

Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution

Uwe Dombrowski, Christoph Riechel, Maren Evers

1 Die Rolle des Menschen in der industriellen Entwicklung

Der Industriestandort Deutschland zählt zu den wettbewerbsfähigsten Standorten weltweit. Die Gründe hierfür liegen in der Fähigkeit komplexe industrielle Abläufe weltweit zu planen, umzusetzen und zu betreiben. Unterstützt wird diese Fähigkeit durch die kontinuierliche und erfolgreiche Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 17) Die Ursprünge der bisherigen Erfolgsgeschichte des Standortes Deutschland liegen in der Industrialisierung und den damit einhergehenden industriellen Revolutionen. In der Literatur werden unterschiedliche Verständnisse für industrielle Revolutionen geschaffen. Zum einen können industrielle Revolutionen eine auf wenige Jahrzehnte begrenzte Periode von beschleunigtem Wirtschaftswachstum sein. Zum anderen werden technische Innovationen und der Durchbruch des Fabriksystems als industrielle Revolutionen definiert und bilden die Grundlage für die folgenden Ausführungen. (Hahn, 2011, S. 51) Die technischen Innovationen haben Auswirkungen auf alle Ebenen und Funktionsbereiche eines Arbeitssystems. (Wiendahl, Reichardt, & Nyhuis, 2009, S. 8) Neben den technischen und organisatorischen Auswirkungen wird auch der Mensch im Arbeitssystem beeinflusst. Als Reaktion auf diese Veränderungen wurden seit der Entstehung des Forschungsfeldes Arbeitswissenschaft eine Vielzahl von Modellen, Methoden und Werkzeugen entwickelt, um den technologischen Veränderungen zu begegnen. (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010) Es stellt sich im Rahmen der 4. Industriellen Revolution die Frage, welche Veränderungen des Arbeitssystems entstehen und, wie sich diese auf die Arbeitsperson auswirken. Um dies zu prüfen, werden mit einem Blick in die Vergangenheit zunächst wesentliche Trends und Veränderungen

der vergangenen Revolutionen identifiziert. Der Blick in die Vergangenheit endet mit einem Ausblick auf die Rolle des Menschen im Arbeitssystem 4.0 und verdeutlicht, welche Chancen sowie Risiken damit verbunden sind.

Beginnend mit der *1. Industriellen Revolution* wurde das Zeitalter der Industrialisierung eingeleitet. Durch Mechanisierung, die Nutzung der Wirkkraft und die Optimierung des Wirkungsgrads der Dampfmaschine durch James Watt im Jahr 1769 begann die Planung und Umsetzung von Fabriken unabhängig von Naturenergieformen. (Ziegler, 2005), (Dombrowski, Schmidtchen, & Hoesslin, 2012), (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 17)

Die *2. Industrielle Revolution* zu Beginn des 20. Jahrhunderts zeichnet sich durch die Inbetriebnahme der ersten Fließbänder aus. Den Grundstein zu dieser Entwicklung legte Thomas Alva Edison mit der Entwicklung des Dynamos als Stromgenerator. Diese Elektrifizierung ermöglichte erstmals die flexible Verortung von Anlagen in der Fabrik. (Ziegler, 2005), (Dombrowski, Schmidtchen, & Hoesslin, 2012), (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 17)

Die *3. Industrielle Revolution* basiert auf der Weiterentwicklung der Elektronik und Informationstechnologie sowie dessen stetiger Leistungssteigerung. Basierend auf dieser Technologie wurde es erstmals möglich, komplexe Automatisierungslösungen und die weltweite Vernetzung von Kooperations- in Produktionsnetzwerken zu koordinieren. (Ziegler, 2005), (Dombrowski, Schmidtchen, & Hoesslin, 2012), (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 17)

Neben den allgemeinen industriellen Revolutionen kann eine weitere Zeitlinie der Revolutionen in der Automobilindustrie differenziert werden.

