

Arbeits- und Industriesoziologische Studien Jahrgang 9, Heft 1, April 2016, S. 57-79

Norbert Huchler¹

Die ‚Rolle des Menschen‘ in der Industrie 4.0 – Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz

Abstract: Der Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, welche Rolle dem menschlichen Arbeitshandeln in den aktuellen, unter dem Etikett ‚Industrie 4.0‘ diskutierten Entwicklungen und Zukunftsvisionen zukommt. Um auf diese Frage eine Antwort zu geben, wird knapp der aktuelle Diskurs zur Industrie 4.0 analysiert. Zudem wird ein theoretischer Begründungszusammenhang vorgestellt, der zeigt, dass und warum auch die ‚intelligente Fabrik‘ als sozio-technisches System umfassend auf menschliche Arbeit angewiesen ist. Auf dieser Basis erfolgt eine Systematisierung aktueller konfligierender Leitbilder in der Diskussion um die Industrie 4.0 – auf den Ebenen Mensch, Technik und Organisation. Dabei werden entlang von drei den gegenwärtigen Diskurs prägenden Fragen kontrovers diskutierte Leitbilder identifiziert, die sich jeweils einem technik- und einem humanzentrierten Ansatz zuordnen lassen: 1) Führt die Digitalisierung zum kompletten Wegfall bestimmter Berufe und zu einer radikalen Polarisierung zwischen hohen und geringen Qualifikationen sowie Tätigkeiten oder handelt es sich um einen beschleunigten, aber kontinuierlichen und breit gefächerten Wandel, da manche Arbeitsanteile nicht ersetzbar sind? 2) Liegt die Zukunft der Technikentwicklung in einer Angleichung von Mensch und Technik oder in der Aufrechterhaltung einer funktionalen Differenz? 3) Führt die aktuelle integrative Vernetzung zu einer neuen, flexibleren, dezentralen Steuerung der Organisation oder liegt eine Re-Zentralisierung vor? Je nach Beantwortung dieser Fragen wird das Mensch-Technik-Verhältnis unterschiedlich gewichtet. Die gegenwärtig die Diskussion bestimmende technikzentrierte Perspektive betont den Wirkungsraum der Technik, während ein humanzentrierter Ansatz die Notwendigkeit menschlichen Handelns hervorhebt. Für Letzteres werden empirische Beispiele gegeben.

Der vorliegende Beitrag basiert auf Forschungen im Zusammenhang mit einem Umsetzungsprojekt zur Industrie 4.0: Ein regionales Netzwerk produzierender KMU will sich durch konkrete Maßnahmen der Digitalisierung und Integration von vertikalen sowie horizontalen Wertschöpfungsprozessen auf die Anforderungen der Industrie 4.0 vorbereiten – und dabei den „Menschen in den Mittelpunkt“ stellen.² Um der Frage nachzugehen, welche Rolle der Mensch in der Industrie 4.0 überhaupt spielen kann, ist es notwendig, dem aktuellen technikzentrierten Diskurs einen begründeten humanzentrierten Ansatz gegenüberzustellen (vgl. Brödner 1986 und 2015, 247).

Der Beitrag fasst zunächst (1.) Kernaspekte der Industrie 4.0 unter dem Schlagwort des integrierten Netzwerks zusammen. In der Folge unterscheidet er zwischen zwei Typen von Ansätzen, die das Verhältnis von Mensch und Technik in der Industrie 4.0 zu entwickeln versuchen: einem technik- und einem humanzentrierten Ansatz. Für einen humanzentrierten Zugang ist eine theoretische Begründung für die Bedeutung des menschlichen Arbeitshandelns erforderlich, die mit Hilfe des Konzeptes des erfahrungsgelitet-subjektivierenden Handelns gegeben wird (2.). Auf dieser Basis erfolgt anschließend (3.) auf den Ebenen Mensch, Technik sowie Organisation

¹ Dr. Norbert Huchler, Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V. München. E-Mail: norbert.huchler@isf-muenchen.de.

² „MiMiK – Der Mensch im Mittelpunkt des KMU-Netzwerks im Kontext der Industrie 4.0“ ist ein durch das Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt, das durch den Projektträger Karlsruhe (PTK-PFT) betreut wird (Laufzeit: 5/2014 bis 3/2016).

die systematische Konfrontation eines technik- mit einem humanzentrierten Leitbild der Industrie 4.0, um die jeweiligen Auswirkungen aufzuzeigen. Schließlich wird (4.) ein knappes Fazit entlang der Frage gegeben, inwieweit es sich bei der Industrie 4.0 um eine neue digitale Netzwerk-Ökonomie oder um eine software-induzierte Re-Zentralisierung der Unternehmenssteuerung handelt.

1 Industrie 4.0 und integrierte Vernetzung sowie die Frage nach der ‚Rolle des Menschen‘

Unter dem Vorzeichen zunehmender Digitalisierung und informationstechnischer Vernetzung wird seit einiger Zeit eine vierte industrielle Revolution konstatiert. Die Stichworte sind „Industrie 4.0“ und „intelligente Fabrik“. Ausgehend vom Internet der Dinge und Dienste ist ein Kernelement der vernetzten intelligenten Fabrik die Automatisierung eines *Pull-Prinzips* intelligenter Objekte: Jedes Produkt *weiß*, was als nächstes mit ihm geschehen soll, und fordert selbst die notwendigen Ressourcen an.³ Weitere Bausteine bilden die *echtzeitnahe Überwachung und Steuerung* der Produktionsabläufe⁴ sowie die *flexible de-lokale Produktion*⁵. Das *integrierte Netzwerk* umfasst dabei nicht nur die vertikale Integration, sondern auch die *horizontale Wertschöpfungskette*, insbesondere *Cloud- und Crowdwork*.⁶ Ziele der Bemühungen sind die informationstechnische Abbildung aller relevanten „analogen“ Prozesse und eine darüber hinausgehende Informationsgewinnung.

Die Idee der intelligenten Fabrik (Smart Factory) grenzt sich sowohl von der *zentralisierten Steuerung* der „Fabrik“ als auch von der *dezentralen Steuerung* der „Fabrik in der Fabrik“ ab (vgl. Steinberger 2013, Grafik 5). Sie stellt stattdessen *integrierte „Netzwerke“* als neues Strukturprinzip in den Mittelpunkt (ebd.). Diese gelten als adäquate Reaktion auf neue Unwägbarkeiten, etwa zunehmend zeitkritische Ereignisse, und auf Defizite der bisherigen Top-down-Planung. Auf der einen Seite nehmen die Flexibilitätsanforderungen an die Produktion zu („Production on Demand“, „Losgröße 1“, ‚individualisierte Produkte‘), auf der anderen Seite steigt mit der Komplexität auch die Störanfälligkeit und Fragilität des gesamten Systems.

In dieser stark technikzentrierten Diskussion wird davon ausgegangen, dass es sich um einen tiefgreifenden Wandel handelt, der das Mensch-Technik-Verhältnis verändert, wenn nicht sogar revolutioniert. Dabei ist ein bemerkenswerter impliziter Widerspruch in der Verortung menschlicher Arbeit festzustellen: Einerseits scheint – im Unterschied zu früheren Phasen grundlegender technologischer Umbrüche (nicht

³ Typische Beschreibungen sind z. B.: Die leere Flasche verlangt die richtige Füllung und Beschriftung. Jedes Teil baut sich selbst bis zum Gesamtprodukt auf und organisiert die Auslieferung zu seinem Käufer.

⁴ Das integrierte und synchronisierte Zusammenspiel von lücken- sowie papierloser Dokumentation und permanent generierten Daten durch Sensortechnik, Assistenz- und Trackingsysteme mit Big Data und intelligenten Algorithmen bildet ein neues (teil-)automatisiertes Kontrollsystem (Steuerung und Überwachung), das z. B. wie bei Hitachi bereits Führungsentscheidungen überantwortet bekommt (Welt 2015).

⁵ Beispielsweise von der Programmierung von Robotern und Anlagen vor Ort über den flexibel situationsgesteuerten Personaleinsatz bis hin zur de-lokalen vernetzten Produktion mittels 3D-Druck.

⁶ Digitalisierung und Vernetzung sollen die reibungslose Integration Externer wie Dienstleister, Freelancer, Privatpersonen und der „arbeitenden Kunden“ (Voß und Rieder 2006) in die globalisierte Wertschöpfung ermöglichen. Dies reicht von der alltäglichen und speziellen webbasierten Kundenarbeit über Klein-Dienstleistungen von privaten Nutzern (etwa Produkttests) sowie Routinetätigkeiten (z. B. Adressabgleich) bis hin zu Wissensarbeit – ob ‚taylorisiert‘ bzw. zerstückelt oder nicht.

zuletzt der CIM-Diskussion) – ein breiter Konsens darüber zu bestehen, dass der Mensch im Mittelpunkt digitalisierter Arbeitsprozesse stehen soll (Promotorengruppe 2012, 24). Andererseits werden technische Visionen digital vernetzter Cyber-Physischer Systeme vorgetragen, in denen sich Aufträge selbstständig durch die Wertschöpfungsketten hindurchsteuern, ihre Bearbeitungsmaschinen buchen und ihre Auslieferung an die Kunden selbsttätig organisieren (ebd., 25). Diese Konzeptionen kommen zum Teil ohne den expliziten Einbezug menschlicher Arbeitskraft aus.

Um eine „sinnvolle Perspektive auf die Automatisierung komplexer Aufgaben“ (Lüdtke 2015, 130) zu eröffnen, werden auf Grundlage modellbasierter Simulationen komplexe technische Architekturen konstruiert, in die mentale, visuelle und motorische Elemente menschlichen Arbeitshandelns eingehen. Dies bildet die Grundlage für die Entwicklung von Konzepten eines neuen dynamischen Zusammenspiels von ‚Mensch-Maschine-Teams‘. Dabei wird auf einer langen Tradition von Versuchen aufgebaut, menschliches Handeln zu modellieren und z. B. das Verhältnis von Mensch und Technik bezüglich verschiedener Automatisierungsgrade, Fähigkeiten sowie Tätigkeiten anhand von Experimenten zu bestimmen (vgl. etwa Rasmussen 1983 oder Endsley 1999). In solchen Konzeptionen werden all diejenigen Elemente menschlichen Arbeitshandelns erfasst, die sich – in welcher Form auch immer – „objektivieren“ bzw. messen und in rechenbare Daten transferieren lassen (Böhle et al. 2011). Ausgeklammert bleiben jedoch alle Momente menschlichen Arbeitshandelns, die für dieses konstitutiv, aber nicht objektivierbar sind. Gemeint ist damit insbesondere das Agieren auf Basis impliziten Wissens⁷, wie im Folgenden argumentiert wird.

