations- und Interaktionsräume, die ein kooperatives, verteiltes Arbeiten an und mit dem technischen System ermöglichen [37]. Diese Vision wird die Arbeitswelt für die verschiedenen betrieblichen Funktionsträger in vielen Aspekten verändern (vgl. Bild 4). Die Daten wurden im Rahmen eines Kooperationsprojekts in zwei Unternehmen der chemischen Industrie erhoben.

Es wird eine zunehmende Automatisierungsschere zwischen Fachkräften und der Führungsebene sowie eine Zunahme komplexer Aufgaben insbesondere bei Fachkräften erwartet, da einfache Tätigkeiten weiter automatisiert und Handlungsspielräume und Selbstbestimmung der Fachkräfte durch die Selbstorganisationsfähigkeit der technischen Systeme weiter eingeschränkt werden. Insbesondere in den operativen Führungsebenen (Meister, Betriebsingenieure) wird hingegen ein größeres Maß an Planungsarbeit prognostiziert. Es wird weiterhin von einer erheblichen Dynamisierung des Arbeitsraums von Fachkräften bei Betreibern kontinuierlicher Prozessanlagen erwartet.

Mitarbeiter bei Batch-Anlagenbetreibern kennen diese Dynamik bereits. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, wird eine zunehmende Notwendigkeit von stationären Vor-Ort-Panels und auch von mobilen Endgeräten erwartet, da von einer erheblich zunehmenden IT-Unterstützung heutiger Arbeitsabläufe ausgegangen wird. Damit einhergehend wird eine stärkere Formalisierung und Kontrolle ebendieser Arbeitsabläufe erwartet, und man erhofft sich eine stärkere Integration von Gewerken innerhalb und über Produktionsphasen hinweg. Die Arbeitsorganisation wird daher zunehmend flexibel und Gewerke übergreifend gestaltet, mit größerer Verantwortung für die operativen Führungsebenen bei gleichzeitig stärkerer Formalisierung der Prozesse auch für diese Funktionsträger. Entsprechend werden höhere Anfor-

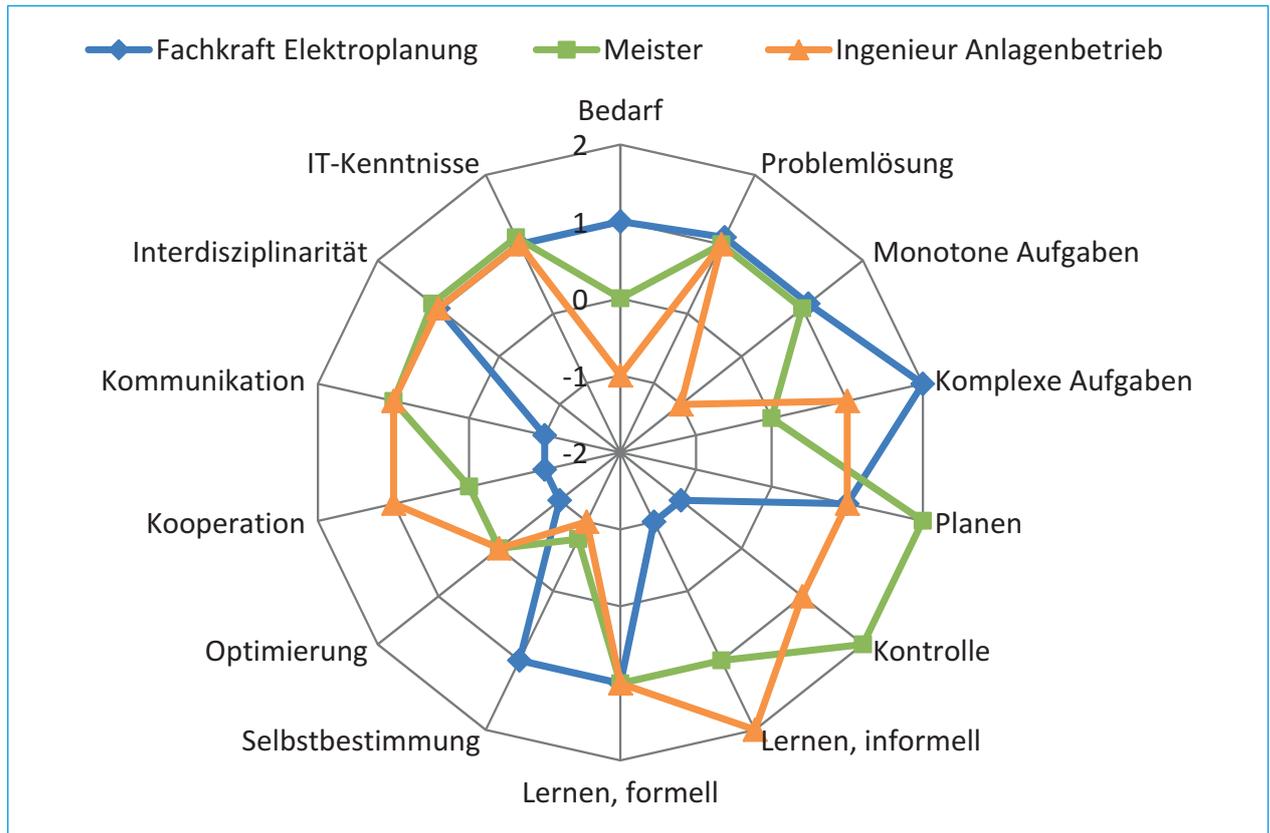


Bild 4. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger in modularen Industrie 4.0-Prozessanlagen; „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

derungen an die Qualifikation dieser Funktionsträger gestellt. Insbesondere die soziale Kompetenz (Kommunikation, interdisziplinäre und kooperative Arbeit) wird zunehmend an Bedeutung gewinnen.

3.5 Beispiel 2: CyProS - Assistenzsystem für die variantenreiche Montage

Die Rahmenbedingungen im Produktionsumfeld haben sich in eine Richtung verändert, in der Kunden vermehrt nach individualisierten Produkten fragen. Stillschweigend wird dabei das gleiche Qualitäts- aber auch Preisniveau wie bei Großserienprodukten vorausgesetzt. In der Herstellung dieser kundenindividuellen Produkte führt diese Entwicklung zu steigender Varianz und Komplexität der Produkte sowie der hierfür erforderlichen Herstellungsprozesse. Ein wichtiger Bestandteil in diesen Prozessen ist die Montage der Produkte. Die Aufgabe der Montage besteht darin, aus Teilen, die mittels unterschiedlicher Verfahren hergestellt wurden, ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebener Funktion in einem vorgegebenen Zeitrahmen herzustellen. Neben Kostensenkungen

müssen vor allem die Effizienz, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit gesteigert und verbessert werden. Aufgrund der steigenden Herausforderungen und zunehmenden Bedeutung der variantenreichen Montage in der Produktion wird hierfür ein Assistenzsystem als Anwendungsfall dargestellt, der im Forschungsprojekt CyProS erarbeitet wurde. Dieses zeichnet sich durch eine situationsgerechte Aufbereitung von Informationen, anforderungsbezogene Wissensdarstellung sowie Interaktionsmöglichkeiten für den Montagemitarbeiter aus. Der Einsatz des Assistenzsystems in der variantenreichen Montage stellt eine Möglichkeit zur Digitalisierung und Mitarbeiterunterstützung dar. Die grundlegende Aufgabe ist die Bestimmung der passenden Modalität, z. B. Sprach- und Gestik-Eingaben, eine geeignete Informationsbereitstellung und die Gestaltung eines durchgängigen Workflows zu den jeweiligen Arbeitsschritten der Montage. Dabei stellt die Benutzerinteraktion mit Assistenzsystemen einen Kernpunkt für die Akzeptanz dieses Systems dar und wurde bei der Entwicklung in den Fokus gestellt.

Das Anwendungsszenario zur Untersuchung der Auswirkungen der Digitalisierung, in Form eines Assistenzsystems auf die zukünftige Arbeitswelt,

bildet ein Arbeitsplatz zur Montage eines variantenreichen Getriebes. Das Montageszenario stellt die mehrstufige Produktion eines Zahnradgetriebes dar und verfolgt die Zielsetzung, die Einsatzflexibilität von ungelerten Beschäftigten zu erhöhen. Aus diesem Szenario lassen sich die grundlegenden innerbetrieblichen Aufgaben zur Informationsbereitstellung für den Werker bis zum Aufbau eines Workflows ableiten und diskutieren. Mit der Integration und dem Betreiben eines Assistenzsystems resultieren zudem unterschiedliche Aufgaben und Tätigkeiten vom Applikations-Spezialisten der IT bis zum Meister in der Produktion.

Bild 5 zeigt die vielfältigen Veränderungen und Auswirkung auf die Arbeitstätigkeiten eines ungelerten Monteurs und Applikationspezialisten durch die Einführung eines Assistenzsystems.

Die Gruppe von ungelerten Beschäftigten wird in Zukunft von Assistenzsystemen in der Produktion profitieren (vgl. Bild 5).

Durch die schnellere und effektivere Einarbeitung in den Montageprozess ergeben sich neue Einsatzgebiete.

te. Zudem können auch komplexere Montageprozesse von ungelerten Beschäftigten erledigt werden.

Die Kommunikation während der Arbeitszeit zu anderen Kollegen wird voraussichtlich tendenziell abnehmen. Der Grund hierfür ist die höhere Eigenständigkeit bei der Erledigung der Arbeiten. Auch der Bereich der Applikations-Spezialisten in den Unternehmen wird sich zunehmend verändern. Hier ist der Auslöser eine verstärkte Kommunikation mit anderen Fachbereichen, einer steigenden Interdisziplinarität, Ausweitung der IT-Kenntnisse in die Produktionssysteme und deren Anforderungen. Durch die vermehrte Nutzung digitaler Medien im Produktionsumfeld kommt es zu einer verstärkten Zusammenarbeit z. B. mit den Werkern und Meistern in der Montage.

Die Montage gilt insbesondere unter Berücksichtigung zukünftiger Herausforderungen, z. B. dem demografischen Wandel, als essenzielles Handlungsfeld für Assistenzsysteme. Im Zuge der Digitalisierung bieten sich hier vielseitige Einsatzpotenziale, die eine effiziente und qualitätsorientierte Montage sicherstellen und den Arbeitsplatz sichern.

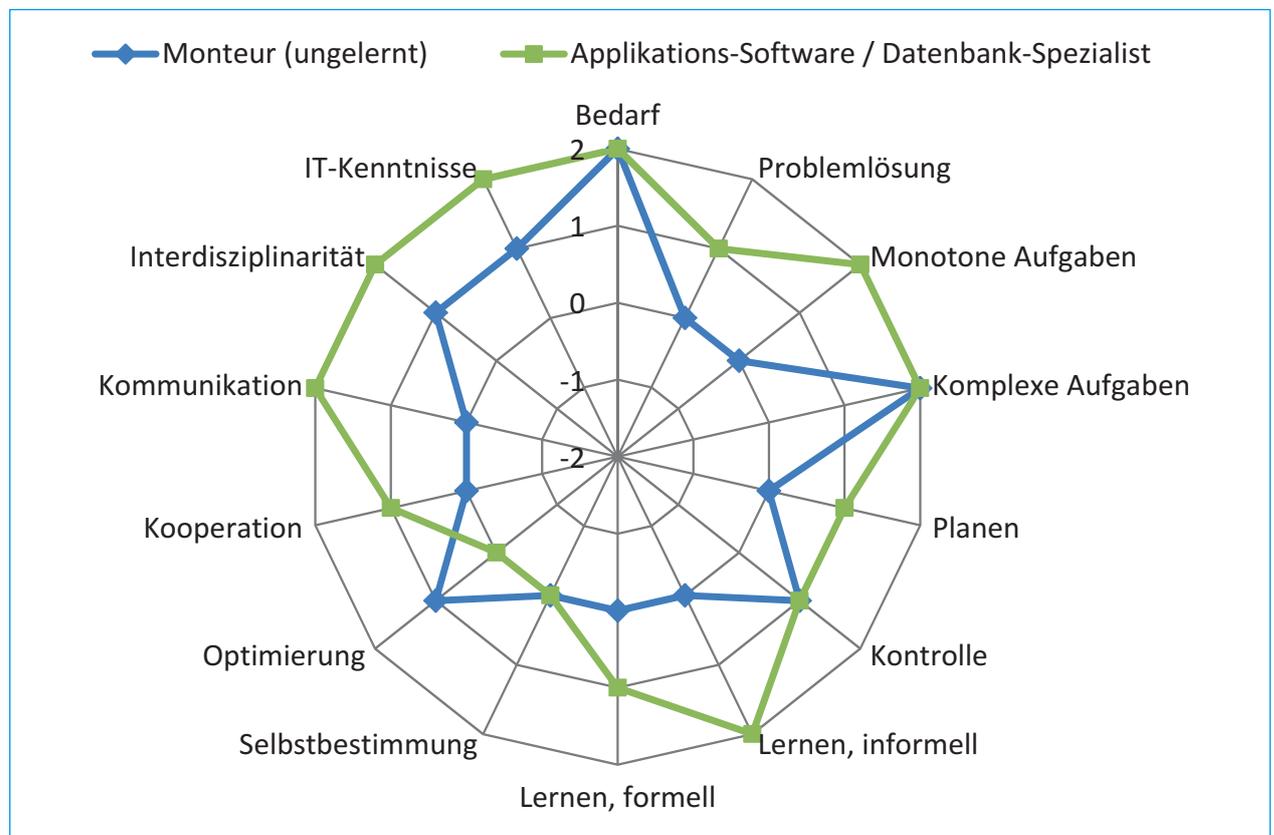


Bild 5. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel CyProS „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

3.6 Beispiel 3: KapaflexCy – Flexible Kapazitätssteuerung mittels Social Media

In dem Forschungsprojekt KapaflexCy werden Lösungen entwickelt, die es Unternehmen erlauben ihre Produktionskapazitäten gemeinsam mit den Beschäftigten hochflexibel, kurzfristig und unternehmensübergreifend zu steuern [38].