Als *1. Industrielle Revolution in der Automobilindustrie* gilt die Einführung der Fließfertigung sowie des Taylorismus. Durch Standardisierung, Anordnung der Arbeiter und Werkzeuge in der Verbaureihenfolge sowie die Einführung von Transport- und Montagebändern gelang Ford die

Großserienproduktion bei deutlicher Zeit- und Kostenersparnis. (Womack, Jones, & Roos, 1991, S. 30ff)

Die Entwicklung des Toyota Produktionssystems (TPS) wird als die 2. *Revolution in der Automobilindustrie* bezeichnet. Mittels der Einführung des TPS gelang es, trotz standardisierter Prozesse eine hohe Variantenvielfalt und geringe Bestände zu erzielen. (Womack, Jones, & Roos, 1991, S. 83) Das TPS war Vorbild für die Lean Production. Als Weiterentwicklung der Lean Production gelten in Deutschland Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS). (Ohno, 1988), (VDI 2870-1, 2012, S. 2) GPS haben ihren Ursprung in den 1990er Jahren und enthalten neben Methoden, die direkt den Ideen der Lean Production entstammen, auch Elemente, die dem Taylorismus oder Konzepten innovativer Arbeitsformen zuzuordnen sind (VDI 2870-1, 2012, S. 2). Ein Ganzheitliches Produktionssystem stellt in diesem Zusammenhang ein Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Produktion dar. (VDI 2870-1, 2012, S. 5)

Als mögliche 3. *Revolution in der Automobilindustrie* werden unterschiedliche Themen diskutiert. Zum einen wird die Digitale Fabrik als eine mögliche 3. Revolution vorgestellt. (Haller & Schiller, 2002) Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Regelwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen. (Bracht, Geckler, & Wenzel, 2011, S. 9ff), (Dombrowski, Tiedemann, & Bothe, 2001, S. 97) Zum anderen bezeichnet Hüttenrauch et. al. den Umgang mit einer hohen Variantenvielfalt über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg als dritte automobiler Revolution. (Hüttenrauch & Baum, 2008, S. 19)

Den GPS steht der technologiegetriebene Ansatz des Computer Integrated Manufacturing (CIM) gegenüber. Dieser Ansatz entspringt aus der dritten industriellen Revolution und entstand aus der Idee, Softwarelösungen in der Produktion in Netzwerken zu bündeln. Es wurde das Ziel verfolgt, einen durchgängigen Informationsfluss in der Produktion sicherzustellen. Die praktische Umsetzung dieser Idee war in der Praxis mit umfangreichen Problemen behaftet. Dies begründet sich insbesondere durch das Bestreben vieler Ingenieure eine menschenleere Fabrik zu schaffen. Die Umsetzung

technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen ist, kommt im Rahmen der 4. Industriellen Revolution eine umfassende Bedeutung zu. (Dombrowski & Wagner, 2014, S. 354) Es stellt sich jedoch die Frage, welche Veränderungen sich für Arbeitssystem und Arbeitsperson im Rahmen der Industrie 4.0 ergeben. Um diese Frage zu beantworten, ist es notwendig, die Veränderungen des Arbeitssystems durch die Umsetzung von Industrie 4.0 zu identifizieren.

2 Herausforderungen der 4. Industriellen Revolution

Um die Veränderungen des Arbeitssystems durch die Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 zu identifizieren, ist es notwendig, die Herausforderungen und Anforderungen, welche sich aus der Einführung ergeben, zu verdeutlichen. Der Ursprung der ersten prognostizierten industriellen Revolution findet sich in dem durch die Bundesregierung initiierten Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Dieses soll im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 die Informatisierung klassischer Industriezweige wie der Produktion beschleunigen und weiterentwickeln. Als primäre Zielsetzung beinhaltet das Projekt die Realisierung einer intelligenten und selbstorganisierenden Fabrik, welche mit dem Begriff Smart Factory beschrieben wird. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 81) Innerhalb dieser intelligenten Fabrik soll die zukünftige industrielle Produktion vor allem durch eine hohe Flexibilität und Wandlungsfähigkeit, den effizienten Einsatz von Ressourcen, ergonomisch optimierte Arbeitsbedingungen sowie die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in die Wertschöpfungsprozesse gekennzeichnet werden. Die wesentliche Basistechnologie für derartige Entwicklungen stellt eine umfassende Implementierung sogenannter Cyberphysischer Systeme (CPS) dar. (Geisberger & Broy, 2012, S. 128)