Aktuell dominiert die Diskussion ein *technikzentrierter Zugang*, der letztendlich dem Leitbild einer neuen ganzheitlichen Produktionssteuerung auf Basis integrierter vernetzter Systeme folgt. Es geht darum, die Vorteile dezentraler, autonomer, lernender Systeme – ausgestattet mit intelligenten Schnittstellen und sensibler Sensorik – mit einer neu aufgelegten zentralisierten Planungslogik zu kombinieren, über Algorithmen zu vermitteln und durch künstliche Intelligenz bzw. nachempfundene neuronale Netzwerke zu steuern. Auf diese Weise sollen Zentralität und Dezentralität, Flexibilität und Stabilität bzw. Planbarkeit miteinander vermittelt werden, um Komplexität und Unsicherheit zu beherrschen bzw. zu minimieren (vgl. auch Grote 2015, 132). Vordringlich wird auf die technische Machbarkeit fokussiert; die tatsächliche Realisierbarkeit wird zunächst weitestgehend ausgeblendet.⁸

Warum braucht es dabei den Menschen? Und wie verträgt sich das mit dem Postulat, dass der Mensch im Mittelpunkt stehen soll? Das Gros der aktuellen Literatur, die der technikzentrierten Perspektive zugeordnet werden kann, bietet auf diese Fragen keine schlüssigen Antworten. Zugespitzt könnte man sagen, dass in diesen Visi-

⁷ Wie z. B. das oft auf Intuitionen, Emotionen und Bauchgefühlen basierende Entscheiden von Managern (Gigerenzer 2007).

⁸ Im weiten Sinne materielle Aspekte wie Investitions- und Inventionskosten, Komplexität, Quantität sowie Störfälligkeit werden kaum aufgegriffen, ebenso wenig deren Folgen, etwa Häufigkeit neuer technischer Konflikte, Folgeaufwände für die Lösung dieser und für die Wartung etc.

onen menschliche Arbeit nur noch deshalb gebraucht wird, weil die neuen Technologien bisher nicht flächendeckend eingeführt sind.⁹

Auf der anderen Seite steht ein noch nicht gänzlich ausformulierter *humanzentrierter Zugang*, der dem Menschen in komplexen (technischen) Systemen die zentrale Rolle zuschreibt, gerade in unwägbar und unsicheren Situationen sowohl Flexibilität als auch Stabilität zu gewährleisten (z. B. Grote et al. 2000). Denn den Menschen kennzeichnet die Möglichkeit, Unsicherheit und Unwägbarkeit nicht nur zu minimieren, sondern ebenfalls zu bewältigen (ebd.) – ja sogar aktiv aufrechtzuerhalten und damit konstruktiv umzugehen (Böhle 2013; Böhle und Wehrich 2009; Böhle et al. 2004). Ein möglicher Ansatz für die Begründung der großen Bedeutung des Menschen in komplexen sozio-technischen Systemen liegt in der Unterscheidung zwischen explizierbarem bzw. formalisierbarem und nicht-explizierbarem bzw. nicht-formalisierbarem (z. B. implizitem) Wissen (Böhle und Huchler 2016). Im Folgenden werden Überlegungen zu einer solchen Erklärung vorgestellt.

2 Die ‚Rolle des Menschen‘: Begründung eines humanzentrierten Ansatzes

2.1 Grenzen der Digitalisierung oder das Nicht-Digitalisierbare

Um sich der Rolle menschlichen Arbeitshandelns bei digitalisierter Arbeit zu nähern, muss geklärt werden, ob Mensch und Technik unterschiedliche, nicht ineinander aufgehende Eigenschaften und Kompetenzen bergen. Klärung für diese komplexe Frage verspricht die Unterscheidung zwischen dem, was durch Technik noch nicht (aber potenziell, eventuell auch schon bald) übernommen, und dem, was aus bestimmten Gründen nicht (also niemals) in die Logik der Technik transformiert werden kann. Einen Schlüssel zu dieser Differenzierung bietet der Blick auf die formale „Zeichenlogik“ (Rammert 2009) digitaler Systeme, die nur erfasst, was sich in Symbole (Zahlen, Buchstaben) übersetzen lässt, und anderes dabei systematisch ausblendet.

Digitalisierung kann als eine besondere Form der Informatisierung verstanden werden. Durch sie wird Wissen in eine explizite Information gewandelt, d. h. in die „Zeichensprache“ (Rammert 2006) der Informationstechnik bzw. Software übertragen. Es wird hierdurch ‚formalisiert‘ und zum Teil erst zugänglich gemacht für die Steuerungslogik von Organisationen und geplanten Prozessen. Damit handelt es sich bei der Digitalisierung um eine Weiterentwicklung der Verschriftlichung (als zentrale Methode der Bürokratisierung) in Form eines neuen umfassenden Informations- und Kommunikationsmediums.

Die Möglichkeiten eines vielseitigen digitalen Abbilds der analogen Welt und die dadurch erweiterten Steuerungsmöglichkeiten verringern aber keineswegs die Relevanz des Informellen bzw. des ‚Nicht-Formalisierbaren‘, sondern erhöhen sie sogar. Das Zusammenspiel zwischen dem Formellen und dem Informellen ist dialektisch zu denken (Pfeiffer 2006). Anders formuliert: Gerade weil der Schwerpunkt der aktuellen Entwicklungstendenz mit der Digitalisierung auf der Formalisierungs- bzw. Explizie-

⁹ Natürlich werden auch hier dem Menschen verschiedene Rollen wie Nachfrager/in, Bedürfnisträger/in, Datenproduzent/in und Nutzer/in etc. zugesprochen und ebenfalls die Akzeptanz in den Blick genommen. Dies geschieht jedoch aus der Perspektive einer Integration des Menschen in die Logik der Technik.

rungslogik liegt, gewinnt das Informelle an Bedeutung. Die mit der Informatisierung einhergehende Formalisierung blendet es aus und verstellt den Blick auf die Komplexität der Arbeitspraxis. Damit wird die Verbindung zwischen der formalen (technischen bzw. digitalen) Prozesssteuerung und den informellen Wissens- sowie Handlungsformen konfliktreicher und zugleich bedeutsamer. Außerdem zeigen Untersuchungen, dass gerade für den Umgang mit Komplexität, Unsicherheit und Unwägbarkeiten das informelle Organisieren sowie Handeln gegenüber formellen Prozessen an Relevanz gewinnt (Böhle 2013, 2015). Mit der Ausblendung des Nicht-Formalisierbaren im Zuge der Digitalisierung wird folglich nicht nur ein essenzieller Bestandteil menschlichen Handelns bzw. des Arbeitsvermögens (Pfeiffer 2007) ignoriert, sondern es werden auch wesentliche Optionen im Umgang mit komplexen sozio-technischen Systemen übersehen.

Verdeutlichen lässt sich dies am Beispiel systematischer ‚Übersetzungsprobleme‘ in Cyber-Physischen Systemen (CPS): zunächst von der „Welt der Software“ in die physikalische „Welt der Hardware“ (vgl. Lee 2008) und dann vom technischen in das sozio-technische System – also die soziale Einbettung¹⁰ (Huchler 2016). Ein software-zentrierter Blick, der sich allein auf das konzentriert, was sich in digitale Daten übertragen lässt, missachtet die Tatsache, dass sich mit jedem dieser zwei Schritte neuartige Problemkonstellationen auftun, die sich nicht vollständig in die Sprache der Software rückführen lassen. Ebenso wie mit der Welt der Hardware neue physikalische Aspekte hinzukommen, die der Software-Logik unbekannt sind – wie z. B. die Zeitsynchronisation¹¹ (Lee 2008) –, werden mit der Einbeziehung des Menschen neue, zusätzliche, nicht digital erfassbare Wissens- und Handlungslogiken eröffnet – etwa das erfahrungsgelenkt-subjektivierende Arbeitshandeln (s. u.). Lösungen können demzufolge nicht eins zu eins top-down von der einen auf die andere Ebene übersetzt werden. Daher lassen sich gegenwärtig allorts systematische Übersetzungsprobleme von der Logik der Software in die Realität komplexer sozio-technischer Systeme beobachten.

Was kennzeichnet diese anderen, typisch menschlichen Wissens- und Handlungslogiken, die sich nicht digitalisieren lassen?

2.2 Das ‚typisch Menschliche‘: Implizites Wissen und erfahrungsgelenkt-subjektivierendes Arbeitshandeln

In der Diskussion um die Digitalisierung von Arbeit werden Qualitäten wie vor allem die Kreativität, aber auch Spieltrieb, Initiative, Empathie, Authentizität etc. als typisch menschliche Eigenschaften benannt, die technische Systeme nicht aufweisen, die allerdings in Arbeits- und Produktionsprozessen benötigt werden. Es wird als zentra-

¹⁰ Im Zusammenhang mit CPS wird von ‚embedded systems‘, also der Integration der Software in die Hardware gesprochen. Diese Perspektive erhält hier eine Erweiterung um die Einbettung in das sozio-technische System.

¹¹ Lee (2008) verdeutlicht existierende „Unschärfen“ vernetzter arbeitender eingebetteter CPS am Beispiel der nie vollständigen Zeitsynchronität interagierender Hardware-Komponenten. Für ihn ist die „physical world“ im Gegensatz zur Cyber-Welt der Software nicht „vollständig vorhersagbar“, denn für CPS gibt es keine „kontrollierte Umwelt“ (ebd., 4). Zwar sollte man nach Lee versuchen, „Verlässlichkeit und Vorhersagbarkeit“ auch hier herzustellen, jedoch muss das durch eine Strategie der „Robustheit“ begleitet werden, da letztlich nur diese erreichbar ist (ebd.).

le Herausforderung gesehen, sozio-technische Systeme so zu gestalten, dass sie sich als an diese menschlichen Qualitäten anschlussfähig erweisen. Empirische Untersuchungen haben solche und weitere menschliche Fähigkeiten konkretisiert, wie die mit widersprüchlichen Arbeitsanforderungen (Moldaschl 2010) umzugehen, konfligierende Handlungslogiken miteinander zu vereinbaren (Huchler et al. 2007) oder insgesamt Unsicherheit und Ungewissheit zu minimieren, zu bewältigen (Grote 2015) oder auch aktiv aufrechtzuerhalten und zu bearbeiten (Böhle und Rose 1992; Pfeiffer 2007).