Heute erfolgt vor allem die kurzfristige Personaleinsatzplanung immer noch mündlich oder papierbasiert. Teamleiter und Schichtführer koordinieren unter hohem Aufwand die An- und Abwesenheitszeiten der Arbeitskräfte, fordern Unterstützung durch Teilzeitkräfte und Aushilfen an und planen den Einsatz von Leiharbeitskräften. Hierfür kommunizieren sie täglich mit ihren Mitarbeitern, den Personalbetreuern, weiteren Teamleitern und Zeitarbeitsfirmen – in der Regel mündlich per Telefon oder E-Mail [39; 40].

Das Ergebnis des Forschungsprojekts KapaflexCy ist eine Social-Media-Methode bzw. eine App, die es den Beschäftigten erlaubt sich eigenverantwortlich über kurzfristige Änderungen im Schichtplan mittels mobiler Endgeräte wie Smartphones abzustimmen. Bei Schichtänderungen erhalten alle infrage kommenden Mitarbeiter Einsatzanfragen und können in einer Gruppenabstimmung „live“ an der Entscheidung mitwirken (vgl. Bild 6) [38].



Bild 6. Mobilgeräte und Social Media zur Schichtabstimmung

Bei dem Einführungsprozess dieser Anwendungslösung in Unternehmen sind vor allem der Umgang mit mitarbeiterbezogenen Daten, IT- und Datensicherheit, verschmelzenden Arbeitszeiten sowie die technische Ausstattung der Mitarbeiter wichtige Gestaltungsaufgaben [38; 41].

Die Nutzung mobiler Endgeräte beschleunigt die Abstimmungsprozesse zwischen Mitarbeitern, die besser erreichbar sind und einfacher kommunizieren können. Zudem entkoppelt der Einsatz von Social Media die Entscheidungsfindung von einer räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit. Die Vorteile einer selbstorganisierten Kapazitätsflexibilität bestehen für die Unternehmen in einer kurzen Reaktionszeit bei schwankenden Kapazitätsbedarfen, einem reduzierten Aufwand für die Kapazitätssteuerung – vor allem für die Teamleiter und Schichtführer – und einem produktiveren Einsatz der Produktionsmitarbeiter. Gleichzeitig erleben die Beschäftigten eine transparente, eigenverantwortliche Personaleinsatzplanung, die Belange von Arbeit, Familie und Freizeit besser auszugleichen vermag [38; 41].

Für die direkten betrieblichen Funktionsträger wie z. B. den Monteur oder den Intralogistiker ändern sich durch die Lösung des Forschungsprojekts KapaflexCy zunächst keine zentralen Inhalte im Sinne ihrer eigentlichen Arbeitsaufgabe. Allerdings nehmen planerische und kontrollierende Nebentätigkeiten der betroffenen Beschäftigten zu, da sie aktiv in den Prozess der Schichtplanung eingebunden sind (vgl. Bild 6). Dadurch steigt die Möglichkeit der Selbstbestimmung und der eigenen Optimierung (z. B. im Sinne der Entscheidung Freizeit versus Arbeit) als auch die Möglichkeit zur Kooperation und Kommunikation mit anderen Kollegen (z. B. Abstimmung der Gruppe über eine Zusatzschicht). Als Voraussetzung hierfür müssen die betroffenen Beschäftigten ein ganzheitliches Prozessverständnis für die Schichtplanung erlernen und eigenverantwortlich im Einklang mit neuen „Spielregeln“ an dem Prozess teilnehmen. Der Umgang mit mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets muss sicher beherrscht werden und das Wissen über bestehende IT-Gefahren muss im täglichen Umgang mit dem System verinnerlicht sein.

Für die indirekten betrieblichen Funktionsträger wie den Meister, Teamleiter oder Schichtführer ermöglicht die Umsetzung dieses digitalen Abstimmungstools eine klare Aufwandsreduktion (vgl. Bild 7). Zeitraubende und monotone Arbeitsaufgaben wie das „Abtelefonieren“ einzelner Mitarbeiter und Versenden von E-Mails entfällt. Die Planungsqualität verbessert sich und der Aufwand zur kurzfristigen Steuerung wird weniger bei maximaler Transparenz im Schichtpla-

nungsprozess. Die Digitalisierung des Prozesses und die bessere Datengrundlage ermöglichen informelles Lernen der planenden Mitarbeiter. Beispielsweise können Qualifizierungsbedarfe für bestimmte Arbeitsaufgaben und Mitarbeiterbedarfe besser identifiziert und quantifiziert werden. Die indirekten betrieblichen Funktionsträger haben durch die Social-Media-Anwendung einen weiteren Kommunikationskanal mit dem Mitarbeiter erreicht werden können. Hierdurch entstehen Möglichkeiten zur Selbstbestimmung und Optimierung. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an den Umgang mit digitalen Medien. Beispielsweise müssen aufgrund der Entzerrung von zeitlicher-räumlicher Arbeitszeit neue „Spielregeln“ und Vertrauensgrenzen entwickelt werden.

3.7 Beispiel 4: SozioTex - Bedienung von Webmaschinen

Es handelt sich hier um eine verkürzte Use-Case-Darstellung aus [42].

Die mittelständisch strukturierte Textilbranche stellt in Deutschland einen bedeutenden Zweig des produzierenden

Gewerbes dar. Der Fokus der Textilproduktion in Deutschland liegt zunehmend auf dem Bereich der technischen Textilien. Industrielle Textilmaschinen dienen zur Herstellung von unterschiedlichsten Produkten z. B. in den Bereichen Medizintechnik, Bekleidung, Leichtbau, Autointerieur [43]. Sinkende Losgrößen bei gleichzeitig steigender Produktvielfalt erhöhen den Rüstaufwand. Gerade im Segment der technischen Textilien werden Prozessschritte der textilen Prozesskette immer stärker automatisiert, so z. B. beim Weben technischer Textilien, ihrer Veredelung oder Konfektionierung. Der Erfolg der Textilproduzenten in Deutschland ist u. a. abhängig vom Einsatz innovativer, effizienter und Ressourcen schonender Produktionsverfahren. [44; 45].

Als Beispiel für textile Produktionsstätten in Deutschland wurde die Produktionsarbeit in ausgewählten Webereien untersucht. Die Bedienung und Instandhaltung moderner Webmaschinen wird zunehmend komplexer, da die Zahl an elektronischen Komponenten wie Sensoren und Steuerungsmodulen steigt [46]. Dieser Trend weg von mechanischen Komponenten hin zu mechatronischen Systemen erfordert erweiterte Kompetenzen der Belegschaft im Umgang mit den Webmaschinen. Um die Anschluss- und Innovations-

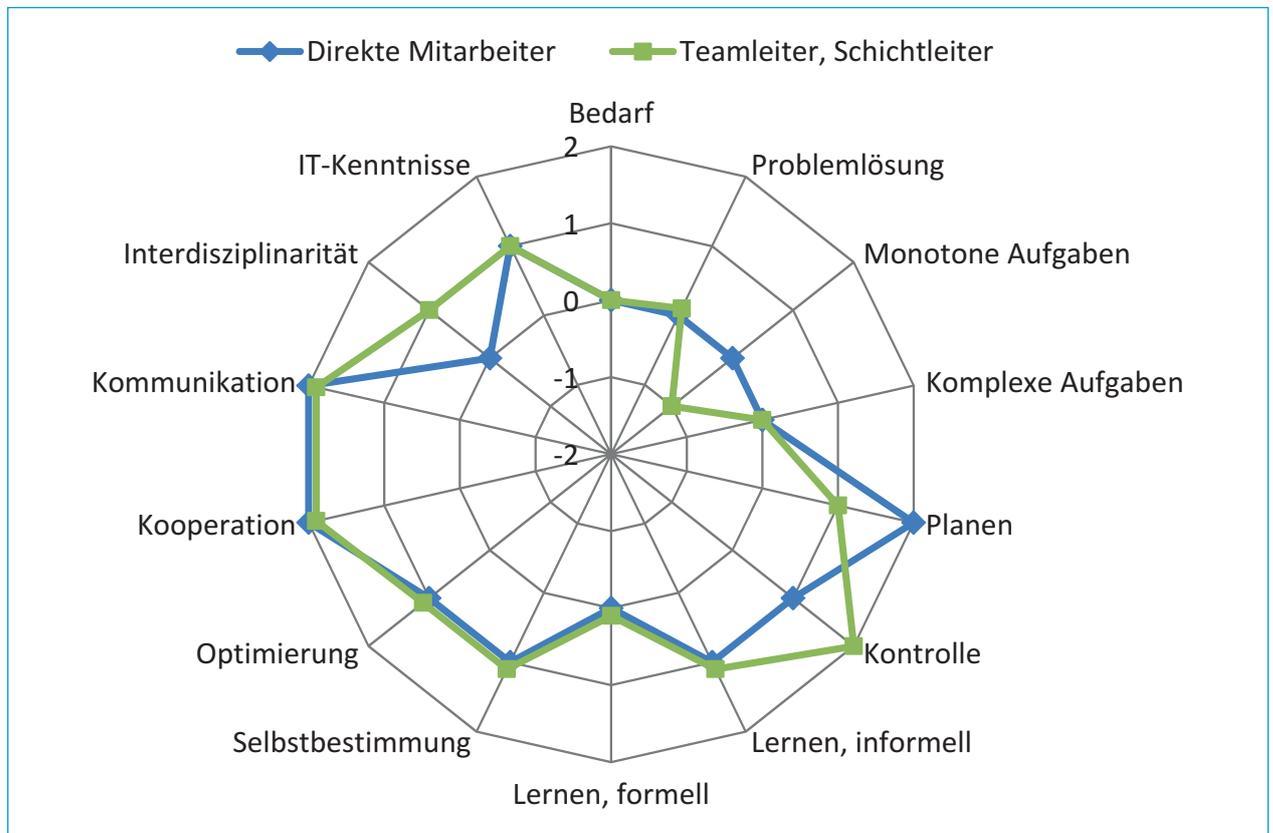


Bild 7. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel KapaflexCy „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

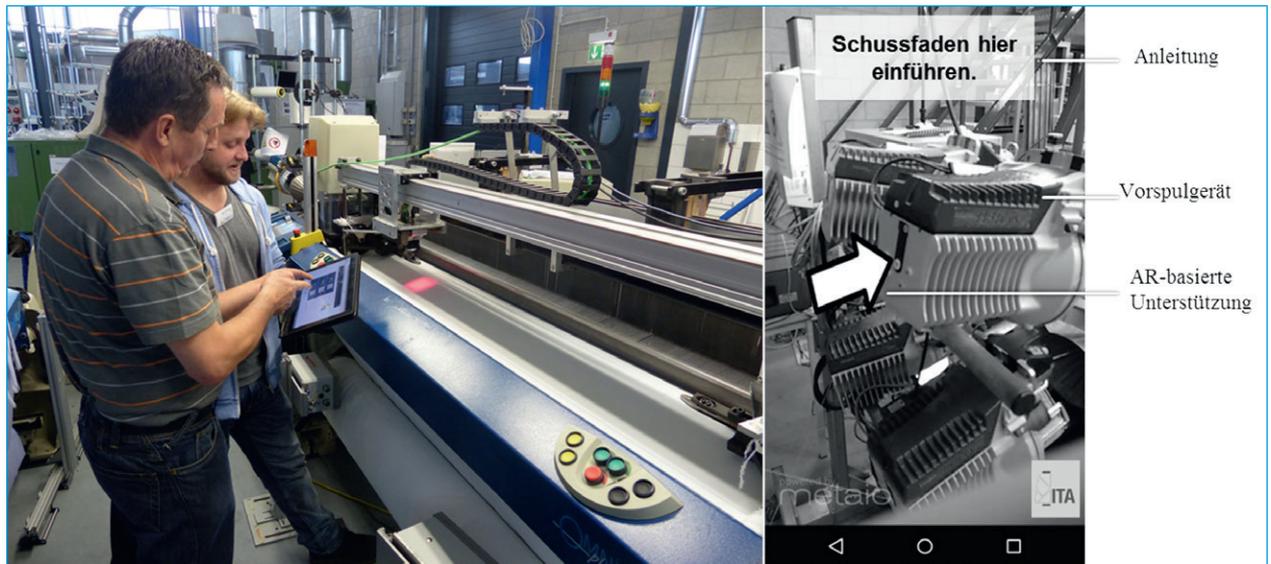


Bild 8. Webmaschinenbedienung mit Unterstützung eines mobilen Assistenzsystems

fähigkeit durch zunehmende Vernetzung physischer Objekte und virtueller Instanzen („Industrie 4.0“) zu sichern, ist die Entwicklung und Implementierung intelligenter Mensch-Textilmaschinen-Schnittstellen ein zentrales Handlungsfeld [47; 48]. Ein Lösungsansatz hierzu ist die Bereitstellung von Assistenzsystemen als technische Hilfsmittel zur Unterstützung der Beschäftigten bei bestimmten Situationen und Handlungen in der Weberei [49 bis 51].