Diese stellen eine Verbindung von virtuellen und physischen Produktionselementen dar, um intelligente und selbstkonfigurierende Fertigungsanlagen sowie die zugehörigen Planungs- und Steuerungssysteme zu entwickeln (Bauer, 2013, S. 29-31). Im Mittelpunkt dieses Ansatzes der

Smart Factory steht der Mensch, welcher als sogenannter Augmented Operator die Produktion überwachen soll. Innerhalb des Fertigungsnetzwerks aus virtuellen und physischen Produktionsressourcen soll der Mensch eine wichtige Rolle als Erfahrungsträger und Entscheider bei allen relevanten Abläufen haben. (Hessmann, 2013, S. 14-19). Das Fertigungsnetzwerk ist absolut transparent und in der Lage auf Abweichungen flexibel zu reagieren. Doch müssen aus heutiger Sicht neue Anforderungen, wie zum Beispiel die Qualifizierung der Mitarbeiter, erfüllt werden, um dieses Konzept tatsächlich großflächig realisieren zu können. (Bauer, 2013, S. 29-31) Der Zusammenhang zwischen Industrie 4.0, Smart Factory sowie Cyberphysischen Systemen wird in Abbildung 2 verdeutlicht. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 23)

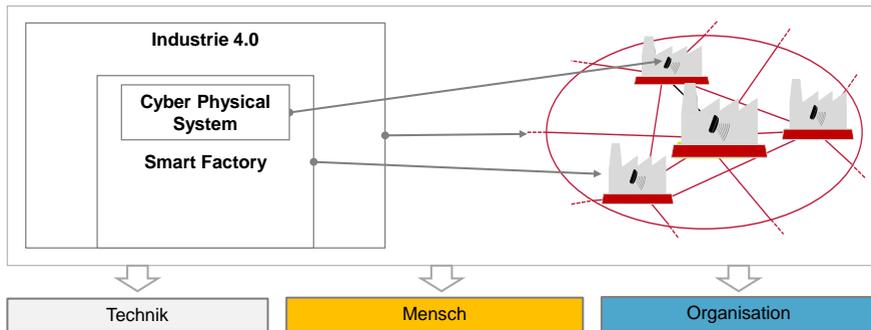


Abbildung 2: Die Smart Factory in der vierten industriellen Revolution
Veränderungen für das Arbeitssystem in der Smart Factory (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 23), (Bauer, 2013, S. 29-31)

Die in der Vision einer Industrie 4.0 beschriebenen selbstorganisierenden, intelligenten Produktionssysteme in der Smart Factory werden auf dem Weg ihrer Realisation tiefgreifende Veränderungen mit sich bringen. Ein derartiger, durch Technik ausgelöster Wandel vollzieht sich dabei jedoch nicht als genau festzulegender Einschnitt oder Bruch, aus dem in kürzester Zeit eine neue Phase der Stabilität resultiert. Ebenso wenig werden die bestehenden Technologien durch einen radikalen Austausch ersetzt oder es ergibt sich ein kompletter Zusammenbruch der vorhandenen Strukturen.

Entsprechend der bisher zu beobachtenden, soziotechnischen Veränderungen werden sich schrittweise Transformationen vollziehen bis die Industrie 4.0 vollständig Einzug im gesamten Unternehmen gefunden hat. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 6)