Wie kann nun dieses vielfältige Set an ‚typisch menschlichen‘ Kompetenzen systematisch gefasst werden? Einen Zugang mit hoher Erklärungskraft bietet das Konzept des *erfahrungsgeleitet-subjektivierenden Handelns* (Böhle 2009). Dieses unterscheidet zwischen einem objektivierenden (kognitiv-rationalen) und einem erfahrungsgeleitet-subjektivierenden Denken und Handeln (s. Abb. 1). Im Zentrum steht dabei die Differenzierung zwischen einem expliziten bzw. ‚objektivierbaren‘ (z. B. formalisierbaren bzw. digitalisierbaren) und einem impliziten Wissen (tacit knowing) (Polanyi 1985). Aus Letzterem wird eine Handlungsform abgeleitet, die ihren Gegenstand ‚subjektiviert‘. Sie wird als notwendige Ergänzung des kognitiv-rationalen Handelns begriffen.

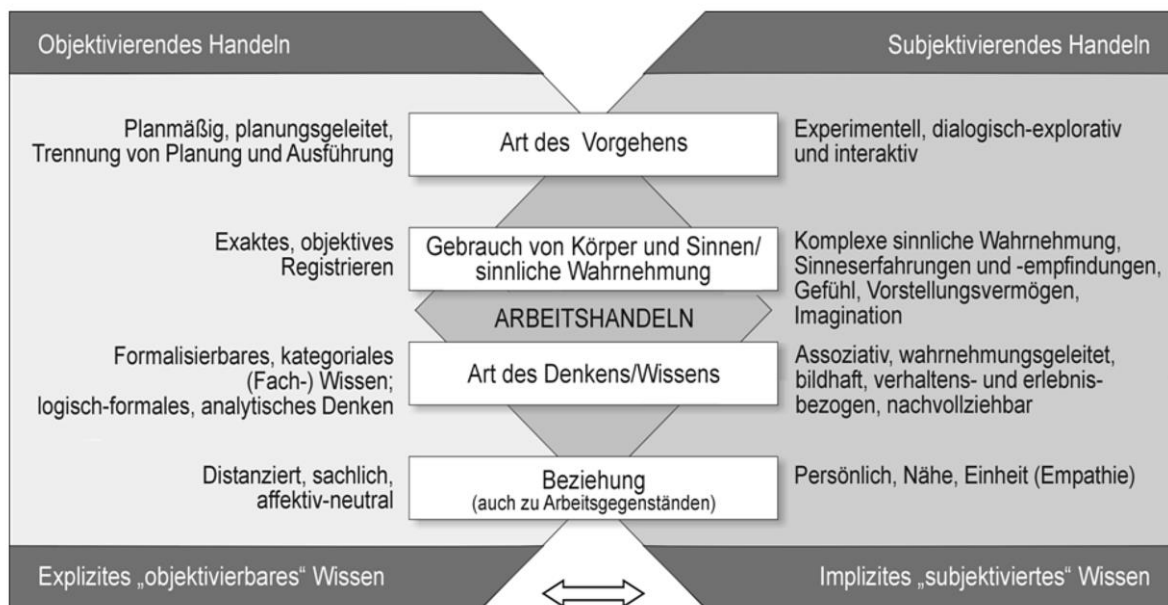


Abbildung 1: Arbeitshandeln

(Quelle: Böhle et al. 2011, 21)

Um erfahrungsgeleitet-subjektivierendes Handeln zu erfassen, wird bei der Art des Vorgehens, beim Gebrauch von Körper und Sinnen, bei der Art des Denkens/Wissens und bei der Beziehung zum Arbeitsgegenstand (was sowohl Menschen als auch Dinge einschließt) jeweils zwischen einem rational kalkulierenden ‚objektivierenden‘ und einem ‚subjektivierenden‘ Zugang unterschieden (s. Abb. 1). Um ein anschauliches Beispiel zu nennen: Die objektivierende, auf explizitem Wissen beruhende

de Perspektive zum Erlernen des Fahrradfahrens wäre es, einen Fahrradprofi ein Buch schreiben zu lassen – ‚Zehn Schritte zum Fahrradfahren‘. Üblicherweise wird jedoch ein anderer Zugang gewählt: Auf das Fahrrad setzen, anschieben, relativ schnell alleine fahren. Während des Fahrens wäre es fatal, zunächst über die in jedem Moment notwendige ausgleichende Abstimmung zwischen Gerät und Körper nachzudenken und anschließend zu handeln. Vielmehr müssen Handeln und Denken ineinanderfließen. Unbewusst ist ein solches Handeln keinesfalls. Es folgt nur nicht der klassischen Abfolge bewusst und kalkuliert getroffener Entscheidungen: Erst denken, dann handeln.

Entdeckt wurde dieses Handeln in der Arbeitssoziologie jedoch nicht bei stark körperbetonten Tätigkeiten, sondern in der hochtechnisierten chemischen Prozessindustrie. Im Umgang mit den großen Anlagen schildern erfahrene Mitarbeiter sehr eindringlich, dass sie deren Zustand an der Spannung in der Luft erspüren, an Farbnuancen in den Becken oder bereits bei der Anfahrt am Rauch erkennen und Gerüche wie Geräusche zusätzlich zu den technischen Anzeigen von hoher Bedeutung für die Arbeit sind (Bauer et al. 2006; Böhle und Milkau 1988). An die Forschungen haben seitdem viele empirische Untersuchungen angeschlossen, die subjektivierendes Denken und Handeln in allen Arbeitsbereichen (z. B. für die Wissensarbeit: IT, für die Dienstleistungen: Pflege) gefunden haben und dessen Relevanz aufzeigen konnten (zum Überblick s. Böhle 2016).

Die menschliche Fähigkeit, das eigene Handeln situativ und flexibel ohne langes Nachdenken und Planen an variierende Gegebenheiten anzupassen, geht im Wesentlichen auf implizites Wissen zurück.¹² Wenn bei hohem Zeitdruck und großer Ungewissheit in sogenannten ‚Feuerwehraktionen‘ gehandelt werden muss, ist diese besondere „Könnerschaft“ (Neuweg 2015) entscheidend. Erfahrene Manager wie auch Fachkräfte führen viele ihrer zentralen Entscheidungen auf Intuition, Emotionen und „Bauchgefühle“ (Gigerenzer 2007) zurück. Solche „praktische Intelligenz“ ist ebenfalls notwendig, um schnell das Verhalten anderer zu erkennen und flexibel darauf zu reagieren (Alkemeyer 2009). An die Stelle der Beobachtung und Identifizierung von Verhaltensregeln sowie -mustern tritt dabei das empathische, subjektive Erspüren und Nachvollziehen des Verhaltens anderer – auch von Gegenständen. Hierdurch wird es möglich, quasi am eigenen Leib zu erkennen, wie sich andere verhalten (werden). Eine solche flexible, handlungsbezogene Kommunikation ist vor allem zur wechselseitigen Abstimmung bei der Arbeit in Gruppen und Teams erforderlich (Porschen 2010); sie spielt aber ebenso im Umgang mit technischen Systemen eine zentrale Rolle (Böhle und Rose 1992; Pfeiffer 2007).

Für die weitere Argumentation ist festzuhalten, dass sich das *objektiv-rationale Handeln* als direkt anschlussfähig an das ‚Maschinenhandeln‘ und die Zeichenlogik der Software erweist, während sich das erfahrungsgeleitet-subjektivierende Handeln der Explizierung seiner Wissensbasis verweigert – und sich damit auch dem Zugriff der Digitalisierung entzieht. Denn durch es wird ein besonderes Erfahrungswissen

¹² Ein solches Handeln wird auch als „situiertes“ Handeln (Suchman 2007) bezeichnet.

aufgegriffen, das unmittelbar in praktisches Handeln eingebunden ist und hiervon nicht abgelöst und expliziert kommuniziert, erworben sowie angewendet werden kann (Böhle 2015). Es lässt sich nicht ohne elementare Verluste in die Zeichensprache übersetzen und ist somit weder explizit verfügbar noch in üblicher Form als Wissen darstell- und erkennbar.

Mit diesem Instrumentarium sollen nun Leitbilder der Industrie 4.0 daraufhin analysiert werden, inwieweit sie einen *technik-* oder einen *humanzentrierten* Blickwinkel einnehmen. Das soll auf den drei Ebenen *Mensch*, *Technik* und *Organisation* geschehen.

3 Technik- vs. humanzentrierter Ansatz: Konfligierende Leitbilder der Industrie 4.0 auf den Ebenen Mensch, Technik und Organisation

3.1 Mensch: Polarisierungs- vs. Komplementaritätsthese

Die bekannteste Frage bezüglich möglicher Entwicklungslinien im digitalen Wandel ist die nach den Auswirkungen auf Tätigkeiten und Qualifizierung. Kommt es im Zuge der Digitalisierung zu einer Aufspaltung in Hochqualifizierte (v. a. im Bereich Software und eventuell kreative Tätigkeiten) und Niedrigqualifizierte (v. a. Bediener und Resttätigkeiten), wie es die Polarisierungsthese prognostiziert (z. B. Hirsch-Kreinsen et al. 2015, 18; BMAS 2016, 134 f.)? Oder wird eine allgemeine Veränderung von Tätigkeiten über alle Qualifikationsniveaus hinweg festzustellen sein, was laut Komplementaritätsthese zu erwarten ist? Hinter den Polen solcher Richtungsfragen stecken latente und noch nicht systematisch miteinander vermittelte Leitbilder und entsprechende Annahmen über die Ersetzbarkeit menschlichen Arbeitshandelns.