Für die Umsetzung eines Assistenzsystems zur Arbeitsunterstützung in Webereien eignet sich z. B. ein Tablet in Verbindung mit Augmented Reality (AR) (vgl. Bild 8) [52]. Die für AR benötigte Rechenleistung und Sensorik ist unlängst auf mobilen Geräten angekommen.

In diesem Beitrag wird beispielhaft eine Weberei für technische Gewebe eines KMU betrachtet. Es werden 28 unterschiedliche Webmaschinen eingesetzt bei einer Gesamtzahl von 70 Webmaschinen im Betrieb. Es kommt nicht selten vor, dass zeitgleich auf allen Webmaschinen unterschiedliche Artikel, in diesem Fall Gewebe, hergestellt werden. Der Großteil der Arbeitspersonen führt keine Anlernertätigkeiten aus, sondern hat eine entsprechende Berufsausbildung, z. B. Textilmaschinenführer, durchlaufen. Im betrachteten Use-Case arbeiten Maschinenführer/-innen, Maschinenmechaniker/-innen, Meister/-innen und Schichtleiter/-in an allen Webmaschinen.

Die Umsetzung neuer Produktionstechniken, z. B. die Maschinenentwicklung hin zu CPS, und Einbindung von Assistenzsystemen bewirken Veränderungen in den Prozessen, Arbeitsstrukturen und Aufgaben der Beschäftigten auf allen Ebenen. Durch die Einfüh-

rung von Industrie 4.0 in die Webereien bleibt der Bedarf an Beschäftigten eher gleich, es besteht aber die Möglichkeit flexiblere Einsatzmöglichkeiten der Belegschaft zu schaffen. Mithilfe von Assistenzsystemen können die Beschäftigten Probleme im Eintrittsfall aufgrund von Sensorik und Auswertungssoftware schneller erkennen bzw. erfassen. Die Zahl monotoner Aufgaben wird abnehmen, u. a. weil das monotone Ablaufen von Runden um die Maschinen teilweise entfällt bzw. neu gestaltet werden kann. Hierdurch entstehen neue Freiheitsgrade für komplexe Aufgaben z. B. Reparaturen, die bisher eher auf höheren Ebenen (Meister/-in, Schichtleiter/-in) geleistet wurden. Somit nehmen auch die Planungs- und Kontrollmöglichkeiten zu. Grundständige Berufsausbildung sowie Schulungen für neue Maschinengenerationen werden weiterhin notwendig sein. Durch die zunehmenden Möglichkeiten informellen Lernens z. B. mithilfe von Konzepten des Mobile Learnings innerhalb des Assistenzsystems, kann u. a. der Transfererfolg vom Lernfeld in das Funktionsfeld erhöht werden. Informelles Lernen ist notwendig, um die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten aufrecht zu erhalten und diese zielgruppenspezifisch zu qualifizieren. Durch die zunehmende Anzahl von Automatisierung- und IT-Komponenten, z. B. Sensoren und Schnittstellen zu IT-Systemen, an den Webmaschinen nehmen die Anforderungen an IT-Kenntnisse der Produktionsbelegschaft zu.

Da sich die Arbeitsinhalte teilweise ändern werden, sind erweiterte und veränderte Kompetenzen bei der Belegschaft notwendig (vgl. Bild 9). Eine lernförderliche Gestaltung der Assistenzsysteme unterstützt den geforderten Kompetenzaufbau. Um der Adressatenorientierung und der Akzeptanz durch die späteren

Nutzer gerecht zu werden, stehen die Mitarbeiter mit ihren individuellen Bedürfnissen im Analysefokus der Gestaltung von kommunikations- und lernförderlichen Systemkomponenten. Unter diesem Ansatz können Blockaden von Mitarbeiterseite aus zu den neuen Fertigungsprozessen gemindert werden. Die zu entwickelnden Prozesse müssen dem Mitarbeiter Verantwortungsfreiräume und Möglichkeiten zur selbstverantwortlichen Lösungsfindung geben.

Die Umsetzung von technologisch komplexen Systemen, wie beispielsweise die Einführung neuer Produktionstechniken im Rahmen von „Industrie 4.0“-Lösungen muss zu arbeitsintegrierten, soziotechnischen Assistenz- und Arbeitssystemen führen. Vor allem das ständig wechselnde Zusammenspiel von Beschäftigten, Maschinen, Steuerungssystemen und Arbeitsorganisationssysteme muss von dem Punkt aus betrachtet werden, dass die Technologie den Menschen dienen soll und nicht umgekehrt. Um neue soziotechnische Assistenzsysteme zu entwickeln, wurde dank der Förderung durch die BMBF-Fördermaßnahme im Rahmen des Wettbewerbs „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau im Forschungsschwerpunkt Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen

Wandel“ die Nachwuchsforschungsgruppe SozioTex (www.soziotex.de) an der RWTH Aachen University etabliert.

3.8 Beispiel 5: SmARPro - Erweiterte Horizonte durch den Einsatz von Wearables in der Logistik

In diesem Beispiel wird ein Anwendungsfall aus dem BMBF-Forschungsprojekt SmARPro (Smart Assistance for Humans in Production Systems) vorgestellt. Der Fokus hierbei liegt auf der intelligenten Integration des Menschen in Prozesse der Industrie 4.0 mithilfe von kontextbasierter Informationsdarstellung über Wearables. Es handelt sich hier um eine verkürzte Use-Case-Darstellung aus [53].

Das Projekt SmARPro hat sich zum Ziel gesetzt, den Menschen in komplexe Systeme und Prozesse zu integrieren, ohne ihn durch die Vielzahl an prozessspezifischen Informationen zu überfordern. Hierfür werden in SmARPro individuell an die jeweilige Person angepasste Informationsdarstellungen entwickelt. Diese sollen sowohl den Kontext als auch individuelle

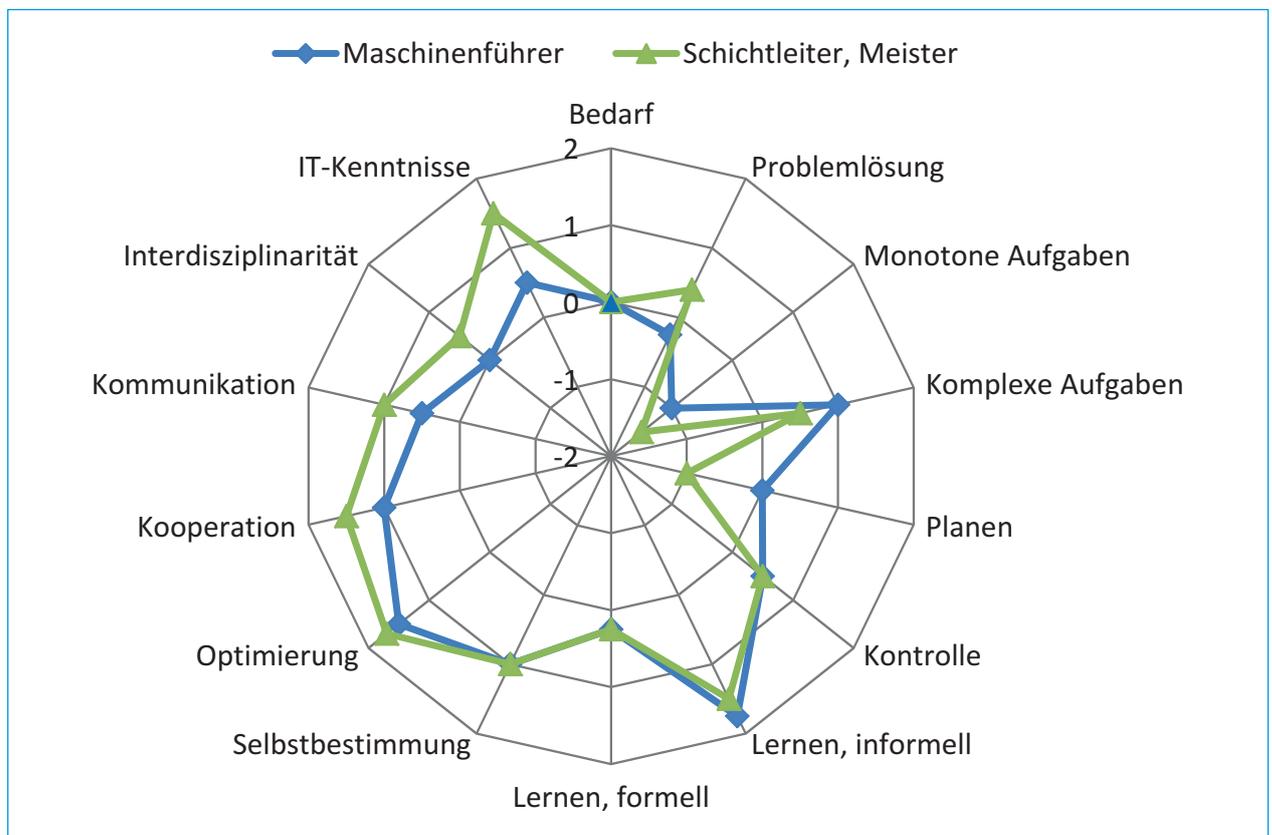


Bild 9. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel SozioTex „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

Eigenschaften sowie Bedürfnisse des Mitarbeiters berücksichtigen. Der Kontext setzt sich aus mehreren Parametern zusammen, die unter anderem die Rolle des Mitarbeiters und seinen aktuellen Ort beinhaltet. Hinzu kommen individuelle Parameter, die neben der bevorzugten Sprache und altersabhängigen Darstellungseigenschaften auch persönlich bevorzugte Darstellungsformen des Mitarbeiters berücksichtigen. Aus all diesen Parametern werden in SmARPro Darstellungsmodelle definiert, die für jede Person und jeden Kontext vorgeben, welche Informationen auf welche Weise dargestellt werden sollen. Die Darstellung der Informationen erfolgt auf Wearables wie Datenbrillen. So können beispielsweise Handlungsanweisungen direkt im Sichtfeld des Benutzers angezeigt werden, ohne dass er die Arbeit für das Erfassen der Anweisungen unterbrechen muss.

Neben der Art der Darstellung ist die Wahl der darzustellenden Informationen entscheidend für einen funktionierenden Prozess. Innerhalb des Projekts werden eingehende Daten durch die Plattform, basierend auf kontextabhängigen Parametern, so aufbereitet, dass nur die Informationen an den Mitarbeiter weitergegeben werden, die er zum aktuellen Zeitpunkt benötigt. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass fehlende Informationen zu fehlerhaften Prozessen führen können. Darüber hinaus verursacht eine zu große Menge an Informationen, dass der Mitarbeiter länger für deren Aufnahme und Interpretation benötigt. Zudem kann es durch die Informationsflut dazu kommen, dass wichtige Informationen nicht die benötigte Aufmerksamkeit des Mitarbeiters erhalten.