Technische Veränderungen

Die technischen Elemente des Arbeitssystems einer Fabrik werden durch den Einsatz und die Implementierung Cyberphysischer Systeme einem starken Wandel unterworfen und in ihrer Funktionalität den neuen Rahmenbedingungen angepasst. Eine wichtige Veränderung stellt dabei die zukünftig unabdingbare Interoperabilität auf allen Ebenen von CPS dar, welche notwendig ist, um Applikationen miteinander zu vernetzen. Ein weiterer Aspekt, der vor allem Neuerungen für computerbasierte Prozesse mit sich bringen wird, ist die Portierbarkeit von Anwendungen über alle Ebenen eines CPS hinweg. Diese wird den Zugriff auf Anwendungen aus der Cloud bis hin zum Endgerät ermöglichen. (Geisberger & Broy, 2012, S. 54) Eine zusätzliche, tiefgreifende Veränderung ergibt sich durch die Virtualität der Cyberphysischen Systeme. Durch diese werden die Funktionen der Systeme zu großen Teilen unabhängig von physischen Materialien, geografisch festgelegten Orten oder spezifischen Maschinen. (Geisberger & Broy, 2012, S. 145) Die zukünftigen Produktionssysteme auf Basis der CPS-Technologie werden somit zu kooperierenden und global vernetzten Systemen, welche in räumlich sowie sozial zum Teil stark verteilten Kontexten handeln und dabei permanent in der Lage sind zu kommunizieren. Diese Charakterisierung hebt die schwerwiegendste Veränderung deutlich hervor, welche sich durch die Dezentralität der Systeme ergibt. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 96) Ein Konzept, diesen vielseitigen Veränderungsprozess zu unterstützen, stellt das sogenannte Cloud Computing dar. Um die Verschmelzung der physischen und digitalen Welt in der Produktion zu realisieren, müssen die daraus resultierenden enormen Datenmengen effizienter als heute gehandhabt werden. Aus diesem Grund wird das Cloud Computing als eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Bewältigung des bevorstehenden

Wandels der industriellen Produktion betrachtet. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 17), (Geisberger & Broy, 2012, S. 221)

Organisatorische Veränderungen

Die im vorstehenden Abschnitt angesprochenen neuen Technologien stellen den Ausgangspunkt für einen weiteren Bereich der Veränderung im Arbeitssystem der Fabrik dar. Begründet wird dieser durch eine umfassend zu realisierende Einbindung der neuen Fertigungstechniken in die bestehenden Organisationsformen und Strukturen. Daraus ergeben sich umfangreiche Restrukturierungsmaßnahmen, welche nicht nur Funktionen der Fertigung, des Vertriebs oder der Forschung und Entwicklung betreffen, sondern vor allem die aufbau- und ablauforganisatorischen Maßnahmen der Fabrikorganisation in den Fokus rücken. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 23) Durch die im Konzept der Industrie 4.0 angestrebte Stufe der Prozessautomatisierung mit einer hochflexiblen Vernetzung der digitalen Datenwelt mit physischen Fertigungsprozessen ergeben sich grundlegend veränderte Formen der Prozesssteuerung und Organisation von Fabrikabläufen (Spath, Ganscher, Gerlach, Hämmerle, Krause, & Schlund, 2013, S. 80). So wird die starre Zuordnung von Fertigungsanlagen zu Produkten aufgelöst und durch flexible und konfigurierbare Produktionsanlagen ersetzt. Die zukünftig entstehenden Fabriken werden folglich nicht mehr für spezifische Produkttypen ausgelegt, sondern Fertigungssysteme einsetzen, die in sehr kurzer Zeit auf die Produktion beliebiger Produkte umgestellt werden können. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 19), (Spath, Ganscher, Gerlach, Hämmerle, Krause, & Schlund, 2013, S. 41)

Menschorientierte Veränderungen

Der technologische und organisatorische Wandel hat zur Folge, dass sich auch der Mensch als Teil des Arbeitssystems zukünftig in einer veränderten Position wiederfinden wird. Bereits heute steht fest, dass die industrielle Produktionsarbeit in einer vollkommen vernetzten und digital erfassten Smart Factory in vielerlei Hinsicht anders sein wird. Es werden sich neue

Berufe herausbilden und vor allem das Verständnis von Informationstechnologien wird sich ändern (Spath, Ganscher, Gerlach, Hämmerle, Krause, & Schlund, 2013, S. 126). Die Grundlage dieser Veränderungen stellt die durch CPS ermöglichte, ortsunabhängige Verfügbarkeit von Anwendungen und Diensten dar. Eine Interaktion mit diesen Diensten oder technischen Objekten ist nicht mehr auf ein bestimmtes Gerät festgelegt. Dadurch wird eine Wahrnehmung geprägt, die über einzelne Schnittstellen hinaus geht und einen allgegenwärtigen Charakter der Systeme hervorhebt. So können Beschäftigte mit einer Vielzahl von Geräten, welche in die Umgebung integriert sind, auf das System zugreifen und den Eindruck gewinnen, mit einem einzigen umfassenden cyberphysischen Netzwerk zu interagieren. Dieser Eindruck wird durch eine permanente Versorgung mit Informationen weiter verstärkt und führt schließlich dazu, dass die Grenzen zwischen Mensch und Technik nicht mehr eindeutig zu bestimmen sind. Die zukünftige Produktionsarbeit wird demzufolge durch eine beliebige Nutzung weltweit verteilter Daten und Dienste auf Basis der globalen Cyberphysischen Systeme gekennzeichnet sein. (Geisberger & Broy, 2012, S. 133)