Die Frage nach den Auswirkungen des digitalen Wandels auf Tätigkeiten und zukünftig (noch) benötigte Qualifikationen wird breit diskutiert (Überblick in BMAS 2016, 132 ff.) und es herrscht dabei keine Einigkeit. So prognostizierten ExpertInnen auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos 2016 jüngst einen weltweiten Verlust von sieben Millionen Arbeitsplätzen, der durch zwei Millionen neu entstehende lediglich leicht abgedämpft werde (Süddeutsche Zeitung 2016a). Andere sprechen von einem Wegfall von 18 Millionen Arbeitsplätzen allein in den USA (Süddeutsche Zeitung 2016b). Für Deutschland liegen eher ausgeglichene Prognosen vor, etwa dass „über 490.000 bisher bestehende Arbeitsplätze bis 2025 verloren gehen, jedoch auch 430.000 neue entstehen“ (Wolter et al. 2015, 63). Weitere Studien konstatieren einen Wachstumsimpuls für die Beschäftigung in Deutschland (z. B. Rüßmann et al. 2015).¹³

Wenn es um die Begründungen im Detail oder um Voraussagen zur Zukunftsfähigkeit von Berufen, Berufsfeldern und Tätigkeiten geht, werden die spekulativen Momente dieser Annahmen offensichtlich. Sie basieren zum Teil auf Unterstellungen monokausaler Zusammenhänge, der Annahme von Pfadabhängigkeiten und extremen Vereinfachungen.

¹³ Rüßmann et al. (2015: o. S.): “In our analysis of Industry 4.0’s impact on German manufacturing, we found that the growth it stimulates will lead to a 6 percent increase in employment during the next ten years.”

Mit dem Fokus auf disruptive Innovation wird unterstellt, dass ganze Tätigkeitsfelder oder Berufe ersatzlos verschwinden, etwa der Beruf ZahntechnikerIn infolge des 3D-Drucks. Jedoch betonen Fachexperten (ZahntechnikerInnen, Verband der Deutschen Dental-Industrie etc.) eher eine inhaltliche Verschiebung oder sogar eine Aufwertung des Berufs durch neue Technologien und integrierte Prozessketten. Gerade die aktuell stark wachsenden Zahntechnikinstitute, die auf die CAD-Erfassung und Produktion mittels Laserschweißen setzen, suchen ZahntechnikerInnen und nehmen weiterhin einen Fachkräftemangel wahr (Heraeus Kulzer 2015).¹⁴

Bei Prognosen über in Zukunft noch benötigte Tätigkeiten und Qualifikationen überwiegen ein quantifizierender Zugang und ein reduktionistischer Blick auf Funktionen. Dabei werden jedoch z. B. – nicht nur in der Studie von Frey und Osborne (2013) – vermeintliche Routinetätigkeiten systematisch unterschätzt, wie die Untersuchung von Pfeiffer und Suphan (2015) zum Arbeitsvermögensindex aufzeigt. Auch wurden die sogenannten MABA-MABA-Modelle („men are better at“ vs. „machines are better at“) bereits von Dekker und Woods (2002) für ihre quantitative, auf einzelne Funktionen reduzierte Sichtweise kritisiert, die zu sehr vom tatsächlichen Arbeitshandeln abstrahiert und nicht die Wechselwirkung zwischen technischem Wandel und menschlicher Arbeit beachtet. So forciert die Automatisierung geradezu die Notwendigkeit neuer Tätigkeiten, die auch über die Problemfelder der Automatisierungsdilemmata bzw. die ‚Ironies of Automation‘ (Bainbridge 1983) hinausgehen.

Bei der Frage, wie sich Tätigkeiten, Kompetenzen und Berufe im Zuge der Digitalisierung von Arbeit verändern, lassen sich die folgenden zwei Argumentationslinien unterscheiden:

¹⁴ Es lassen sich viele weitere Beispiele nennen, die aktuell diskutiert werden: Beispielsweise könnten Algorithmen Juristen ersetzen, da sie auf Basis von formalisierten Quellen (Gesetzesbücher) arbeiten. Wiederum gibt es Anwaltskanzleien, die schon länger eigene semantische Algorithmen einsetzen, um Vergleichsfälle etc. zu finden, ohne dass dies Arbeitsplätze gefährdet hat. Oder: Webbasierte medizinische Anamnese-Portale können Laien in der Selbstdiagnose treffsicher anleiten, 24h-Online-Dienste über Video beraten und die passenden Medikamente vorschlagen. Dennoch ist die direkte Interaktion mit dem Arzt/der Ärztin unersetzbar – nicht nur aufgrund von Verantwortlichkeiten, sondern da diese wesentlich mehr (teils latente) Funktionen erfüllt als die Standardmedikation.

Polarisierungsthese	Komplementaritätsthese
Automatisierung routineintensiver Funktionen und damit Verschwinden ganzer menschlicher Tätigkeitsfelder und Berufe	Automatisierung von linearen und belastenden Tätigkeitsanteilen bei gleichzeitiger Entstehung neuer Aufgaben für die menschliche Arbeit (insbesondere der Umgang mit neuen Unsicherheiten und Komplexität)
Betroffen sind v. a. mittlere Qualifikationsniveaus (Facharbeit oder Sachbearbeitung), aber auch Anteile von Wissensarbeit, z. B. JuristInnen, ÄrztInnen etc.	Die Digitalisierung berührt zunehmend alle Tätigkeitsbereiche und Qualifikationsniveaus
Zunehmende Spaltung in Hochqualifizierte (IT, Kreativität, Soziales) und Niedrigqualifizierte (Resttätigkeiten, noch nicht automatisierte Tätigkeiten bzw. solche, bei denen sich Automatisierung noch nicht lohnt)	Möglichkeit zur Aufwertung nahezu aller Tätigkeiten und Qualifikationsniveaus
Fachqualifikation: Programmierung wird zentral; Kreativität, Innovation und soziale Kompetenzen bleiben wichtig	Eine Vielzahl von Kompetenzen wird wichtiger: Lernen in der Arbeit, Interdisziplinarität, IT-/Medien-Kompetenz, vernetztes Arbeiten, Problemlösung, Systemwissen, Umgang mit Komplexität, Kommunikation, Vernetzung etc.
Eher disruptiver Wandel von Tätigkeiten und Qualifikationen	Beschleunigter, aber eher kontinuierlicher Wandel von Tätigkeiten und Qualifikationen
Fokus auf Steuerungssoftware und formale Funktionen	Fokus auf die komplexe (auch informelle) Arbeitspraxis
Formales, explizites Wissen	Nicht-formalisierbares, implizites Wissen
Objektivierendes Handeln	Subjektivierendes Handeln
Ersetzbarkeit menschlichen Handelns und humaner Kompetenzen	Nicht-Ersetzbarkeit und Notwendigkeit menschlichen Handelns und humaner Kompetenzen
<i>technikzentriert</i>	<i>humanzentriert</i>

Tabelle 1: „Polarisierungs- vs. Komplementaritätsthese“

(Quelle: eigene Darstellung)

3.2 Technik: Gleichheits- vs. Differenzannahme im Verhältnis zwischen Technik und Mensch

Eine eher unterschwellig mitschwingende Richtungsfrage lautet: Ist für die Technikentwicklung von einer potenziellen Gleichheit zwischen Technik und Mensch auszugehen oder muss eine grundlegenden Differenz angenommen werden? *Ersetzt Technik nach und nach* menschliche Arbeit oder ergänzt und fördert sie diese auch auf lange Sicht? Wie werden sich einzelne technische Entwicklungen auf die Handlungsspielräume und Qualifikationen ihrer Nutzer auswirken? Die Frage, ob Technik

den Menschen ‚empowert‘ bzw. befähigt oder einschränkt und dequalifiziert, hängt ebenfalls davon ab, ob bei der Technikentwicklung und bei ihrem Einsatz eine Gleichheits- oder eine Differenzannahme zugrunde gelegt wird – also ob prinzipiell unterstellt wird, dass sich menschliches Handeln und Wissen komplett technisch abbilden lässt, oder ob davon ausgegangen wird, dass dafür begründete Grenzen existieren.

Ausgangspunkt ist die Annahme eines massiven Wandels im Verhältnis von Mensch und Technik: Es wird konstatiert, dass die Grenzen zunehmend verwischen – im Handeln (Fahrassistenz, Zeitmanagement etc.), auf der Ebene des Wissens (intelligente Such- oder Content Management Systeme) und gleichfalls auf der sachlichen bzw. körperlichen Ebene (Wearables, Implantate etc.). Darüber hinaus werden technische Systeme immer komplexer und weniger kontrollierbar, insbesondere Künstliche Intelligenz (KI). Vor dem Hintergrund vernetzter Systeme mit verfeinerter Sensortechnik, interaktiver und intuitiver Schnittstellen (etwa berührungssensibler Roboter), Trackingsystemen und Bio-Feedback-Sendern, die Daten über Emotionen, Zustand und Verhalten erfassen, kombiniert mit künstlicher Intelligenz¹⁵ (mit Big Data Analytics, interpretativen Verfahren, semantischen Technologien etc.) betrifft dies auch die Arbeit in der Industrie 4.0.

Aus der Perspektive des *Gleichheitsansatzes* werden die technischen Systeme zunehmend zu eigenständigen Akteuren und die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) wandelt sich zur Mensch-Maschine-Kooperation (MMK). So lassen sich z. B. lernende intelligente Systeme¹⁶ als Akteure beschreiben, die Muster bzw. statistische Regelmäßigkeiten erkennen und Wahrscheinlichkeiten abgleichen können. Auf Grundlage vorgegebener Handlungsmodelle können sie selbst Entscheidungen treffen; sie können antizipieren, wie sich Menschen in offenen Situationen und bei unterschiedlichen Handlungsmöglichkeiten entscheiden und eventuell dementsprechend handeln werden (Fink und Weyer 2014). An dieser Stelle eröffnen soziologische Ansätze neue Blickwinkel, indem sie anstelle der traditionellen Gegenüberstellung von aktivem menschlichem Akteur und passivem technischem Objekt auch die Technik in die Rolle eines Akteurs versetzen (Rammert und Schulz-Schaeffer 2002; vgl. ebenfalls Latour 1987). Offensichtlich ist, dass mit der Existenz zunehmend komplexer vernetzter Systeme, die mit einer immer ausgeklügelteren künstlichen Intelligenz ausgestattet sind, eine Neubestimmung der „verteilten“ bzw. „hybriden Handlungsträgerschaft“ (Rammert 2009) zwischen Mensch und Technik notwendig wird. In diesen Überlegungen erscheinen Szenarien, die die Technik als untergeordnetes Hilfsmittel des Menschen sehen („Werkzeugszenario“), ebenso unangemessen wie solche, die den arbeitenden Menschen nur als Anhängsel eines technisierten Prozesses begreifen („Automatisierungsszenario“). Es geht vielmehr um „Hybridszenarien“ (Ahrens und Spöttl 2015, 190 f.).