Durch die individuell angepasste Informationsdarstellung sowie die Reduktion der dargestellten Informationen auf die wesentlichen Elemente kann die Informationsaufnahme schneller erfolgen. Dies ermöglicht auf der einen Seite eine schnellere Prozessbearbeitung durch weniger Unterbrechungen und erhöht andererseits die Akzeptanz des Benutzers durch eine Reduktion des Frustrationsfaktors für den Mitarbeiter.

Zusammenfassend werden folgende Vorteile durch den Einsatz des SmARPro-Systems erwartet:

- Reduktion der Komplexität der Informationen erleichtert die Informationsaufnahme
 - weniger Fehler bei der Informationsaufnahme (Missverständnisse vermeiden)
 - schnellere Erfassung der Inhalte
 - Verringerung der kognitiven Belastung
- Anzeige der Informationen im Sichtfeld des Benutzers durch den Einsatz von Datenbrillen und Augmented Reality

- Hände frei
- Informationsaufnahme ohne Unterbrechung der Arbeit
- individuell angepasste Informationen
 - bessere Integration von Menschen mit Migrationshintergrund
 - Berücksichtigung möglicher körperlicher Beeinträchtigungen
 - Verbesserung von Lernprozessen

Am Beispiel typischer Szenarien der Intralogistik werden in SmARPro unterschiedliche Funktionsträger intralogistischer Prozesse mithilfe der kontextbasierten Informationsdarstellung über Wearables unterstützt. Dies beginnt bei der Wareneingangskontrolle, geht über die Ein- und Auslagerung von Waren und geht bis zum Lagerleiter, der den Gesamtablauf immer im Blick haben möchte (vgl. Bild 10).

Die Verwendung kontextbasierter Informationen sowie deren Darstellung über Wearables wirken sich in den Analysen des Projekts nicht auf den eigentlichen Personalbedarf oder die Komplexität der Arbeiten aus. Viel mehr erweitert sich durch die verbesserte Kommunikation und die gesteigerte Kooperation zwischen den Mitarbeitern der Aktionsradius bzw. Interdisziplinarität des bestehenden Personals.

Durch die Anzeige prozessspezifischer Lösungsvorschläge reduziert sich der Bedarf an individuellen Problemlösungen sowie einer spezifischen Planungskompetenz des Mitarbeiters. Auf der anderen Seite erhält der Mitarbeiter durch die kontextbasierte Informationsdarstellung von Livedaten deutlich mehr Möglichkeiten, kontrollierend in Prozesse einzugreifen. Darüber hinaus entfallen durch punktuelle Arbeitsanweisungen formelle Lernprozesse. Dies führt dazu, dass Mitarbeiter schneller in neue Prozesse eingeführt werden können.

3.9 Beispiel 6: motionEAP – Assistenzsysteme für manuelle Montage- und Kommissioniertätigkeiten

Bei dem vorliegenden Beitrag handelt es sich um eine verkürzte Use-Case-Darstellung aus [54].

Im Rahmen des Forschungsprojekts „motionEAP“ werden anwender- und prozessorientierte Assistenzsysteme für manuelle Montage- und Kommissioniertätigkeiten entwickelt, prototypisch umgesetzt und evaluiert. Im Zuge eines nutzerorientierten Entwicklungsprozesses sollen dabei sowohl die Anforderungen

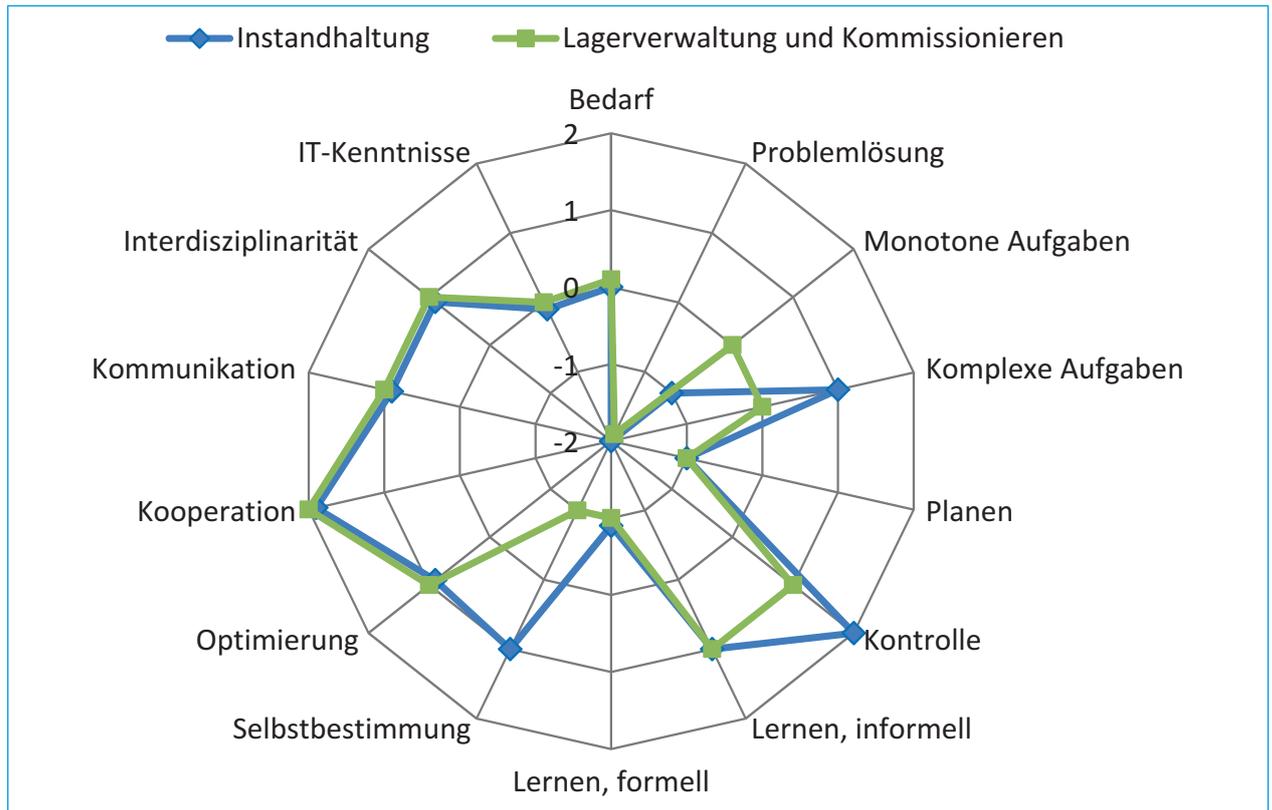


Bild 10. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel SmARPro „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

der leistungsgeminderten Nutzergruppe, als auch die der späteren Anwender der Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) bzw. der entsprechenden Industrieunternehmen miteinander kombiniert werden. Die Entwicklung, Umsetzung und Evaluierung erfolgt als interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Experten aus den Fachgebieten Maschinenbau, Informatik, Pädagogik, Psychologie und Ethik. Die Ziele der Assistenzsysteme können wie folgt zusammengefasst werden:

- Ermöglichung der Inklusion und Wiedereingliederung von leistungsgeminderten und -gewandelten Personen in industrielle Arbeitsumgebungen
- Reduzierung der kognitiven Arbeitsbeanspruchung und des Stresslevels der Mitarbeiter während der Arbeitstätigkeit
- Verringerung der Komplexität und des Aufwands bei der Einarbeitung von Mitarbeitern mit unterschiedlichem Leistungsniveau und fachlichem Hintergrund in neue Tätigkeitsgebiete
- Steigerung der Motivation und Arbeitsfähigkeit von älteren und leistungsgeminderten Mitarbeitern und Reduzierung der Anzahl an Produktionsfehler
- Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit von deutschen ErKstätten für behinderte

Menschen (WfbM) und Industrieunternehmen bei manuellen Industrietätigkeiten

Das motionEAP-Montageassistenzsystem besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem Kamerasystem (Microsoft Kinect) und einem Projektierungsgerät (Beamer). Beide Einheiten werden über einen PC mit einer speziell dafür entwickelten Assistenzsoftware gesteuert. Durch den modularen Hardwareaufbau kann das Assistenzsystem an bzw. über fast jedem herkömmlichen Montagearbeitsplatz angebracht werden.

Der Einsatz und die Verwendung des motionEAP-Montageassistenzsystems betrifft vor allem das direkte Montageumfeld mit dem jeweils ausführenden Montagemitarbeiter sowie dem zuständigen bzw. verantwortlichen Montagevorarbeiter (vgl. Bild 11). Die ausführenden Montagemitarbeiter lassen sich zudem in die zwei Anwendergruppen der leistungsgeminderten und der normal leistungsfähigen Mitarbeiter unterteilen.

Die positivsten Auswirkungen und Veränderungen durch den Einsatz des Montageassistenzsystems sind für die leistungsgeminderten Mitarbeiter zu erwarten.

Denn durch die individuelle kognitive Unterstützung können gerade lernschwache Mitarbeiter, die bisher nicht für industrielle Arbeitstätigkeiten eingesetzt werden konnten, zu komplexen Füge- und Montageaufgaben befähigt werden. Bedingt durch diese Veränderung kann diese Personengruppe für ein deutlich breiteres Aufgabenspektrum eingesetzt werden, wodurch wiederum der Bedarf an Mitarbeitern deutlich ansteigt und die Möglichkeit des informellen Lernens stark angehoben wird. Durch die Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Arbeitsaufgaben, der Festlegung des eigenen Arbeitstempos und der Reihenfolge der auszuführenden Tätigkeit (sofern prozesstechnisch möglich) wird der Selbstbestimmungsgrad der Mitarbeiter erhöht. Durch den Einsatz von verschiedenen adaptiven Feedback-Leveln wird den Mitarbeitern die Möglichkeit gegeben, den Prozessablauf ihrer Arbeitsaufgabe zu optimieren und Fehler bzw. Probleme selbstständig und ohne fremde Unterstützung von außen zu beheben. Darüber hinaus ermöglicht die individuelle Unterstützung die Kooperation zwischen Mitarbeitern z. B. durch verkettete Arbeitsplätze.

Diese verschiedenen Veränderungen stellen einen wichtigen Ansatz zur zielgerichteten Unterstützung und Förderung der Inklusion und Partizipation von

Menschen mit Einschränkungen in die bzw. an der Arbeitswelt dar. Zusätzlich kann der Einsatz eines Montageassistenzsystems einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Position von deutschen WfBM und Industrieunternehmen im internationalen Wettbewerb um niedrigere Lohnkosten bei gleichzeitiger Individualisierung von Produkten und einer Reduzierung der Losgrößen darstellen.

Für die Dimensionen der Arbeitstätigkeit, des Arbeitsmittels, des Arbeitsorts und der Arbeitsorganisation bedeutet der Einsatz des motionEAP-Montageassistenzsystems, vor allem eine Unterstützung und Erfüllung der Anforderungen bezüglich einer Vernetzung und Digitalisierung der Prozessschritte innerhalb der Produktion bzw. des Unternehmens.

Zudem ist aufgrund der Unterstützung des Assistenzsystems selbst bei komplexen Montagetätigkeiten mit einer großen Anzahl an Arbeitsschritten nicht mehr länger eine hohe Qualifikation, Fachkompetenz und Betreuung erforderlich. Selbst unerfahrene oder leistungsgeminderte Mitarbeiter können bereits beim ersten Montagedurchlauf Aufträge mit hoher Variantenvielfalt und ohne vorherige Einweisung fehlerfrei und mit niedriger kognitiver Beanspruchung durchführen.