Aufgrund dieser neuen technologischen Möglichkeiten stellt sich die Frage, in wie weit eine mögliche Automatisierung in Zukunft auch genutzt und umgesetzt werden wird und welche Rolle der Mensch dabei spielt. Schlund et al. haben sich mit dieser Fragestellung auseinandergesetzt und drei mögliche Szenarien zukünftiger Produktionsarbeit erarbeitet. (Schlund & Gerlach, 2013, S. 22-26) Mit zunehmendem Automatisierungsgrad wird zunächst das sogenannte Werkzeug-Szenario formuliert. In diesem wirkt der Einsatz Cyberphysischer Systeme als eine Art Werkzeug und unterstützt die weiterhin dominante Position der Facharbeiter. Dabei ist denkbar, dass sich das Tätigkeitsprofil dieser Beschäftigten hin zu informatischen und organisatorischen Inhalten verschiebt und simple physische Aufgaben automatisiert erledigt werden. Eine zweite denkbare Ausgestaltungsform der Arbeit wird durch das Hybrid-Szenario beschrieben. Dabei findet eine Kooperation zwischen den vernetzten Technologien und den Beschäftigten

statt, um Kontroll- und Steuerungsaufgaben interaktiv zu lösen. Das benötigte Qualifikationsniveau der einzelnen Mitarbeiter kann entsprechend der gewählten Art der Arbeitsteilung stark variieren (Schlund & Gerlach, 2013, S. 22-26). Schließlich wird mit dem „Automatisierungsszenario“ das Zukunftsbild mit dem höchsten Grad an automatisierter Produktionsarbeit skizziert. Charakteristisches Merkmal ist hierbei eine alleinige Steuerungsfunktion durch die CPS. Die Mehrheit der Beschäftigten ist in diesem Szenario nur noch für ausführende Tätigkeiten zuständig. Allerdings sind auch wenige, hochqualifizierte Spezialisten erforderlich, die für die Installation und Wartung der cyberphysisch gesteuerten Produktion verantwortlich sind. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 24), (Dombrowski & Wagner, 2014, S. 351-354), (Spath, Ganscher, Gerlach, Hämmerle, Krause, & Schlund, 2013, S. 100)

Aus heutiger Sicht sprechen einige Gründe dafür, dass sich zukünftig eine Form des „Werkzeugszenarios“ durchsetzen wird. Zu diesen Gründen zählt die weiterhin unverzichtbare Rolle des Menschen in einer intelligenten Fabrikumgebung (Schlund & Gerlach, 2013, S. 22-26). Auch wenn menschliche Arbeitskräfte in Zukunft weniger relevant für eine physische Ausführung der Arbeitsaufgaben sein werden, ist ihre Funktion als intelligenter Entscheider in ungeplanten und nicht vorhersagbaren Situationen weiterhin von großer Bedeutung. Darüber hinaus kann der Mensch als eine Art Problemlöser eingesetzt werden und somit ein System intelligenter, technischer Objekte als elementaren Baustein vervollständigen. (Schlund & Gerlach, 2013, S. 22-26)

Als Konsequenz aus dieser großen Bedeutung menschlicher Arbeitskraft wurden einige Konzepte erarbeitet, welche die besonderen Eigenschaften der Mitarbeiter berücksichtigen und in den Mittelpunkt der Gestaltung zukünftiger Produktionssysteme stellen. Einer dieser Ansätze trägt den Titel der Socio-Cyber-Physical Systems (SCPS) und befasst sich mit dem kontextabhängigen Verhalten der Beschäftigten. Im Fokus stehen dabei Verhaltenseinflüsse, die sowohl aus dem individuellen als auch dem organisationalen oder kontextbasierten Hintergrund eines Beteiligten

resultieren können. SCPS berücksichtigen diese Aspekte menschlichen Verhaltens und ermöglichen so eine erhöhte Effizienz der globalen Produktionsnetzwerke. (Morosini Frazon, Hartmann, Makuschewitz, & Scholz-Reiter, 2013, S. 49-54)