¹⁵ Vgl. auch die Versuche einer Nachahmung des menschlichen Gehirns (z. B. die neueren Entwicklungen der Bilderkennung durch Google) wie ‚neuronalen Netze‘ oder ‚Deep-Learning‘-Systeme.

¹⁶ Wie das Anlernen von KI-Systemen mit interpretativen Daten, symbolischen Deutungen und mit Handeln auf Basis von Wahrscheinlichkeiten (z. B. die massively parallel probabilistic evidence-based architecture (DeepQA) der KI ‚Watson‘ von IBM).

Dass Technikentwicklung am Bedarf bzw. am Kunden ausgerichtet sein soll, ist keine neue Anforderung.¹⁷ Mit der Digitalisierung und allem voran bei der Weiterentwicklung von Robotertechnologie und künstlicher Intelligenz entsteht hier jedoch ein neuer, noch nicht ausformulierter Diskurs, der im Folgenden mit der Formel „humanizing technology“ (Ortiz 2014) gefasst werden soll. Mit der Verbreitung mobiler Endgeräte sowie dem ‚Internet der Dinge und Dienste‘ gewinnt die (z. B. für die Arbeit in Industriebetrieben) gängige Problematik an neuer Aufmerksamkeit, dass Techniknutzung auch zum Teil ‚de-humanisierende‘ bzw. entfremdende (insbesondere dequalifizierende) Wirkungen erzeugen kann, da Nutzer ihr Handeln der Logik und den Bedingungen der Technik anpassen (müssen). Die Lösung der Entfremdungproblematik in der MMI bzw. eine ‚Humanisierung der Technik‘ wird aktuell vor allem in einer stärkeren Ähnlichkeit der Technik zum Menschen gesehen – insbesondere bei Assistenzsystemen (ebd.). Zum einen wird an den Schnittstellen bzw. an der Kommunikation zwischen Mensch und Technik angesetzt, z. B. durch eine niederschwellige, intuitivere Sprachsteuerung. Zum anderen richtet sich der Fokus direkt auf die Technik selbst, die dem Menschen ähnlich gestaltet werden soll, insbesondere auch mit dem Ziel, Vertrauen zu erzeugen. Mensch und Maschine sollen so zu Partnern werden und kooperieren.

Entsprechend des Leitbilds des Gleichheitsansatzes folgt nun daraus die Annahme, dass Ähnlichkeit automatisch der Entfremdung entgegenwirkt. Die Simulation des Menschen wird hier zum Selbstzweck. Dieses Leitbild weist jedoch blinde Flecken auf und stellt nahezu ausschließlich die Technik in den Mittelpunkt. Es hält an der Agenda eines schrittweisen Ersatzes menschlichen Denkens und Handelns durch Technik fest, statt eine echte Unterstützungs- und Entwicklungsperspektive für menschliche Fähigkeiten zu eröffnen. Dabei müssen benutzerfreundliche bzw. intuitive Schnittstellen einer Qualifizierungs- und Ermächtigungsperspektive nicht entgegenstehen. So kann z. B. an intelligente, Big Data nutzende Navigationsgeräte mit optimierten Schnittstellen durchaus der Anspruch gestellt werden, das Orientierungs- bzw. Navigationsvermögen der Nutzer zu fördern, statt es tendenziell zu reduzieren bzw. zu dequalifizieren.¹⁸

Aus der Sicht des *Differenzansatzes* lassen sich Akzeptanz und Erfolg der Interaktion sowie Kooperation zwischen technischem System und Menschen durch die Möglichkeit zur Aneignung der Technik über erkennbare Nützlichkeit, Anwendbarkeit und (bedingte¹⁹) Kontrollierbarkeit (vgl. zu Letzterem die entsprechenden Kriterien bei Grote 2015, 136) der Effekte erreichen. Dafür ist es nicht erforderlich, dass das technische System menschenähnlich gestaltet wird. Im Gegenteil: Dies kann gerade Befremden und Distanz erzeugen.²⁰ Vor allem im Arbeitszusammenhang ist es denkbar, dass eine solche, notwendigerweise eingeschränkte Ähnlichkeit nicht als

¹⁷ Vgl. beispielsweise im Zusammenhang mit vernetzter Technologie die „Human-Centric“-Technikentwicklung von Steve Jobs (Hiner 2011).

¹⁸ Durch interdisziplinäre Kooperationen in der Entwicklung könnten existierende Lösungsansätze aufgegriffen werden.

¹⁹ Im Sinne einer Steuerbarkeit der Effekte, auch wenn die dahinter stehenden komplexen Prozesse nicht mehr durchschaut werden können.

²⁰ Siehe u. a. die Forschungen zum (kulturabhängigen) „Uncanny-Valley“-Effekt von Masahiro Mori, insbesondere in der Robotik (MacDorman 2005).

authentisch, sondern eher als manipulativ und instrumentalisierend wahrgenommen wird. Die Prozesse eines autonom kooperierenden Systems (z. B. Leichtbauroboter) sind nachvollziehbarer, wenn sie offen der rationalen Logik expliziten Wissens folgen und keine ‚menschliche‘ Maske tragen. Nicht zuletzt signalisiert Ähnlichkeit auch immer potenzielle Ersetzbarkeit. Gleichzeitig rücken die die menschliche Arbeitskraft ergänzenden, unterstützenden und befähigenden Funktionen der Technik in den Hintergrund. Ohne Aufwertungs- bzw. Ermächtigungsperspektive liegt es nahe, dass dies als Bedrohung interpretiert wird, die Vertrauen entgegensteht (vgl. Böhle et al. 2014).

Es geht also weniger um eine Humanisierung der Technik als um eine *Humanisierung der Arbeit* durch Technik, mit dem Ziel eines ‚befähigenden‘ Mensch-Technik-Verhältnisses. In diesem Zusammenhang ist eine Aktualisierung bzw. Erweiterung der *Werkzeugmetapher*²¹ vonnöten. Wenn Arbeit und Technik so gestaltet sind, dass ein erfahrungsgeleitet-subjektivierender Zugang ermöglicht wird, kann der Mensch das Werkzeug zum Partner bzw. ‚zum Subjekt machen‘, d. h. subjektivieren (vgl. Böhle et al. 2011). Diese Form des intensiven wechselseitigen (ja sogar empathischen) Gegenstandsbezugs ist unabhängig von einer Ähnlichkeit zwischen menschlichem und technischem Agieren und erfordert keine intelligenten Schnittstellen. Sie lässt sich in allen Tätigkeitsfeldern finden: bei WissenschaftlerInnen, ProgrammierInnen, ÄrztInnen, HandwerkerInnen, MechanikerInnen, Reinigungskräften usw. (vgl. exemplarisch Böhle 2016). Versenkt sich der Mensch in die Arbeit und geht eine kooperative Beziehung mit den Arbeitsgegenständen und -mitteln ein, ist es ihm möglich, die Potenziale menschlichen Arbeitshandelns umfänglich einzubringen. Technik kann dann als ‚Werkzeug‘ fungieren, das gepflegt wird; und der Umgang mit ihm kann perfektioniert werden. Die Perspektive, dass Kooperation oder Vertrauen nicht durch Ähnlichkeit erzeugt werden muss, sondern durch wechselseitige Ergänzung gefördert werden kann, eröffnet umgekehrt auch neue Potenziale für die Technikentwicklung – jenseits der Ähnlichkeit.²² So könnte sich die Handhabung des ‚Werkzeugs‘ und die Beziehung zu ihm verbessern, wenn der/die ‚NutzerIn‘ sich gerade die besonderen, ergänzenden Möglichkeiten der Technik aneignet, um Dinge zu tun, die er/sie nicht von selbst beherrscht. Es gibt unzählige Beispiele für ‚ermächtigende‘ und daher wertgeschätzte Technik bzw. Werkzeuge, die die eigene Arbeitskraft in ihrer Entfaltung potenzieren – vom Baustellenfahrzeug bis zum Mobiltelefon. Diskutiert wird beispielsweise die Rolle von Hebehilfen (z. B. Exoskelette) in der Logistik oder ähnlicher Systeme in der Pflege (gegenüber Pflegerobotern) und deren Auswirkungen auf die (soziale) Interaktion mit dem Patienten (Birken et al. 2015).

Es kann festgehalten werden, dass nicht nur die direkte Ausblendung typisch menschlicher Kompetenzen (v. a. impliziten Wissens), sondern auch der Versuch,

²¹ In Bezug auf die Handlungs- und Entscheidungsspielräume des Menschen wird zwischen einem Automatisierungs- und einem Werkzeugszenario unterschieden (z. B. Windelband und Spöttl 2012, 205-219; Dombrowski et al. 2014, 137).

²² Mit Verweis auf Arbeitsschutz und Ergonomie werden etwa Leichtbauroboterarme (beispielsweise bei Kuka) in ihrer Bewegung, Reaktion (z. B. Widerstand) und Hebekraft dem menschlichen Arm nachempfunden, trotz einer höheren Anzahl an Gelenken etc., um Unfälle zu vermeiden und Vertrauen zu erzeugen. Entsprechend der Differenzannahme wäre das nicht nötig.

diese in technische Systeme zu integrieren und zu simulieren, aufgrund der notwendigen Explizierung in eine partielle Reduktion von Wissen mündet. Technik kann sich für implizites Wissen durchaus als anschlussfähig erweisen, offen, sensibel und vor allem gestaltbar sein. Dennoch kann sie implizites Wissen nicht unmittelbar aufnehmen und verarbeiten oder gar selbst herstellen – auch wenn Simulationen den Anschein erwecken. Nicht zuletzt müssen die aus sozialen Daten gewonnenen Erkenntnisse digitalisiert werden, um sie rechenbar zu machen.