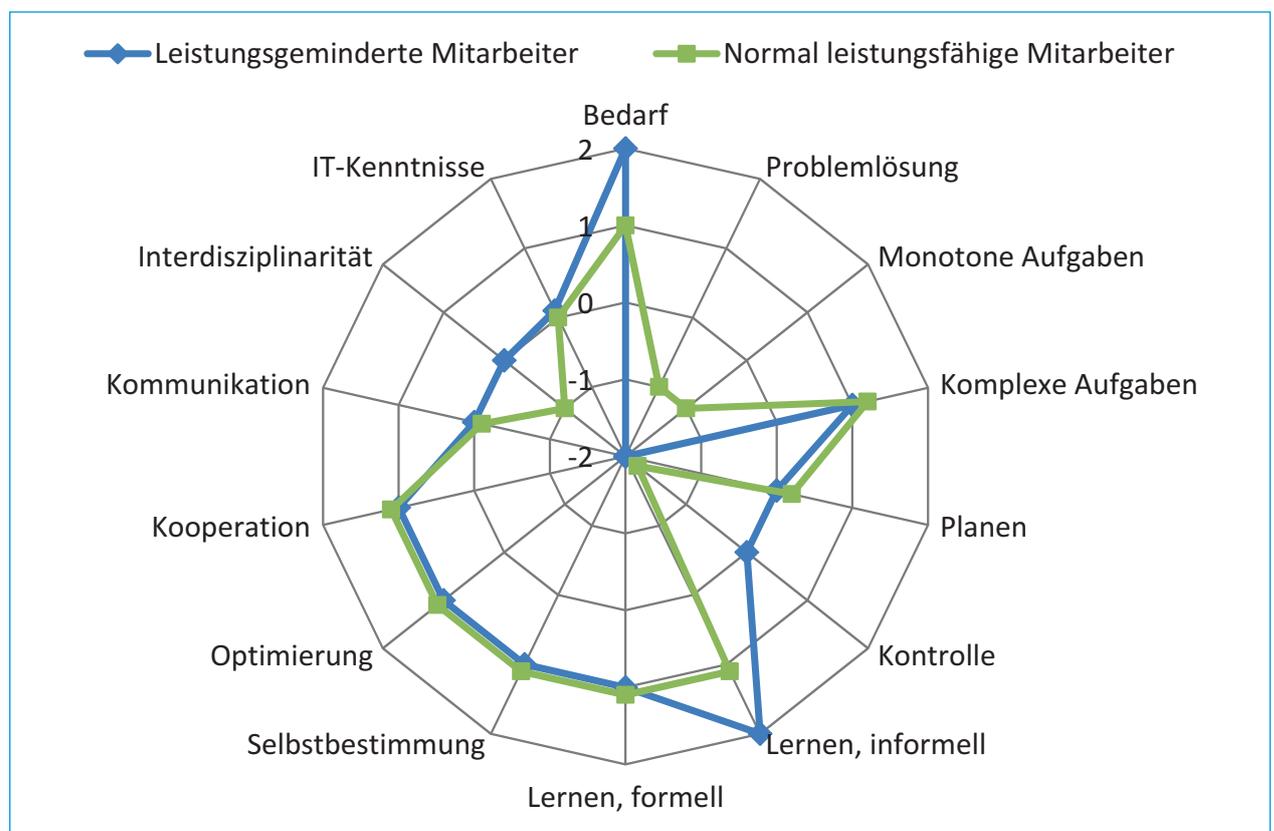


Bild 11. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel motionEAP „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

3.10 Beispiel 7: MANUSERV – Industrielle Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage

Es handelt sich hier um eine verkürzte Use-Case-Darstellung aus [55].

Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen in Richtung einer zunehmend durch Industrie 4.0 geprägten Arbeitswelt besteht das Ziel des vom BMWi geförderten Forschungsprojekts MANUSERV im Abbau praxisseitig bestehender Automatisierungshemmnisse. Konkret wird dabei eine webbasierte Planungsumgebung entwickelt, die die Potenziale industrieller Servicerobotiksysteme mit den spezifischen Anforderungen manueller Arbeitssysteme und -prozesse abgleicht. Auf diese Weise werden dem industriellen Anwender für ausgewählte manuelle Arbeitsprozesse technisch implementierbare, (teil-)automatisierte Gestaltungslösungen sowie die entsprechenden hybriden Ablauffolgen bereitgestellt [56]. Die hier zugrunde liegende Gesamtsystematik wurde zur Absicherung einer hinreichenden Funktionalität und Praxistauglichkeit im Rahmen unterschiedlicher industrieller Anwendungsfälle (industrielle Montage,

Rüst- und Instandhaltungsaufgaben, landwirtschaftliche Prozesse) überprüft. In diesem Zusammenhang konnte für das Montageszenario bereits eine hybride Gestaltungslösung erarbeitet werden, die als Grundlage zur Diskussion möglicher betrieblicher Auswirkungen der Servicerobotik dient.

Der Schwerpunkt dieses Anwendungsfalls besteht in der Montage eines Einbauradios, welches auf Basis konkreter Kundenspezifikationen hergestellt wird. Die wesentlichen Teilaufgaben bestehen dabei in der Montage drei wesentlicher Komponenten (Bedienmodul, Lautsprecher, Netzteil) und deren anschließender Verpackung. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden die ursprünglich manuellen Arbeitsvorgänge im Detail untersucht und zum Teil auf einen industriellen Serviceroboter verlagert. Hiervon ausgehend besteht der hauptsächliche Arbeitsinhalt des Serviceroboters in der Aufnahme des Netzteils an einer Übergabestation, der Zuführung in eine Laserbeschriftungsanlage und der anschließenden Rückführung an die Übergabestation. Im Zuge der zukünftigen Implementierung dieses Szenarios können sowohl für direkte (Monteur, Instandhalter, Meister) als auch indirekte (Prozessplaner, Konstrukteur) betriebliche Rollen Auswirkungen und Veränderungen entstehen (vgl. Bild 12).

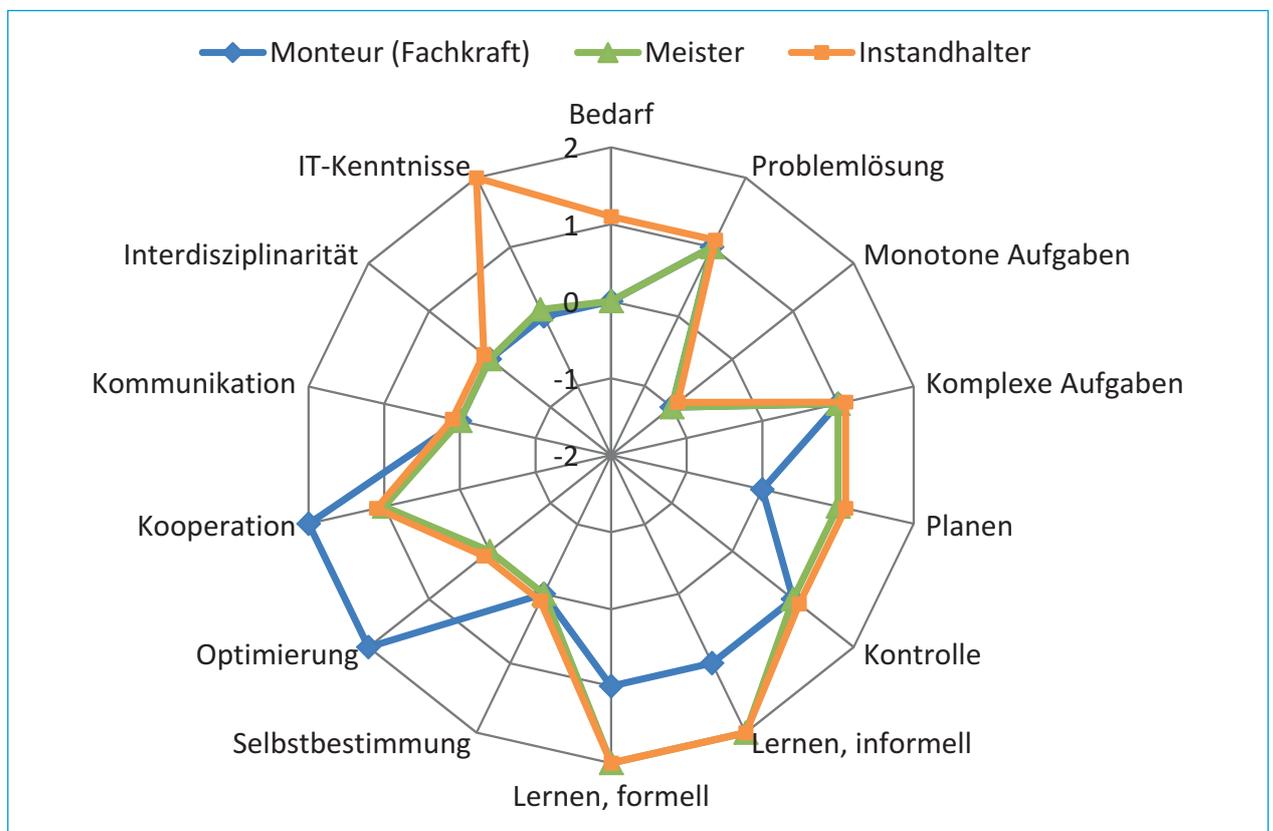


Bild 12. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel MANUSERV „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

Für die Rolle des Monteurs ergeben sich im vorgestellten Szenario zunächst keine gesteigerten technischen Anforderungen, da der Roboterprozess per Knopfdruck ausgelöst wird und anschließend autonom abläuft. Zudem besteht als langfristige Erweiterung der vorgestellten Gestaltungslösung die Möglichkeit, dass der Mitarbeiter sich manuell auszuführende Arbeitstätigkeiten aktiv aussucht und die übrigen Schritte an das Robotersystem delegiert. Durch diese Form der Kooperation mit dem industriellen Serviceroboter kann der Anteil monotoner Aufgaben reduziert und gleichzeitig eine flexiblere Arbeitsstrukturierung erreicht werden [57; 58].

Die betriebliche Rolle des Instandhalters wird durch einen steigenden Umsetzungsgrad industrieller Servicerobotik im Unternehmen stark beeinflusst. Zunächst ergeben sich vor diesem Hintergrund Veränderungen, indem der Leistungsumfang der Instandhaltung um die in der Kleinteilemontage implementierten, neuen Robotersysteme erweitert wird. Hierdurch steigt die Komplexität der Arbeitsaufgabe und der Mitarbeiter wird zunehmend stark mit neuartigen Problemen konfrontiert. Dies betrifft u. a. die geforderten Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich der Informationstechnologien, wodurch gegebenenfalls eine bedarfsgerechte Befähigung und Qualifizierung der Mitarbeiter erforderlich wird [59]. Dies umfasst sowohl die klassische (formelle) Aus- und Weiterbildung von (zukünftigen) Mitarbeitern als auch das Lernen am konkreten Prozess (informell). Ferner erhöht sich die Gesamtzahl technischer Systeme, die potenziell der Instandhaltung unterliegen, was zu einer Steigerung des Mitarbeiterbedarfs in diesem Arbeitsfeld führen kann.

Für die Rolle des Meisters ergeben sich umfassende Auswirkungen, die zum großen Teil auf die interaktive Rolle des Roboters in der Montage zurückzuführen ist. Im ersten Schritt entsteht zusätzlicher Schulungsbedarf, um ein Grundverständnis für industrielle Servicerobotik sowie die hieraus erwachsenden innovativen Chancen und Potenziale zu schaffen. Daran anknüpfend kann der Meister seine jeweiligen direkten Mitarbeiter in den Veränderungsprozess einbinden, indem er das gewonnene Wissen mit ihnen teilt und so möglichen Vorbehalten und potenziellen neuartigen Problemen vorbeugt [59].

Unter der Rolle des Prozessplaners werden in diesem Kontext indirekte Aufgaben zusammengefasst, die zur Neuplanung oder Anpassung des Arbeitsablaufs für ein spezifisches Arbeitssystem erforderlich sind. Als fundamentale Voraussetzung zur Planung hybrider Arbeitsprozesse entsteht für Mitarbeiter in diesem Bereich ebenfalls Qualifizierungsbedarf, u. a. in Bezug

auf neue softwaretechnische Planungswerkzeuge. Darüber hinaus ist die entstehende Planungsaufgabe im Vergleich zu rein manuellen Prozessen ungleich komplexer, was in Summe zu einem erhöhten Bedarf gut ausgebildeter, qualifizierter Mitarbeiter führen kann [58]. Unabhängig davon sind diese Experten allerdings imstande, die spezifischen Fähigkeiten und Potenziale industrieller Serviceroboter zu berücksichtigen und so die individuellen Fähigkeiten und Stärken von Mensch und Maschine effizient miteinander zu verknüpfen.

Für Mitarbeiter aus dem Bereich der Konstruktion werden sich in diesem Zusammenhang ähnliche Anforderungen ergeben, da auch in vergleichsweise frühen Phasen der Produktentstehung bereits die zukünftige, (teil-)automatisierte Herstellung der Erzeugnisse berücksichtigt werden sollte. Dementsprechend entsteht zunächst auch hier formeller Qualifizierungsbedarf, um bei den Mitarbeitern ein Grundverständnis in Bezug auf servicerobotische Systeme zu entwickeln. Außerdem steigt die Komplexität der Konstruktionsaufgabe insgesamt, da die entstehenden, automatisierungstechnischen Anforderungen zusätzlich zu berücksichtigen sind.