Ein weiterer Ansatz, der die Bedeutung menschlicher Faktoren unterstreicht, sind die sogenannten Cyber-Physical-Social Systems (CPSS). Zentrales Merkmal dieser humanzentrierten Erweiterung von CPS ist die Rolle der menschlichen Beteiligten als ein Element des Systems. Dabei beinhalten CPSS nicht nur eine Vernetzung des digitalen und physischen Raums, sondern integrieren auch menschliches Wissen, kognitive Fähigkeiten und die entsprechenden soziokulturellen Verflechtungen. Auf diese Weise findet eine Verschmelzung digitaler, physischer und mentaler Elemente statt, die Cyber-Physical-Social-Systems dazu befähigen, Arbeitsaufgaben parallel auszuführen, sich selbst zu synchronisieren und zusätzlich physische, informationstechnische, soziale und kognitive Domänen zu beeinflussen. (Morosini Frazon, Hartmann, Makuschewitz, & Scholz-Reiter, 2013, S. 49-54)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Produktionsarbeit der Zukunft andere Formen der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine mit sich bringen wird. Durch den Einsatz neuer Informationstechnologien und der Implementierung vernetzter Cyberphysischer Systeme kann die Komplexität der Fertigungsdaten auf die wesentlichen und entscheidenden Informationen für die menschlichen Beschäftigten reduziert werden. Im Idealfall werden die Menschen in ihren Aufgaben unterstützt und die Automatisierung gestaltet die Produktion im Miteinander von Mensch und Maschine effizienter. Sicher ist jedoch heute schon, dass der Weg in Richtung einer vollkommenen, sozialen und technologischen Vernetzung bereits eingeschlagen und auch nicht mehr rückgängig zu machen ist (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 6), (Morosini Frazon, Hartmann, Makuschewitz, & Scholz-Reiter, 2013, S. 49-54). Einen Überblick über die wichtigsten Veränderungen menschlicher Produktionsarbeit im

Arbeitssystem durch die Umsetzung von Industrie 4.0 ist in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 3: Veränderungen des Arbeitssystems durch Industrie 4.0 (Morosini Frazon, Hartmann, Makuschewitz, & Scholz-Reiter, 2013, S. 49-54), (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 36), (Spath, Ganscher, Gerlach, Hämmerle, Krause, & Schlund, 2013, S. 50-129)

Die vorgestellten Einflussgrößen der Industrie 4.0 in den Dimensionen Technik, Mensch und Organisation beeinflussen in direkter Art und Weise das Arbeitssystem. In der Literatur sind verschiedene Definitionen für ein Arbeitssystem vertreten. (DIN EN ISO 6385:2004-05, 2004, S. 4), (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 36), (REFA, 1993, S. 24) Das Arbeitssystem nach Schlick et. al. umfasst alle, für die weiteren Untersuchungen notwendigen, Elemente und gliedert diese auf den für die Untersuchung notwendigen Detaillierungsgrad auf. Das Arbeitssystem umfasst nach Schlick die Elemente Arbeitsperson, Arbeitsauftrag, Arbeitsaufgabe, Eingabe, Ausgabe, Arbeitsmittel, Arbeitsobjekte sowie Umwelteinflüsse. Durch dieses Ordnungsschema besteht zum einen die Möglichkeit Arbeitsplätze systematisch zu beschreiben. Zum anderen können auf Basis dieser Untergliederung des Arbeitssystems die Einflussgrößen der Industrie 4.0

weiter differenziert werden. (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 36) Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Elemente Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel, Arbeitsgegenstand sowie Arbeitsauftrag, da diese Elemente einen direkten Einfluss auf die Arbeitsperson darstellen. In dieser Form besteht die Möglichkeit, die Einflussgrößen und Veränderungen strukturiert aufzuarbeiten und Anforderungen an die Rolle des Menschen in der 4. Industriellen Revolution abzuleiten.