Je höher der Automatisierungsgrad, desto mehr sind ebenfalls intelligente Systeme darauf angewiesen, Ungewissheit in der Mensch-Technik-Beziehung zu reduzieren. ‚Externe‘ Einflussfaktoren und Umweltbedingungen müssen ex ante einkalkuliert und können im Prozess nur gefiltert aufgegriffen werden. Auch bei der Gestaltung komplexer, sich selbst steuernder sozio-technischer Systeme (also inklusive Mensch) kann der Mensch als Stör- und Risikofaktor wahrgenommen werden – insbesondere wenn ein hoher Automatisierungsgrad angestrebt wird. Als Beispiele lassen sich Unternehmen wie Amazon und Hitachi nennen. Dort werden Trackingsysteme (z. T. mit Audioaufzeichnung) zur Leistungssteuerung und -kontrolle genutzt. Bei Hitachi stößt anhand dieser Daten ein Programm direkt personelle Entscheidungen an (Welt 2015).

Die Gleichheitsannahme befördert in ihrer Konsequenz nicht zuletzt das Szenario einer Vollautomatisierung. Als Gestaltungsprinzip birgt sie die Gefahr, dass menschliches Handeln nicht nur unterstützt, sondern gleichfalls beschränkt und an die Funktionserfordernisse der technischen Systeme angepasst wird – und dass eine solche Beschränkung als Sachzwang erscheint. So kann z. B. danach gefragt werden, unter welchen Einschränkungen für Fahrer und Verkehrssystem sich das autonome Fahren (vgl. Google, Tesla etc.) realisieren lässt. Je regelgeleiteter und kontrollierter das Verkehrssystem ist, je weniger autonome Handlungsmöglichkeiten folglich dem Fahrer zugestanden werden, desto leichter wäre die Einführung.

Der Differenzansatz setzt dagegen einer einseitigen Anpassung des Menschen (und der Gesellschaft) an die aktuellen Bedarfe bestimmter Techniken bzw. Technologien Grenzen, durchbricht präventiv vermeintliche Pfadabhängigkeiten und ermöglicht Innovation sowie Diversität. Ein solches Konzept verweist auf eine (neue) Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik, die die jeweiligen – unterschiedlichen – Potenziale beider Seiten aufgreift und diese in eine wechselseitig befruchtende Beziehung setzt. Die Grenzen der technischen Erfassbarkeit bereits bei der Technikentwicklung einzubeziehen, setzt neue Potenziale frei, indem die Ergänzungsperspektive geschärft wird. Wenn die MMI/MMK nach den jeweiligen Potenzialen von Mensch und Technik gestaltbar sowie eine situative Abstimmung einer entsprechenden Arbeitsteilung möglich ist, fördert dies wechselseitiges Lernen am Gegenstand und in der Kooperation – im Sinne einer ‚Co-Evolution‘ von Mensch und Technik.

Gleichheitsannahme	Differenzannahme
Technik und Mensch verschmelzen	Technik und Mensch bleiben different
Potenzielle Komplettsimulation des Menschen möglich	Typisch menschliche Aspekte sind nicht in Technik überführbar
Komplexe Systeme als eigenständige Akteure	Menschen gestalten komplexe Systeme
Handeln und Wissen sind (z. B. über Muster, Sozialdaten etc.) potenziell komplett/ohne Wissensverlust digitalisierbar, also in die Maschinensprache übersetzbar	Neben dem formal erfassbaren/messbaren Handeln und Wissen ist auch solches notwendig, das sich nicht formalisieren/digitalisieren lässt
Fokus auf Objektivierung und explizites Wissen, Ausblendung der nicht-formalisierbaren Anteile sozialen Handelns	Erfahrungsgeleitet-subjektivierendes Handeln und implizites Wissen als eine Grenze annehmen
Kontrollierbarkeit/Beherrschbarkeit von Komplexität möglich	Umgang mit und Offenhalten von Komplexität nötig
Reduktion und letztlich Ersatz menschlichen Handelns	Ermächtigung/Befähigung des Menschen durch Technik
Simulation des Menschen als zentraler Entwicklungspfad	Komplementäre Potenzialentwicklung von Mensch und Technik
Lernen der Technik durch Datenaufnahme und Verknüpfung	Mensch als ‚Lehrer‘
Akzeptanz und Vertrauen durch Ähnlichkeit/ ‚simuliertes Vertrauen‘	Akzeptanz und Vertrauen durch Nützlichkeit/Befähigung
Wettkampf von Mensch und Technik um Handlungsmacht	Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik
Technik als Umwelt des Menschen	Technik als Werkzeug
Humanisierung der Technik (Ähnlichkeit)	Humanisierung durch Technikgestaltung
Überwindung der Natur durch Technologie	Symbiose von Technik und Natur
Kolonialisierungslogik der Technik, die alle Grenzen überwindet	Eigenwert/-funktion nicht technisierter Bereiche
<i>technikzentriert</i>	<i>humanzentriert</i>

Tabelle 2: „Gleichheits- vs. Differenzannahme“
(Quelle: eigene Darstellung)

3.3 Organisation: Integrations- vs. Offenheitsstrategie im Umgang mit Komplexität und Ungewissheit

Zentrales Leitbild der Industrie 4.0 ist die Digitalisierung, Synchronisation und Verknüpfung sämtlicher betrieblicher Prozesse zu einem integrierten Netzwerk, um eine ‚ereignisgesteuerte‘ Prozesssteuerung ‚in Echtzeit‘ zu ermöglichen. Damit grenzt sich die Smart Factory sowohl von der zentralisierten Steuerung der „Fabrik“ (in Anlehnung an die traditionelle Fabrik) als auch von der dezentralen, selbstorganisierten Steuerung ab.

nung an Taylorismus und Bürokratie) als auch von der dezentralen Steuerung der „Fabrik in der Fabrik“ (in Anlehnung an post-tayloristische Konzepte der Projektarbeit und indirekten Steuerung) ab (vgl. Steinberger 2013, 5). Damit soll u.a. auf zunehmende Unwägbarkeiten und Unsicherheiten reagiert und Komplexität beherrschbar werden.

Die *Integrationsstrategie* zielt – im Sinne ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) – auf eine neuartige Verknüpfung aller digital erfassten Prozesse auf der Arbeitsprozessebene, der Bereichsebene (MES) und der Unternehmensplanungs- sowie Unternehmenssteuerungsebene (ERP/PPS) (vgl. Steinberger 2013, 7). Das geschieht durch intelligente, kommunizierende Objekte, lückenlose digitale Dokumentation, über Assistenzsysteme, Sensortechnik und Trackingsysteme sowie die Entscheidungsfindung mit Hilfe von Meta-Daten, semantischen Technologien, intelligenten Algorithmen etc. Hinzu kommt, dass dieses Vorgehen auf die gesamte unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette ausgeweitet wird. Bei der digitalen Vernetzung sollen nun typische Aspekte dezentraler Organisation aufgenommen werden, wie individuell angepasste Assistenzsysteme, die situative Abstimmung und Programmierung vor Ort an der Mensch-Maschine-Schnittstelle, aber auch Projektmanagementkonzepte (z. B. Scrum, IT-Kanban etc.). Die Vorteile dezentraler Unternehmenssteuerung (situative, schnelle Reaktionen, Wissen vor Ort, hohe Anpassungsfähigkeit etc.) sollen mit den Vorzügen der zentralen Steuerung (koordiniertes, planmäßiges Handeln, Gesamtüberblick, Durchsetzungsfähigkeit etc.) kombiniert werden. Prozessintegration, -synchronisierung und -stabilität sind zentrale Prinzipien der integrierten Steuerung im Umgang mit Unwägbarkeiten und Komplexität. Es liegt nahe, dass es sich hierbei letztlich um eine ‚flexible Zentralisierung‘ bzw. um eine ‚Re-Zentralisierung‘ auf neuer Stufe handelt – auf der Ebene der Steuerungssoftware bzw. des digitalen Informationsmanagements.

Die *Offenheitsstrategie* grenzt sich von der Integrationsstrategie dadurch ab, dass sie nicht primär das Ziel verfolgt, alle vorhandenen Daten (und Prozesse) zu integrieren und echtzeitnah verfügbar zu machen, um eine zentralisiert vernetzte Steuerung zu ermöglichen. Vielmehr setzt sie gezielt auf das fluide Nebeneinander von Einzellösungen, die sich jedoch situativ miteinander vernetzen können. Damit öffnet sie den Blick auf die Komplexität des Organisationszusammenhangs und macht sich anschlussfähig für nicht-vernetzte und sogar für nicht digitalisiert erfasste Bereiche der Unternehmens- sowie Arbeitsorganisation und des Arbeitshandelns. Diese Perspektive repräsentiert eine Abkehr vom Drang der Durchsteuerung von Organisationen und vom Kontrollimperativ. Sie reflektiert die Grenzen der Digitalisierung und formalen Steuerbarkeit komplexer sozio-technischer Systeme und ermöglicht eine leichtere Integration von Aspekten motivierender Arbeitsorganisation (s. z. B. Grote 2015, 136). Die Akzeptanz von Grenzen der Kontrollierbarkeit – und damit die Wahrnehmung außerhalb der Steuerungslogik angesiedelter Anforderungen sowie Potenziale – sollte bereits in die Entwicklung der entsprechenden Prozesssteuerungssoftware (Huchler 2016) und spätestens in ihre Implementierung einfließen. Eine ‚befähigende‘ digitalisierte Arbeitsorganisation müsste auch die außerhalb der Reichweite der Erfassbarkeit durch Daten liegenden Ressourcen und Kom-

petenzen erkennen sowie fördern – ohne sie in die ‚Zeichensprache‘ der Software zu übersetzen. Um dies zu gewährleisten, bräuchte es selektive Systeme, die kooperativ nur dort ansetzen, wo sie sinnvoll gebraucht werden – die Anschlussmöglichkeiten bereitstellen, die flexibel genutzt werden können. Das ist sehr voraussetzungsreich, denn es bedeutet letzten Endes, dass die Nutzung eines Systems nicht umfassend vorherbestimmt wird. Entsprechend der Offenheitsstrategie stellt sich auch die digitalisierte Arbeitsorganisation mittels Prozesssteuerungssoftware dem Menschen als ‚Werkzeug‘ zur Verfügung und fördert so dessen Kompetenzentwicklung und Einbringung in den Arbeitsprozess.