Anhand des skizzierten Anwendungsszenarios wurden zahlreiche mögliche Auswirkungen auf verschiedene betriebliche Rollen identifiziert und bewertet. Die vorgestellten Änderungen lassen sich zum großen Teil auf die neue Funktion des interaktiven Serviceroboters in der Produktion und nicht ausschließlich auf die spezifischen Ausprägungen des Anwendungsfalls zurückführen. Insgesamt ist somit davon auszugehen, dass die spezifizierten Auswirkungen industrieller Servicerobotik zu einem gewissen Anteil in dieser oder ähnlicher Form auch auf andere industrielle Bereiche und Einsatzfelder übertragbar sind.

3.10.1 Beispiel 8: ELIAS - Lernförderliche Arbeitssysteme für die Arbeitswelt von morgen

Unter Führung des FIR an der RWTH Aachen wird in dem durch das BMBF geförderten Verbundprojekt ELIAS (Engineering und Mainstreaming lernförderlicher industrieller Arbeitssysteme für die Industrie 4.0) ein Konzept entwickelt, das das Lernen im Prozess der Arbeit als elementaren gestalterischen Bestandteil in Arbeitssysteme integriert. Es folgt eine verkürzte Darstellung der Use-Cases aus [60].

Mit der HELLA KGaA Hueck & Co. und der FEV GmbH beziehen sich die Praxisbeispiele auf zwei größere Unternehmen im deutschen Automotive Sektor.

Die HELLA KGaA Hueck & Co. ist ein auf innovative Lichtsysteme und Fahrzeugelektronik spezialisierter international tätiger Konzern. Bei der HELLA KGaA Hueck & Co. lassen sich zwei generelle Trends beobachten. Zum einen wächst der Bedarf an qualifizierten technischen Fachkräften angesichts einer stark zunehmenden Anlagenkomplexität bei gleichzeitiger Automatisierung von Fertigungs- und Montageabläufen sowie der Produktionssteuerung. Zum anderen steigt in den deutschen Produktionsstandorten das Durchschnittsalter der Belegschaft stetig an.

Die im Rahmen des Projekts ELIAS betrachteten Arbeitssysteme in der Fahrpedalgeberproduktion und SMD-Fertigung sind bereits heute schon durch einen hohen Automatisierungsgrad bei einer hohen Produktkomplexität gekennzeichnet. Um Betriebsmittel und Produktionsprozesse besser beherrschbar zu machen und den technischen Service zu entlasten, wurden die technischen Fachkräfte in den Kompetenzen Flexibilität, Systemverständnis sowie ihrer Entscheidungsfähigkeit gezielt gefördert. Durch eine Analyse der Personalbedarfe, Prozessabläufe, Informationsbedarfe und -flüsse konnte eine Technologiematrix erstellt werden. Diese veranschaulicht, welche Kompetenzen

an welchen Produktionslinien erforderlich sind. Auf diese Weise konnten bisher nicht berücksichtigte Qualifizierungsbedarfe aufgedeckt werden. Dementsprechend erfolgt eine systematische Unterweisung und Einarbeitung von Mitarbeitern sowie die zielgerichtete Erhöhung bzw. Angleichung des Qualifikationsniveaus der Beschäftigten, inklusive einer sukzessiven Erweiterung des Aufgabenspektrums der technischen Fachkraft. Dieses Qualifizierungskonzept ermöglicht es, die Fachkräfte Technik systematisch zu sogenannten High-Level-Fachkräften Technik auszubilden. Sie zeichnen sich durch die Bewältigung eines erweiterten Aufgabenspektrums aus. Sowohl die High-Level-Fachkräfte Technik als auch die Fachkräfte Technik können nun flexibler an verschiedenen Produktionslinien eingesetzt werden und

Entstörungsaufgaben selbstständig übernehmen, wodurch personalbedingte Stillstandzeiten reduziert werden konnten (Bild 13). Die FEV GmbH (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren) ist ein international tätiges Dienstleistungsunternehmen in der Konstruktion und Entwicklung von Antrieben mit rund 4.000 Mitarbeitern. Das Themenfeld, das im Rahmen des Projekts

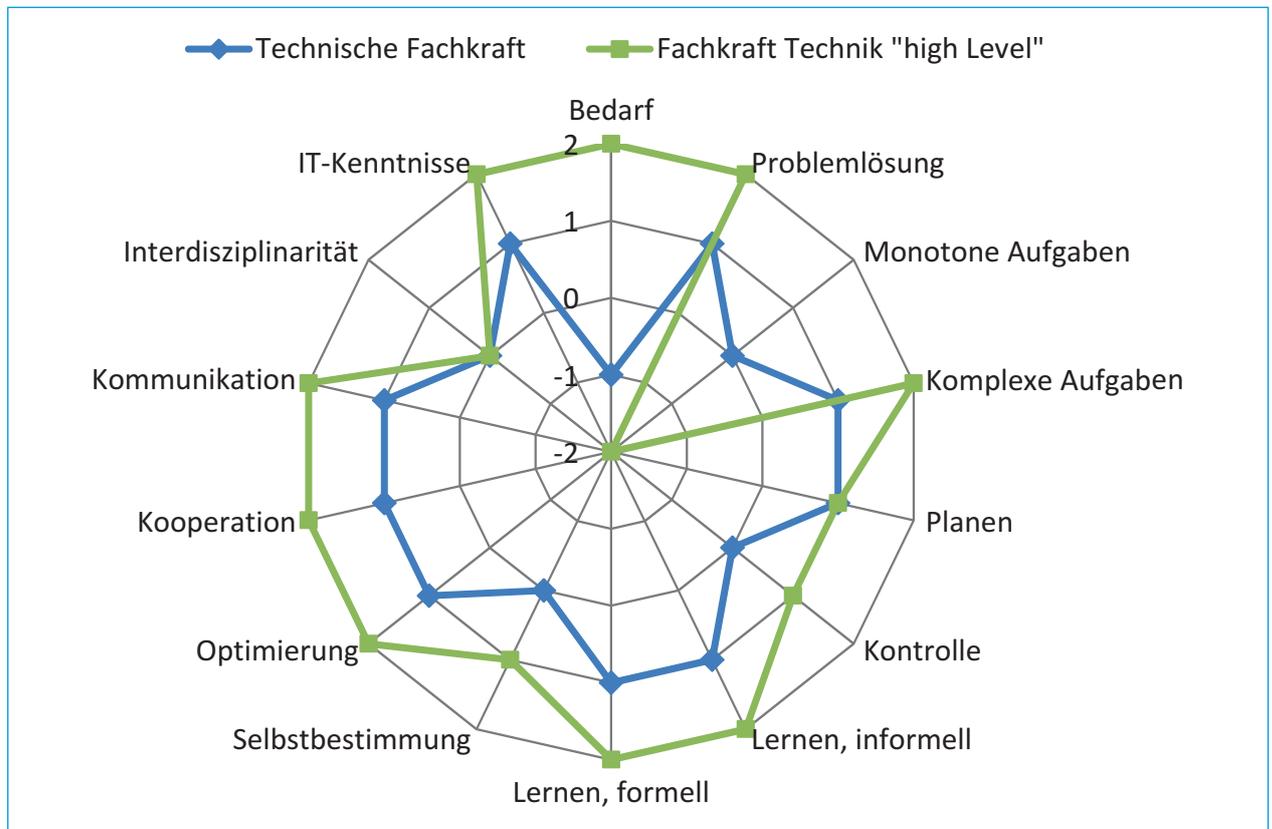


Bild 13. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel ELIAS - Unternehmen HELLA
 „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

ELIAS in der FEV GmbH betrachtet wird, umfasst die Gestaltung von Softwarelösungen für die Prozesse der Applikation elektronischer Steuergeräte an automobilen Antriebssträngen. Die immer komplexer werdenden elektronischen Steuergeräte erfordern softwaregestützte Applikationswerkzeuge zur Erfassung, Kalibrierung und Diagnose von Messdaten. Die Einarbeitungs- und Ausbildungszeit im Bereich der Steuergeräte-Applikation beträgt etwa zwei Jahre. Verkürzte Entwicklungszyklen und zunehmende Komplexität von Steuergerätefunktionen erfordern eine kontinuierliche Weiterbildung der Applikateure. Gleichzeitig baut die FEV GmbH in diesem Bereich verstärkt Personal auf, um den gestiegenen gesetzlichen Anforderungen gegenüber ihren Kunden gerecht zu werden. Somit kommt der effektiven und effizienten Weitergabe von Wissen zur Einarbeitung in immer neue Aufgabengebiete eine zentrale Rolle zu. Die FEV GmbH entwickelte im Rahmen des Projekts ein Konzept für ein lernförderlich gestaltetes kognitives Assistenzsystem zur Applikation von Fahrzeugantrieben, um neue Mitarbeiter schneller für die Datenanalyse und modellbasierte Kalibrierung zu befähigen und langjährigen Mitarbeitern den Umgang mit der Software zu erleichtern. Auf Erfahrungswissen beru-

hend wurde ein Softwaretool entwickelt, das Prozessdarstellungen visualisiert und eine Workflow-basierte Führung durch die Aufgabe ermöglicht. Durch die Automatisierung und Standardisierung von Routineprozessen können diese Tätigkeiten zukünftig auch von weniger erfahrenen Mitarbeitern bewältigt werden. Aufgrund des sich erweiternden Leistungsangebots kommen vermehrt neue Aufgaben auf die mit Applikationsaufgaben und Softwareentwicklung betraute Mitarbeiter zu. Teil- und Gesamtprojektleiter sind zunehmend in die Koordination internationaler Projekte eingebunden. Durch die steigenden Anforderungen und den erhöhten Komplexitätsgrad ergeben sich steigende Qualifikationsbedarfe für die Applikateure. Für Teilprojektleiter und Softwareentwickler gewinnt auch das informelle Lernen immer mehr an Bedeutung. Zudem ist aufgrund der stark zunehmenden Zahl internationaler Projekte die interkulturelle Kompetenz von Teilprojektleitern gefordert. Eine Erweiterung der Führungsaufgaben ist für keine der betrachteten Positionen vorgesehen (Bild 14).

Die beiden Use-Cases zeigen mögliche betriebliche Reaktionen auf eine erhöhte Komplexität auf. Ihnen ist gemeinsam, dass digitale Werkzeuge zum Einsatz

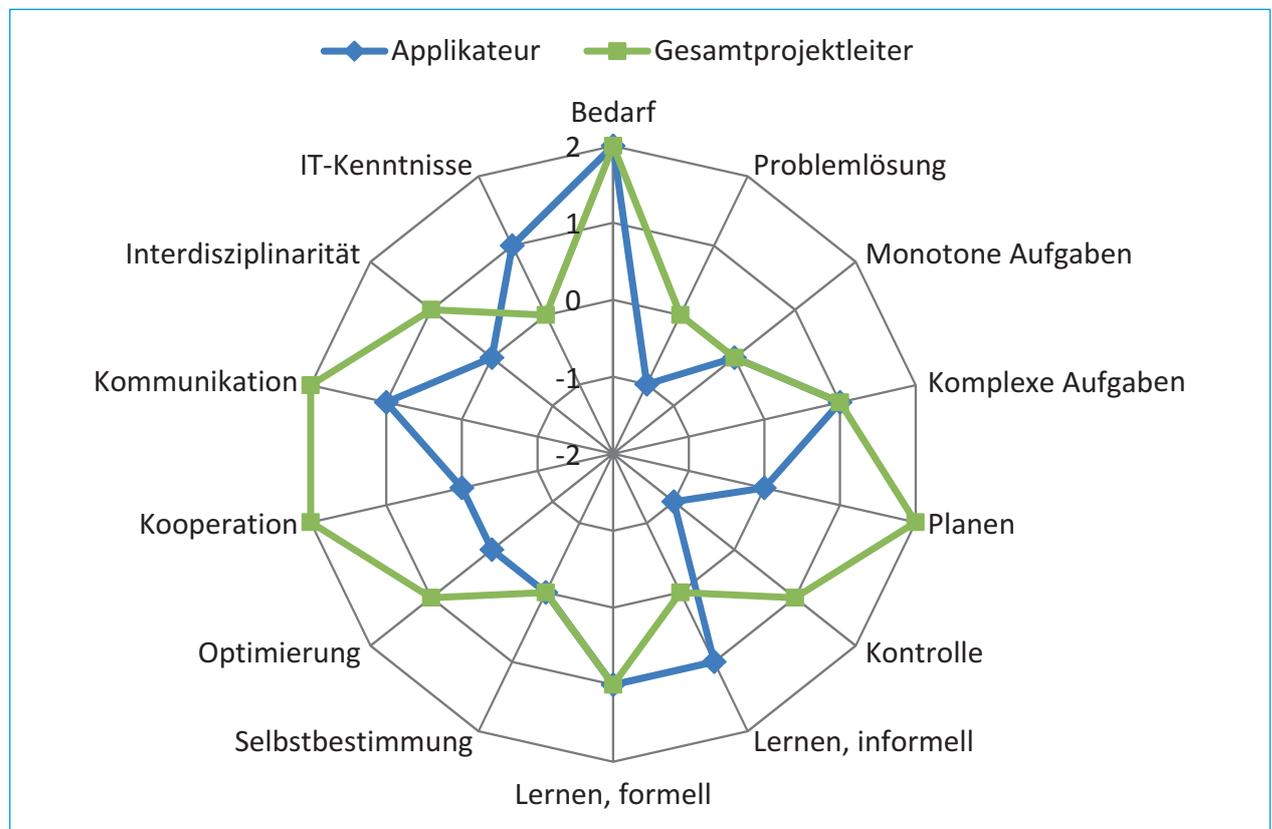


Bild 14. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel ELIAS - Unternehmen FEV
 „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