3 Anforderungen an den Menschen in der 4. Industriellen Revolution

Nachdem die prognostizierten Veränderungen des Arbeitssystems durch Industrie 4.0 analysiert worden sind (siehe Abbildung 3), stellt sich nun die Frage, wie sich diese Veränderungen auf die Arbeitsperson auswirken. Die in Abbildung 3 ermittelten Tendenzen lassen die These zu, dass im Arbeitssystem 4.0 vor allem die psychischen Beanspruchungen der Mitarbeiter steigen und ein höheres Maß an beruflicher Handlungskompetenz vonnöten sein wird. Um diese These zu untermauern, werden zwei Konzepte angewendet. Zum einen kommt das Belastungs- und Beanspruchungskonzept zum Einsatz. Die ermittelten Veränderungen des Arbeitssystems können unterschiedlichen Beanspruchungsarten zugeordnet werden. Dadurch ist eine Aussage über sich zukünftig durch Industrie 4.0 ändernde Beanspruchungsarten möglich.

Zum anderen wird das Feld der Kompetenzen betrachtet. Wie bereits dargestellt, ändert sich für die Beschäftigten die Art der Arbeit. Es werden neue Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter gestellt. Um die Mitarbeiter entsprechend weiterbilden zu können, ist es entscheidend zu wissen, welche Art der Kompetenz benötigt wird. (Dombrowski & Wagner, 2014, S. 352) Auf diese Weise kann einer übermäßigen Beanspruchung der Mitarbeiter entgegengewirkt werden.

Abbildung 4 stellt den Zusammenhang zwischen Belastung, Beanspruchung und individuellen Leistungsvoraussetzungen, wie Kompetenzen, exemplarisch dar. Die Beanspruchung der Mitarbeiter steht in Zusammenhang mit der vorhandenen beruflichen Kompetenz, die Teil der

individuellen Leistungsvoraussetzungen ist. Kapitel 3.1 geht daher auf die Beanspruchung der Mitarbeiter durch Industrie 4.0 ein, Kapitel 3.2 analysiert die gewandelten Anforderungen an die Mitarbeiterkompetenzen. In Kapitel 4 werden Chancen und Risiken für die Rolle des Menschen im Arbeitssystem 4.0 beschrieben und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

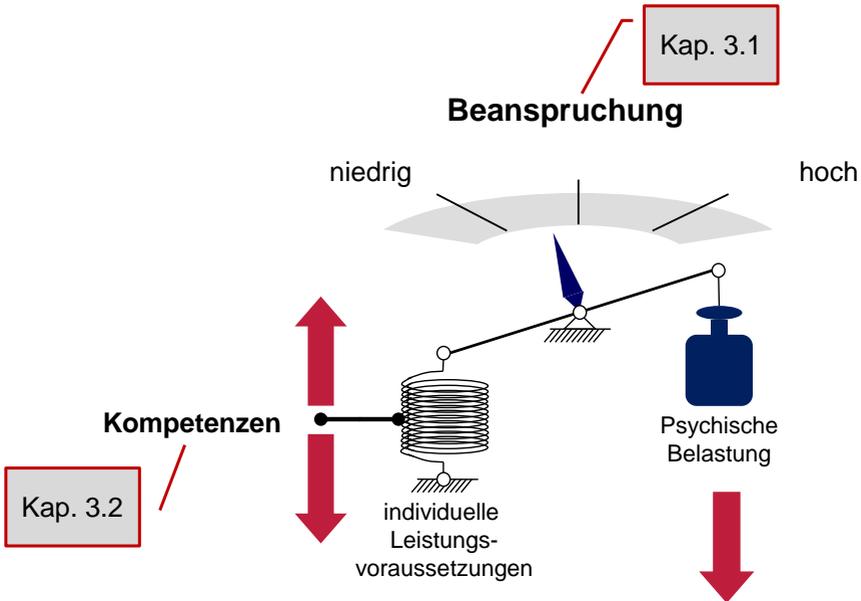


Abbildung 4: Beanspruchung der Arbeitsperson im Rahmen von Industrie 4.0 (Laurig, 1990, S. 37)