Integrationsstrategie	Offenheitsstrategie
Integration sämtlicher digitaler Systeme und Prozesse	De-lokale, situativ vernetzte Systeme und Prozesse
Prozessintegration, -synchronisierung und -stabilität als zentrale Prinzipien	Nützlichkeit, flexible Anpassung und Interaktion als zentrale Prinzipien
Ex-ante-Planung und vorbereitende Steuerung von Handlungsräumen	Gewährung von Handlungsräumen und Ex-post-Vernetzung
Fokus auf objektiviertes und explizites Wissen, Ausblendung der nicht-formalisierbaren Anteile der Organisation	Dem erfahrungsgelernt-subjektivierenden Handeln und impliziten Wissen wird Raum gegeben
Kontrolle menschlichen Handelns	Befähigung menschlichen Handelns
Umfassende Digitalisierung im Blick	Grenzen der Digitalisierung im Blick
Ziel der digitalen Erfassung und Steuerung sämtlicher relevanter Prozesse	Ziel der punktuellen Unterstützung in der Koordination und Abstimmung
Leitbild: Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS)	Leitbild: Digital unterstützte Team- und Projektarbeit
Zentralisierung der Daten und der Steuerung	Dezentralisierung der Daten und der Steuerung
<i>technikzentriert</i>	<i>humanzentriert</i>

Tabelle 3: „Integrations- vs. Offenheitsstrategie“
 (Quelle: eigene Darstellung)

In der Zusammenschau ergibt sich die folgende Konstellation:

- Polarisierungs- vs. Komplementaritätsthese auf der Ebene Mensch (Tätigkeiten und Qualifikation)
- Gleichheits- vs. Differenzannahme auf der Ebene Technik (Mensch-Technik-Verhältnis)
- Integrations- vs. Offenheitsstrategie auf der Ebene Organisation (Umgang mit Komplexität und Ungewissheit)

Auf allen drei Ebenen lassen sich die Thesen nach einer technikzentrierten und einer humanzentrierten Perspektive unterscheiden.

Auffällig ist, dass die technikzentrierte Sichtweise intensiv die informationstechnische Steuerung der Prozesse in den Blick nimmt und vom Betrieb als sozial eingebettetes sozio-technisches System weitestgehend abstrahiert. Dabei wird nicht nur die Eigenlogik des Sozialen ignoriert. Der Diskussion um die Industrie 4.0 fehlt auch ein ausgearbeiteter Einbezug des organisationalen Aspekts. Denn die zentralen Fragen nach den Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit und der (neuen) Rolle des Menschen werden sich nicht auf dem Weg technischer Machbarkeit allein beantworten lassen. Der digitale Wandel der Arbeit folgt keiner linearen, technologisch vorgegebenen Pfadabhängigkeit, sondern wird weiterhin Gegenstand von Aushandlungs- und Gestaltungsprozessen sein.

Die humanzentrierte Perspektive erscheint näher an der sozialen Wirklichkeit komplexer sozio-technischer Systeme. Dementsprechend existieren zahlreiche, allerdings oft isolierte Begründungen für diesen Blickwinkel. Mit dem Konzept des erfahrungsgeleitet-subjektivierenden Handelns und insbesondere mit der Unterscheidung zwischen explizitem und implizitem Wissen wurde dem humanzentrierten Ansatz eine mögliche systematische Begründung für eine Eigenlogik menschlichen Handelns zur Verfügung gestellt. Sie ermöglicht es, sich den Fragen nach den Grenzen der Digitalisierung und der (neuen) Rolle des Menschen zu nähern.

4 Fazit: Neue digitale Netzwerk-Ökonomie oder Re-Zentralisierung?

Das technikzentrierte Leitbild der Industrie 4.0 hat mit Blick auf die Arbeitsgestaltung und die hier nicht ausreichend aufgegriffenen Folgeimplikationen für die Gesellschaft, für Organisationen und für Individuen durchaus das Potenzial für eine neue Stufe im Wandel von Produktionssystemen. Jedoch erfasst dieses Leitbild soziale und organisationale betriebliche Wirklichkeit nur sehr ausschnitthaft. Auch jenseits des Diskurses driften das, was aktuell bereits im Einzelnen technisch machbar, und das, was in der Praxis bzw. in der Fläche umsetzbar ist, auseinander.

Arbeitssoziologisch stellt sich die Frage, ob sich die *digitale Netzwerk-Ökonomie* als neue dritte Stufe in die – zumindest konzeptionell etablierte – historische Abfolge von Taylorismus/Fordismus und Post-Fordismus einreihen lässt. Eine Möglichkeit, der Beantwortung dieser Frage näher zu kommen, bietet der Blick auf das jeweilige Steuerungsprinzip. Kann die *integrierte Vernetzung* intelligenter Systeme als Ablösung sowohl von zentraler Steuerung (Taylorismus/Fordismus) als auch von dezentraler Steuerung (Post-Fordismus) und somit als neues Produktionsprinzip verstanden werden?

In diesem Beitrag wurde argumentiert, dass sich gegenwärtig eher eine *Re-Zentralisierung* der betrieblichen Steuerung abzeichnet – jedoch auf einer neuen technischen Stufe und mit stärker grenzüberschreitendem Charakter. Dies legt den Schluss nahe, dass es im Zuge der Digitalisierung von Arbeit aktueller Ausprägung zu einer Neukombination der typischen rationalisierenden Steuerungsformen des Post-Fordismus – wie Subjektivierung (Moldaschl und Voß 2002) und indirekte Steu-

erung (Moldaschl und Sauer 2000) – mit den charakteristischen Rationalisierungsstrategien des Taylorismus/Fordismus (Zerlegung, Trennung von Kopf- und Handarbeit etc.) kommt. Demnach würden klassische Kontrollformen nun verstärkt in die Wissensarbeit einkehren (vgl. Boes und Bultemeier 2008). Da es sich dabei nicht einfach um eine Rückkehr des Taylorismus, sondern um eine Neuwendung postfordistischer Steuerungsformen handelt, kann als Gegengewicht nicht eins zu eins auf die bestehenden Konzepte der Humanisierung der Arbeit (HDA) zurückgegriffen werden, deren Schattenseiten und Begleiterscheinungen in den letzten Jahrzehnten immer offensichtlicher wurden. Es braucht folglich neue Ansätze.

In diesem Sinn wurde der technikzentrierten hier eine humanzentrierte Perspektive gegenübergestellt, die es systematisch weiterzuentwickeln gilt. Die Auseinandersetzung mit dem Mensch-Technik-Verhältnis scheint ein wesentliches Gestaltungsfeld zu sein. Ein komplementärer humanzentrierter Zugang berücksichtigt die nicht-formalisierbaren, außerhalb der Techniklogik liegenden Anteile sozialen Handelns. Diese werden in der Praxis immer (mehr) gebraucht, nicht zuletzt um stark formalisierte bzw. digitalisierte Systeme aufrecht zu erhalten. Daher sollten sie bei Digitalisierungsprozessen möglichst bereits bei der Technikentwicklung bedacht und unterstützt werden. Ein humanzentrierter Ansatz lässt sowohl der Technik wie auch dem Menschen eigene Entwicklungsräume, die sich wechselseitig bestärken können. Er ermöglicht erfahrungsgeleitet-subjektivierendes Handeln und einen Zugang des Menschen zur Technik, der diese wirklich zum Partner macht.

Um die Potenziale einer neu verteilten Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik zu erkennen bzw. zu sehen, wo die Chancen und die Grenzen der Digitalisierung liegen, bietet letztlich die Unterscheidung zwischen explizitem sowie implizitem Wissen bzw. objektivierendem und subjektivierendem Handeln eine hilfreiche Systematik.

Insgesamt wird aktuell oftmals über Tätigkeiten und Berufe gesprochen, ohne wirklich zu beachten, was dort in der Praxis tatsächlich passiert. Es wird weit von der alltäglichen Arbeitspraxis abstrahiert. Um die tatsächliche Komplexität von Tätigkeiten, Kompetenzen und Arbeitsorganisation zu erfassen, muss auf Methoden sowie Ansätze zurückgegriffen werden, die das Verhältnis von Mensch und Technik jenseits bloßer Funktionszuschreibungen bestimmen und direkt an der Alltagspraxis ansetzen.

Literatur

- Ahrens, D.; Spöttl, G. (2015): Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden, 185-203.
- Alkemeyer, T. (2009): Handeln unter Unsicherheit – vom Sport aus beobachtet. In: Böhle, F.; Wehrich, M. (Hg.): Handeln unter Unsicherheit. Wiesbaden, 183-202.
- Bainbridge, L. (1983): Ironies of Automation. In: Automatica, Jg. 19, H. 6, 775-779.