kommen, die der Assistenz bei der Aufgabendurchführung dienen und sowohl das individuelle, als auch das organisationale Lernen adressieren. Indem Tätigkeitsinhalte verlagert werden und neue Stellenprofile entstehen, finden Veränderungen der Arbeitsorganisation statt. Durch neue Qualifizierungsprozesse entstehen neue Personaleinsatz- und -entwicklungskonzepte. Die Cases verdeutlichen, dass die Themenbereiche Mensch, Technik und Organisation (MTO) die tragenden und miteinander verbundenen Elemente zur Lösung bilden. Unter Einbezug des Sachverständs verschiedener Akteure und in einem Prototyping-Verfahren, wird die Entwicklung digitaler Werkzeuge im Unternehmen selbst vorgenommen. So kann gefolgert werden, dass sich angemessene digitale Werkzeuge nicht als fertige Lösungen „Off-the-Shelf“ einkaufen lassen. Stattdessen werden diese selbst intern, mit starkem Bezug zu Tätigkeitsinhalten und betrieblichem Wissen entwickelt. Entsprechend sind einschlägige Kompetenzen zu Konzeption, Arbeitsanalyse und Teilnehmungsmanagement erforderlich. Diese müssen teilweise, aufgrund fehlender Vorerfahrungen, im Prozess selbst erworben werden. Der Aufbau von Kompetenzen sowie das organisationale Lernen finden somit in Form arbeitsnaher und arbeitsintegrierter Ansätze statt. Dies betrifft das individuelle Lernen zum Aufbau von Kompetenzen, beispielsweise durch Coaching und Job-Rotation, sowie das organisationale Lernen durch die Integration entsprechender Funktionalitäten in die digitalen Werkzeuge und in die Arbeitsprozesse.

3.10.2 Beispiel 9: Re-App - Bestücken in der Elektroindustrie: „Automatisches Verlöten von LED-Stripes“

Bei diesem Beitrag handelt es sich um eine verkürzte Use-Case-Darstellung aus [61].

Die Firma „dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh“ [62] ist ein Spezialist für die Bestückung von Leiterplatten in SMD und Durchstecktechnologie, z. B. für Module für die drahtlose Kommunikation und Lichtsignalanlagen für die Verkehrstechnik. Während die Bestückung von Leiterplatten – speziell von SMD-Prozessen – schon hoch automatisiert ist, wird die Bestückung von Durchsteckbauelementen auf Leiterplatten immer noch zum großen Teil in Handarbeit durchgeführt (vgl. Bild 15). Daher sind im Betrieb neben Entwicklungsingenieuren vor allem Elektroniker, Mechatroniker und Elektronikfacharbeiter (Fachlötkräfte) in der Produktion beschäftigt.



Bild 15. Manueller Lötprozess von LED-Leuchstreifen

Im Forschungsprojekt ReApp [63] wird ein mobiler roboterbasierter Lötassistent entwickelt, der den manuellen Lötprozess automatisieren soll. Ziel ist neben einer Kostenreduktion auch die Verbesserung der Qualität. Erprobt wird der Demonstrator für das Verlöten von handelsüblichen LED-Leuchten, die in unterschiedlichen Längen, Leuchtfarben und Verbrauchsklassen angeboten werden. Der manuelle Lötprozess zur Herstellung dieser „LED-Stripes“ ist durch die erforderliche parallele Handhabung von Lötendraht, Kabel und LötKolben fehleranfällig und bisher nur durch sehr erfahrenes Personal in einer gleichbleibend hohen Qualität durchführbar. Der Arbeitsvorgang soll mithilfe des mobilen Lötassistenten deutlich vereinfacht werden. Der Roboter ist in der Lage, die Lötspots zu erkennen und diese präzise in einer gleichbleibenden Qualität zu verlöten. Der Arbeiter hat nunmehr noch die verbleibende Aufgabe, den Arbeitsplatz für den Lötassistenten so vorzubereiten, dass dieser effizient die Leiterplatten verlöten kann.

Die erforderliche Qualifikation des für den Fertigungsprozess einzusetzenden Personals kann durch die automatisierten Lötplätze somit reduziert werden. Wo vorher Handlöt-Facharbeiter eingesetzt werden mussten, können nun niedriger qualifizierte Mitarbeiter als Bediener eingesetzt werden. Da der Bediener vorbereitende Tätigkeiten neben dem nun automatisierten Lötvorgang zeitneutral abarbeiten kann, werden die Montagezeit und dadurch die Stückkosten reduziert. Durch die tendenziell homogenere Personalstruktur können Produktionsschwankungen zudem flexibler als früher ausgeglichen werden. Diese zusätzliche Flexibilität in der Planung erhöht die Termintreue bei der Abarbeitung der Aufträge im Unternehmen.

Wie in Bild 16 ersichtlich, können durch den Einsatz einer roboterbasierten Lötstation hochqualifizierte Fachkräfte durch gering qualifizierte „Roboterbediener“ ersetzt werden. Voraussetzung ist in diesem Beispiel

jedoch die einfache Programmierbarkeit der roboterbasierten Lötstation: Sind spezielle Kenntnisse zur Umprogrammierung erforderlich oder dauert der Einrichtpro-

zess insgesamt zu lange, ist ein wirtschaftlicher Einsatz des Roboters allerdings nicht sichergestellt.

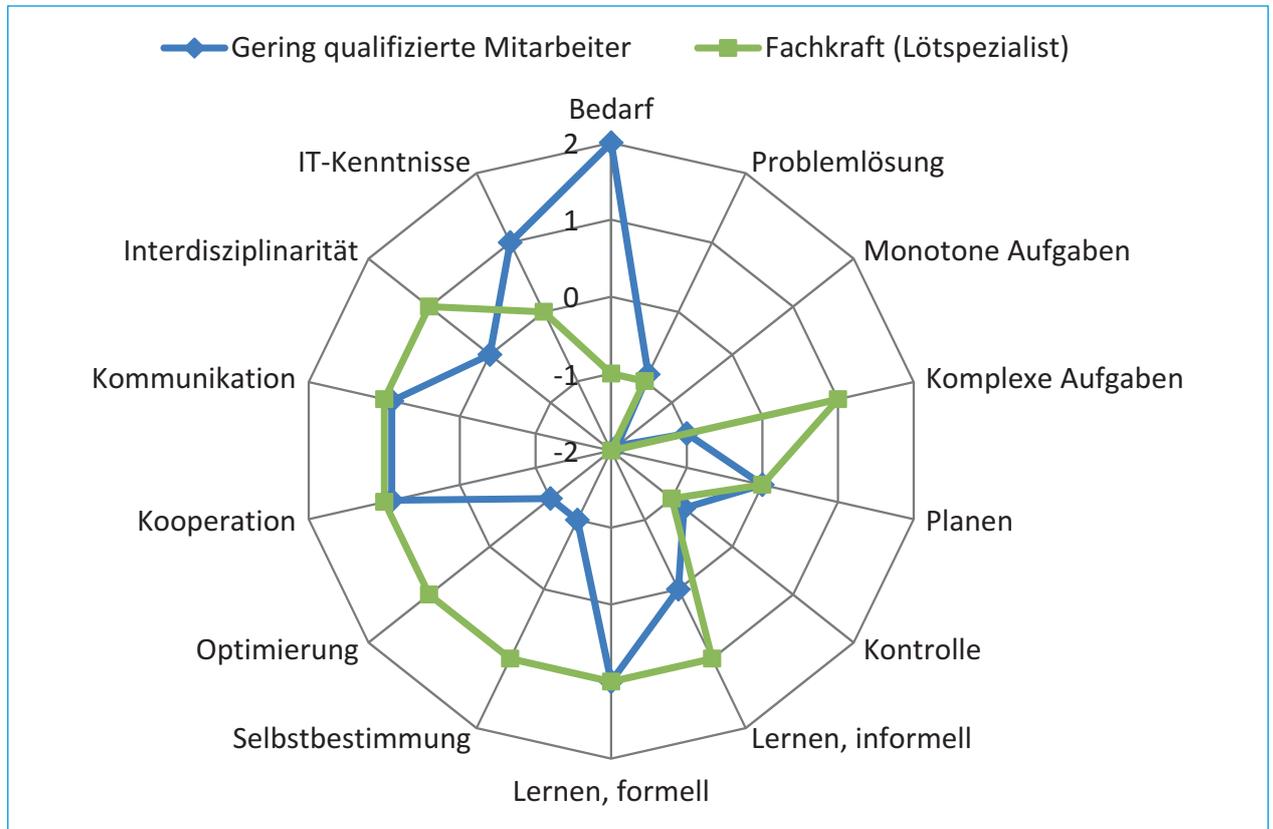


Bild 16. Mögliche Auswirkungen auf ausgewählte betriebliche Funktionsträger im Beispiel ReApp „starker Anstieg“ (+2); „Anstieg“ (+1); „gleichbleibend“ (0); „Rückgang“ (-1); „starker Rückgang“ (-2)

Autoren

Dieser Statusreport wurde von 2015 bis 2016 im Fachausschuss 7.22 „Arbeitswelt Industrie 4.0“ im Fachbereich 7 „Anwendungsfelder der Automation“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) erarbeitet.

An der Erstellung dieses Dokuments haben mitgewirkt:

Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Wilhelm Bauer, Fraunhofer IAO und IAT Universität Stuttgart
Dr.-Ing. Stefan Braunreuther, Fraunhofer IWU
Christoph Berger, Fraunhofer IGCV
Peter Brandt, Arbeits- und Organisationsgestaltung
Stephan Breiter, Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co. KG
Dr.-Ing. Dagmar Dirzus, VDI/VDE-GMA
Gisela Eickhoff, HARTING KGaA
Adjunct-Prof. (Clemson-Univ.) Dr.-Ing. Yves Gloy, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Dr.-Ing. Tim Jeske, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
Dr.-Ing. Axel Korge, Fraunhofer IAO
Dr. Constanze Kurz, IG Metall
Dr. Inge Lippert, DGB
Dr.-Ing. Sebastian Schlund, Fraunhofer IAO und IAT Universität Stuttgart
Dr.-Ing. Christian Schwede, Fraunhofer IML
Kai Schweppe, Südwestmetall Arbeitspolitik
Tobias Strölin, Fraunhofer IAO
Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas, Institut für Automatisierungstechnik Technische Universität Dresden
Andrea Veerkamp-Walz, VDMA
Dr. Steffen Wischmann, Institut für Innovation und Technik, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Dr.-Ing. Jens Ziegler, Institut für Automatisierungstechnik, Technische Universität Dresden

Im Arbeitskreis haben zusätzlich mitgearbeitet:

Prof. Dr.-Ing. Nils Kroemer, Siemens AG
Stefan Gryglewski, TRUMPF GmbH + Co. KG
Johann Soder, SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dieter Spath, WITTENSTEIN AG

Alfons Botthof, VDI/VDE
Wolfgang Dorst, bitkom
Klaus Mittelbach, ZVEI
Birgit Buchholz, VDI/VDE

Autoren der Projektbeispiele aus dem BMWi-Technologieprogramm Autonomik für Industrie 4.0:

ELIAS:

Drs. Roman Senderek, FIR e.V., RWTH Aachen

ManuServ:

Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, RIF e.V., TU Dortmund
André Hengstebeck, RIF e.V., TU Dortmund
Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter, RIF e.V., TU Dortmund
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Rossmann, RIF e.V., TU Dortmund
Kirsten Weisner, RIF e.V., TU Dortmund

motionEAP:

Andreas Bächler, Hochschule Esslingen

ReApp:

Yingbing Hua, Karlsruher Institut für Technologie
Mike Ludwig, dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh
Matthias Lüdtke, Fraunhofer IPA
Dr.-Ing. Ulrich Reiser, Fraunhofer IPA

SmARPro:

Jana Jost, Fraunhofer IML
Thomas Kirks, Fraunhofer IML
Benedikt Mättig, Fraunhofer IML

SozioTex:

Daniel Kerpen, Institut für Soziologie der RWTH Aachen University
Dr. Phil. Jacqueline Lemm, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Mario Löhner, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Marco Saggiomo, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University

Literatur

- [1] Bauer, W., Schlund, S., Strölin, T.: Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahe Beschreibungsmodell der Arbeitswelt Industrie 4.0. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [2] Ingenics/Fraunhofer IAO: Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung. Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden. Ulm, 2014.
- [3] Agiplan et al.: Erschließen der Potenziale der Anwendungen von Industrie 4.0 im Mittelstand. Berlin, 2015.
- [4] Brynjolfsson, E., McAfee, A.: The Second Machine Age: Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird. Kulmbach: Plassen Verlag, 2014.
- [5] Frey, C. B., Osborne, M. A.: The Future of Employment: How Susceptable are Jobs to Computerisation? Oxford: Oxford University Press, 2013.
- [6] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft – Szenario-Rechnungen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 8/2015, 2015.
- [7] Deutscher Industrie- und Handelskammertag: Wirtschaft 4.0: Große Chancen, viel zu tun. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung. Berlin, 2015.
- [8] Spath, D. (Hrsg.), Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 2013.
- [9] StepStone Trendstudie 2016: Jobs nach Maß – Was Fachkräfte wollen. Düsseldorf, 2016.
- [10] IG Metall Vorstand: Beschäftigtenbefragung 2013: Arbeit: sicher und fair! Die Befragung. Ergebnisse, Zahlen, Fakten. Frankfurt, 2013.
- [11] BMWi (Hrsg.), iit: Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Studie im Rahmen der Begleitforschung zum BMWi-Technologieprogramm Autonomik für Industrie 4.0. Berlin, 2015.
- [12] McKinsey Global Institute: Disruptive Technologies: Advances that will transform life, business and the global economy, 2013.
- [13] Roland Berger: Industry 4.0: The new industrial revolution. How Europe will succeed, 2014.
- [14] BITKOM/Fraunhofer IAO: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin, 2014.
- [15] PwC: Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution, 2014.
- [16] DIN EN ISO 6385: 2014-10. Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO/DIS 6385:2014); Deutsche Fassung prEN ISO 6385:2014.
- [17] Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (ifaa): ifaa-Studie: Industrie 4.0 in der Metall- und Elektroindustrie. Heider Druck GmbH, Bergisch Gladbach, 2015. (www.arbeitswissenschaft.net)
- [18] Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S., Spath, D.: Das Gesetz der Flexibilität. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit., 2013.
- [19] HAYS Recruiting experts worldwide: Fachkräfte-Index Engineering. <https://www.hays.de/personaldienstleistung-aktuell/fachkraefte-index-engineering> (aufgerufen am 10.10.2016).
- [20] Bender, M., Braun, M., Rally, P., Scholtz, O.: Leichtbauroboter in der manuellen Montage – Einfach einfach anfangen. Erste Erfahrungen von Anwenderunternehmen; Stuttgart: Kurzstudie Fraunhofer IAO, 2016.
- [21] Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P., Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Nomos, Berlin, 2015.

- [22] Windelband, L., Dworschak, B.: Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0 – Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Nomos, Berlin, 2015.
- [23] Bauer, W.; Schlund, S.: Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen: Planung und Engineering. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Nomos, Berlin, 2015.
- [24] DIN EN ISO 9000, 3.
- [25] Acatech, Fraunhofer IML, Equeo: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Berlin, 2016.
- [26] Pfeiffer, S., Suphan, A.: Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Stuttgart, 2015.
- [27] Bowles, J.: Chart of the Week: 54 % of EU jobs at risk of computerization. In: Blog Post Bruegel.org. <http://bruegel.org/2014/07/chart-of-the-week-54-of-eu-jobs-at-risk-of-computerisation> (aufgerufen am 10.10.2016).
- [28] ING DIBA: Die Roboter kommen – Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. Economic Research, 2015. <https://www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf> (aufgerufen am 10.10.2016).
- [29] Bonin, H., Gregory, T., Zierahn, U.: Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. ZEW-Kurzexpertise für das BMAS, 2015. <http://doku.iab.de/externe/2015/k150618r29.pdf> (aufgerufen am 18.11.2015).
- [30] The Boston Consulting Group: Man and Machine in Industry 4.0 – How will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?, 2015. <http://www.bcg.it/documents/file197250.pdf> (aufgerufen am 10.10.2016).
- [31] Urbas, L.: Conducive Design, Förderliche Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen. Tagungsband Ueware 2014, S. 3–10, VDI, 2014.
- [32] Bainbridge, L.: Ironies of Automation. In: *Automatica*, Vol. 19, No. 6. pp. 775–779. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1983.
- [33] Graetz, G., Michaels, G.: Robots at Work. IZA DP No 8938, 2015.
- [34] IMPULS-Stiftung (Hrsg.): Industrie 4.0-Readiness. Aachen/Köln, 2015.
- [35] Urbas, L., Doherr, F., Krause, A., Obst, M.: Modularisierung und Prozessführung. In: *Chemie Ingenieur Technik* 84 (5), S. 615–623, 2012.
- [36] Ziegler, J., Urbas, L.: Förderliches Gestalten komplexer Mensch-Maschine-Systeme. Eine Disziplinen übergreifende Herausforderung. In: *Arbeitswissenschaft mit Interdisziplinarität und Methodenvielfalt – Tagungsband der GfA-Herbstkonferenz 2016*. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 2015.
- [37] Graube, M., Schneider, F., Obst, M., Urbas, L.: Integrierter Informations- und Interaktionsraum. Modularisierung und Digitale Anlage von der Leitwarte bis ins Feld. In: *Tagungsband GMA-Kongress Automation VDI*, 2015.
- [38] Bauer, W., Gerlach, S.: Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität in Cyber-Physical-Systems. Abschlussbericht, Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 2015.
- [39] Bauer, W., Gerlach, S., Hämmerle, M., Strölin, T.: KapaflexCy – Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität in Cyber Physischen Produktionssystemen. In: *Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft – Tagungsband der GfA-Frühjahreskonferenz 2014*. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 2014.
- [40] Bauer, W., Gerlach, S., Hämmerle, M., Strölin, T.: Rule Base for Operative Planning and Control of Flexible Labour Hours. In: *19th World Congress: The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa. August, 2014.
- [41] Bauer, W., Gerlach S., Hämmerle M.: Digital control of flexible labor hours to support agile enterprises and employees concerns. In: *7th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2016)*, Florida, USA. Juli, 2016.

- [42] Löhner M., Lemm J., Kerpen D., Saggiomo M.: Soziotechnische Assistenzsysteme für die Produktionsarbeit in der Textilbranche. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [43] Gries, T., Veit, D., Wulfhorst, B.: Textile Fertigungsverfahren – Eine Einführung. 2. Aufl. Carl Hanser, München, 2014.
- [44] Saggiomo, M., Löhner, M., Lemm, J., Kerpen, D., Gloy, Y.-S., Gries, T.: Influence of Human Factors on Cognitive Textile Production. In: Blaga, Mirela (Ed.): Proceedings/15th Autex World Textile Conference 2015, Bukarest, Romania, June 10–12, 2015.
- [45] N.N. (2013) Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie; Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V. (Hrsg.) Berlin
- [46] Saggiomo, M.; Kemper, M.; Gloy, Y.-S.; Gries, T.: Weaving Machine as Cyber-Physical Production System. Multi-Objective Self-Optimization of the Weaving Process. IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2016), March 14–17, 2016, Taipei, Taiwan;
- [47] Gloy, Y.-S.; Greb, C.; Gries, T. (2013) Industry 4.0: a (r)evolution for the textile industry? In: Hillmer, Janine (Ed.): Proceedings of the 7th Aachen-Dresden International Textile Conference, Aachen November 28–29, 2013.
- [48] Löhner, M.; Lemm, J.; Simonis, K.; Gloy, Y.-S.; Gries, T. (2014) Industry 4.0: employee 4.0 in textile industry. In: Österreichisches Chemiefaser-Institut (Hrsg.): 53. Chemiefasertagung Dornbirn 10.–12.09.2014. Wien : Österreichisches Chemiefaser-Institut
- [49] Lemm, J.; Löhner, M.; Dartsch, N.; Gloy, Y.-S.; Gries, T.; Ziesen, N.; Häußling, R. (2014) Erfolg durch Akzeptanz der Mitarbeiter – intelligente Assistenzsysteme in der Produktion am Beispiel der Textilindustrie In: Weidner, R.; Redlich, T. (Hrsg.): Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg; Helmut-Schmidt-Universität
- [50] Kerpen, D.; Lemm, J.; Hansen-Ampah, A.; Saggiomo, M.; Löhner, M.; Gloy, Y.-S.: SozioTex – Sociotechnical systems in the textile industry. Interdisciplinary competence build-up in human-machine interaction facing demographic change. Journal of Textile Science & Engineering; submitted.
- [51] Kerpen, D.; Löhner, M.; Saggiomo, M.; Lemm, J.; Gloy, Y.-S.: Effects of Cyber-Physical Production Systems on Human Factors in a Weaving Mill. Implementation of Digital Working Environments based on Augmented reality. IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2016), March 14–17, 2016, Taipei, Taiwan.
- [52] Saggiomo, M.; Löhner, M.; Kerpen, D.; Lemm, J.; Gloy, Y.-S.: Human- and Task-Centered Assistance Systems in Production Processes of the Textile Industry: Determination of Operator-Critical Weaving Machine Components for AR-Prototype Development. Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-49), January 5–8, 2016, Kauai/Hawaii, USA; accepted.
- [53] Mättig, B.: Erweiterte Horizonte – Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [54] Bächler, A., Bächler, L., Autenrieth, S., Behrend, H., Funk, M., Krüll, G., Hörz, T., Heidenreich, T., Misselhorn, C., Schmidt, A.: Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefendatenerkennung. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [55] Hengstebeck, A., Weisner, K., Deuse, J., Rossmann J., Kuhlenkötter, B.: Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [56] Deuse, J. et al: A Methodology for the Planning and Implementation of Service Robotics in Industrial Work Processes. 5th CATS2014 – CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems. Elsevier, 2014, pp. 41–46.

- [57] Schenk, M., Elkmann, N.: Sichere Mensch-Roboter-Interaktion: Anforderungen, Voraussetzungen, Szenarien und Lösungsansätze. In: Müller, E. (Hrsg.): Demographischer Wandel – Herausforderungen für die Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft. Berlin: GITO, 2012, pp. 109–122.
- [58] Hirsch-Kreinsen, H.: Welche Auswirkungen hat Industrie 4.0 auf die Arbeitswelt? Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2014.
- [59] Molzow-Voit, F., Quandt, M., Freitag, M., Spöttl, G.: Qualifizierung von Fachkräften und Entscheidern – Einsatz von Robotikanwendungen in logistischen Arbeitsprozessen. ZWF, vol. 110, no. 10, 2015, pp. 583–586.
- [60] Senderek, R.: Lernförderliche Arbeitssysteme für die Arbeitswelt von morgen. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [61] Reiser, U., Ludwig, M., Lüdtke, M., Hue, Y.: ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen. In: Wischmann, S., Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, 2016 (in press).
- [62] dresden elektronik ingenieurtechnik gmbh, Firmenhomepage: <https://www.dresdenelektronik.de/> (aufgerufen am 10.10.2016).
- [63] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Verbundforschungsprojekt ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen basierend ROS-Industrial. Projekthomepage: www.reapp-projekt.de (aufgerufen am 10.10.2016).

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Die Faszination für Technik treibt uns voran: Seit 160 Jahren gibt der VDI Verein Deutscher Ingenieure wichtige Impulse für neue Technologien und technische Lösungen für mehr Lebensqualität, eine bessere Umwelt und mehr Wohlstand. Mit rund 155.000 persönlichen Mitgliedern ist der VDI der größte technisch-wissenschaftliche Verein Deutschlands. Als Sprecher der Ingenieure und der Technik gestalten wir die Zukunft aktiv mit. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Als drittgrößter technischer Regelsetzer ist der VDI Partner für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
Dr. Dagmar Dirzus
Tel. +49 211 6214-227
dirzus@vdi.de
www.vdi.de