- Bauer, H. G.; Böhle, F.; Munz, C.; Pfeiffer, S.; Woicke, P. (2006): Hightech-Gespür. Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen. Bielefeld.
- Birken, T.; Pelizäus-Hoffmeister, H.; Schweiger, P. (2015): Soziologische Bedarfsanalyse für Technikentwicklung. In: Redlich, T.; Weidner, R. (Hg.): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Wiesbaden, 110-118.
- BMAS (2016): Werkheft 01. Digitalisierung der Arbeitswelt. Paderborn.
- Boes, A.; Bultemeier, A. (2008): Informatisierung – Unsicherheit – Kontrolle. Analysen zum neuen Kontrollmodus in historischer Perspektive. In: Dröge, K.; Marrs, K.; Menz, W. (Hg.): Rückkehr der Leistungsfrage – Leistung in Arbeit, Unternehmen und Gesellschaft. Berlin, 59-90.
- Brödner, P. (2015): Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub? In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden, 231-250.
- Brödner, P. (1986): Fabrik 2000 – Alternative Entwicklungspfade in die Fabrik der Zukunft, 3., durchgesehene Auflage. Berlin.
- Böhle, F. (2016): Arbeit als subjektivierendes Handeln. Handlungsfähigkeit in unweg-samen und ungewissen Situationen. Wiesbaden (im Erscheinen).
- Böhle, F. (2015): Entscheidungs- und Handlungsfähigkeit mit Ungewissheit. In: prae-view. Zeitschrift für innovative Arbeitsgestaltung und Prävention, 2. Jg., H. 3, 9.
- Böhle, F. (2013): Handlungsfähigkeit mit Ungewissheit – Neue Herausforderungen und Ansätze für den Umgang mit Ungewissheit. Eine Betrachtung aus sozioökonomischer Sicht. In: Jeschke, S.; Jakobs, E.-M.; Dröge, A. (Hg.): Exploring Uncertainty. Wiesbaden, 281-293.
- Böhle, F. (2009): Erfahrungswissen – Erfahren durch objektivierendes und subjektivierendes Handeln. In: Bolder, A.; Dobischat, R. (Hg.): Eigen-Sinn und Widerstand. Wiesbaden, 70-88.
- Böhle, F.; Huchler, N. (2016): Cyber-Physical Systems and Human Action. A re-definition of distributed agency between humans and technology, using the example of explicit and implicit knowledge. In: Song, H.; Rawat, D. B.; Jeschke, S.; Brecher, C. (Hg.): Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles, and Applications. Amsterdam (im Erscheinen).
- Böhle, F.; Bolte, A.; Huchler, N.; Neumer, J.; Porschen-Hueck, S.; Sauer, S. (2014): Vertrauen und Vertrauenswürdigkeit. Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik jenseits formeller Regulierung. Wiesbaden.
- Böhle, F.; Bolte, A.; Neumer, J.; Pfeiffer, S.; Porschen, S.; Ritter, T.; Sauer, S.; Wühr, D. (2011): Subjektivierendes Arbeitshandeln – „Nice to have“ oder ein gesellschaftskritischer Blick auf „das Andere“ der Verwertung? In: Arbeits- und Industriesoziologische Studien, Jg. 4, H. 4, 16-26.
- Böhle, F.; Weirich, M. (Hg.) (2009): Handeln unter Unsicherheit. Wiesbaden.
- Böhle, F.; Pfeiffer, S.; Sevsay-Tegethoff, N. (Hg.) (2004): Die Bewältigung des Unplanbaren. Wiesbaden.
- Böhle, F.; Rose, H. (1992): Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt a. M.

- Böhle, F.; Milkau, B. (1988): Vom Handrad zum Bildschirm – Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt a. M.
- Dekker, S.; Woods, D. D. (2002): MABA-MABA or abracadabra? Progress on human-automation co-ordination. In: *Cognition, Technology & Work*, Jg. 4, H. 4, 240-244.
- Dombrowski, U.; Riechel, C.; Evers, M. (2014): Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: Kersten, W.; Koller, H.; Lödding, H. (Hg.): *Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*. Berlin, 129-153.
- Endsley, M. R. (1999): Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. In: *Ergonomics*, Jg. 42, H. 3, 462-492.
- Frey, C. B.; Osborne, M. A. (2013): *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?* Oxford. Internet: <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/view/1314> [zuletzt aufgesucht am 05.11.2015].
- Fink, R. D.; Weyer, J. (2014): Interaction of Human Actors and non Human Agents. A Sociological Simulation Model of Hybrid Systems. In: *Science, Technology & Innovation Studies*, Jg. 10, H. 1, 47-64.
- Gigerenzer, G. (2007): *Bauchentscheidungen. Die Intelligenz des Unterbewussten und die Macht der Intuition*. München.
- Grote, G. (2015): Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden, 131-146.
- Grote, G.; Ryser, C.; Wäfler, T.; Windischer, A.; Weik, S. (2000): KOMPASS: a method for complementary function allocation in automated work systems. In: *International Journal of Human-Computer Studies*, Jg. 52, H. 2, 267-287.
- Heraeus Kulzer (2015): Digitalisierung stärkt Position und Mitarbeiterbasis. Internet: http://heraeus-kulzer.de/de/de/zahnlabor/heralab_news/digitalisierung_staerkt_position_und_mitarbeiterbasis_1.aspx [zuletzt aufgesucht am 22.11.2015].
- Hiner, J. (2011): Humanizing technology: The 100-year legacy of Steve Jobs. Internet: <http://www.zdnet.com/article/humanizing-technology-the-100-year-legacy-of-steve-jobs/> [zuletzt aufgesucht am 05.11.2015].
- Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.) (2015): *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden.
- Huchler, N. (2016): Die Grenzen der Digitalisierung. Neubestimmung der hybriden Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik und Implikationen für eine humane Technikgestaltung. In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Jg. 53, H. 1, 109-123.
- Huchler, N.; Voß, G. G.; Wehrich, M. (2007): *Soziale Mechanismen im Betrieb. Empirische und theoretische Analysen zur Entgrenzung und Subjektivierung von Arbeit*. München/Mering.

- Latour, B. (1987): *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Milton Keynes.
- Lee, E. A. (2008): *Cyber Physical Systems: Design Challenges*. University of California at Berkeley, Technical Report No. UCB/EECS-2008-8.
- Lüdtke, A. (2015): Weg aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung. In: Botthof, A.; Hartmann, E. A. (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin/Heidelberg, 125-146.
- MacDorman, K. F. (2005): *Androids as an Experimental Apparatus: Why Is There an Uncanny Valley and Can We Exploit It?* Internet: <http://www.androidscience.com/proceedings2005/MacDormanCogSci2005AS.pdf> [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Moldaschl, M. (2010): Widersprüchliche Arbeitsanforderungen. Ein nichtlinearer Ansatz zur Analyse von Belastung und Bewältigung in der Arbeit. In: Faller, G. (Hg.): *Lehrbuch der Betrieblichen Gesundheitsförderung*. Bern/Zürich, 82-94.
- Moldaschl, M.; Voß, G. G. (Hg.) (2002): *Subjektivierung von Arbeit*. München.
- Moldaschl, M.; Sauer, D. (2000): Internalisierung des Marktes – Zur neuen Dialektik von Kooperation und Herrschaft. In: Minssen, H. (Hg.): *Begrenzte Entgrenzungen. Wandlungen von Organisation und Arbeit*. Berlin, 205-224.
- Neuweg, G. H. (2015): *Das Schweigen der Könner. Gesammelte Schriften zu implizitem Wissen*. Münster/New York.
- Ortiz, C. (2014): *Humanizing technology through Cognitive Computing and Artificial Intelligence*. Internet: <http://whatsnext.nuance.com/in-the-labs/cognitive-computing-and-artificial-intelligence/> [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Pfeiffer, S.; Suphan, A. (2015): Industrie 4.0 und Erfahrung – das Gestaltungspotenzial der Beschäftigten anerkennen und nutzen. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden, 205-230.
- Pfeiffer, S. (2006): Dialektik der Nebenfolgen. Eine Annäherung am Beispiel von Informatisierungsprozessen. In: Böschen, S.; Kratzer, N.; May, S. (Hg.): *Nebenfolgen*. Weilerswist, 65-87.
- Pfeiffer, S. (2007): *Montage und Erfahrung. Warum Ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen*. München/Mering.
- Polanyi, M. (1985): *Implizites Wissen*. Frankfurt a. M.
- Porschen, S. (2010): *Andere Form – anderer Rahmen. Körper- und gegenstandsvermittelte Abstimmung in Arbeitsorganisationen*. In: Böhle, F.; Wehrich, M. (Hg.): *Die Körperlichkeit sozialen Handelns*. Bielefeld, 207-227.
- Promotorengruppe (2012): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*. Internet: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/druck_einzelseiten_290912_Bericht.pdf [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Rammert, W. (2009): *Hybride Handlungsträgerschaft: Ein soziotechnisches Modell verteilten Handelns*. In: Herzog, O.; Schildhauer, T. (Hg.): *Intelligente Objekte*. Berlin, 23-33.
- Rammert, W.; Schulz-Schaeffer, I. (2002): *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik*. Frankfurt a. M.

- Rasmussen, J. (1983): Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Jg. 13, H. 3, 257-266.
- Rüßmann, M.; Lorenz, M.; Gerbert, P.; Waldner, M.; Justus, J.; Engel, P.; Harnisch, M. (2015): Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Internet: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/?chapter=3#chapter3 [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Steinberger, V. (2013): Arbeit in der Industrie 4.0. Jetzt die Weichen richtig stellen. In: IT + Mitbestimmung, H. 6, 2013, 4-11.
- Suchman, L. A. (2007): Plans and Situated Actions. The Problem of Human-machine Communication. Cambridge u. a.
- Süddeutsche Zeitung (2016a): Studie: Fünf Millionen Jobs verschwinden durch «Industrie 4.0». Internet: <http://www.sueddeutsche.de/news/wirtschaft/weltwirtschaftstudie-fuenf-millionen-jobs-verschwinden-durch-industrie-40-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-160118-99-24549> [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Süddeutsche Zeitung (2016b): "Auch künftig wird es keine Fabriken ohne Menschen geben". Internet: <http://www.sueddeutsche.de/karriere/zukunft-der-arbeit-roboter-uebernehmen-sie-1.2807971-2> [zuletzt aufgesucht am 01.02.2016].
- Voß, G. G.; Rieder, K. (2006): Der arbeitende Kunde. Wenn Konsumenten zu unbezahlten Mitarbeitern werden. Frankfurt a. M./New York.
- Welt (2015): Bei Hitachi ist jetzt der Kollege Computer Chef. Internet: <http://www.welt.de/wirtschaft/article146223548/Bei-Hitachi-ist-jetzt-der-Kollege-Computer-Chef.html> [zuletzt aufgesucht am 11.12.2015].
- Windelband, L.; Spöttl, G. (2012): Diffusion von Technologien in die Facharbeit und deren Konsequenzen für die Qualifizierung am Beispiel des „Internets der Dinge“. In: Faßhauer, U.; Fürstenau, B.; Wuttke, E. (Hg.): Berufs- und wirtschaftspädagogische Analysen – aktuelle Forschungen zur beruflichen Bildung. Farmington Hills, 205-219.
- Wolter M. I.; Mönning, A.; Hummel, M.; Schneemann, C.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.; Maier, T.; Neuber-Pohl, C. (2015): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 8/2015.