3.1 Beanspruchung der Mitarbeiter durch Industrie 4.0

Während des Arbeitsprozesses nehmen verschiedene Belastungen auf den Mitarbeiter Einfluss. Bei Belastungen handelt es sich um äußere Bedingungen und Anforderungen durch das Arbeitssystem, die auf den körperlichen und/oder geistigen Zustand der Arbeitsperson einwirken. (DIN EN ISO 6385:2004-05, 2004, S. 6) Die Beanspruchung bezieht sich auf die innere Reaktion des Arbeitenden auf die Belastung, die von den persönlichen Leistungsvoraussetzungen der Arbeitsperson abhängig ist (DIN

EN ISO 6385:2004-05, 2004, S. 5). Es gibt unterschiedliche Beanspruchungsarten: die rein physische Beanspruchung von z.B. Herz, Kreislauf, Muskeln, Bändern und Knochen. Weiterhin ist eine Beanspruchung von Sinnesorganen und Nerven möglich, falls Wahrnehmung, Reaktion oder Geschicklichkeit von den Beschäftigten gefordert werden. Bei der Abforderung von Sensibilität und Engagement kann es zu einer emotionalen Beanspruchung kommen. Werden Ratio und Kreativität verlangt, ist eine mentale Beanspruchung möglich. (Hardenacke, Peetz, & Wichardt, 1985, S. 72)

Abbildung 5 stellt die veränderte Beanspruchung der Arbeitsperson durch Industrie 4.0 exemplarisch dar. Die eckigen Klammern in der Abbildung ordnen die Veränderungen durch Industrie 4.0 der jeweiligen Komponente des Arbeitssystems zu. So gehört beispielsweise die Mensch-Maschine-Kooperation zu einer Veränderung der Arbeitsmittel im Arbeitssystem durch Industrie 4.0. Die Arbeitsaufgabe im Arbeitssystem wandelt sich etwa durch einen kurzzyklischen Wechsel der Tätigkeit oder die Taktunabhängigkeit. Da Beanspruchungen individuell stark variieren können, handelt es sich um allgemeine Tendenzen, die jedoch im Einzelfall anders ausfallen können.

Durch einen steigenden Grad an Automatisierung und der Kooperation zwischen Mensch und Maschine, ist zu erwarten, dass die körperliche Beanspruchung der Mitarbeiter zurückgeht. Die Veränderung der Arbeitsaufgabe durch Automatisierung und Veränderungen beim Arbeitsmittel, nämlich der Zunahme der Mensch-Maschine-Kooperation, führen somit zu einer Entlastung der Mitarbeiter. Jedoch kann es zu kurzzyklischen Wechseln der Arbeitstätigkeit sowie einer Produktion unabhängig vom Takt kommen, wodurch das Reaktionsvermögen und damit Sinne und Nerven stärker beansprucht werden. Eine steigende emotionale Beanspruchung ergibt sich aus der Zuteilung der Arbeit durch ein technisches System und nicht durch eine Führungskraft. Hier kann es zu Akzeptanzproblemen kommen. Auch der hochflexible Einsatz von Mitarbeitern kann zu einer steigenden emotionalen Beanspruchung führen, da sich die Mitarbeiter auf ständig wechselnde Arbeitsinhalte und

Arbeitsorte einstellen müssen, jedoch ein Bedürfnis nach Bindung, Orientierung und Kontrolle haben (Peters & Ghadiri, 2010, S. 72). Das emotionale System eines Menschen beeinflusst die menschliche Entscheidungsfindung. Das Entscheidungssystem ist wichtig, um strategisch zu denken und Konzepte entwickeln zu können, also Arbeit ausführen zu können (Elger, 2009, S. 148/151) Emotionen kommt somit im Arbeitssystem eine tragende Rolle zu. Weiterhin ändert sich der Arbeitsinhalt der Mitarbeiter. Es kommen problemlösende und überwachende Tätigkeiten hinzu, so dass ein höheres Maß an Kreativität nötig wird. Dies erhöht die mentale Beanspruchung. Der flexible Mitarbeiterinsatz, häufige Produktwechsel sowie eine flexible Auftragseinstellung verstärken ebenfalls die mentale Beanspruchung. Eine Entlastung der mentalen Beanspruchung kann durch den flächendeckenden Einsatz mobiler Kommunikationstechnik erreicht werden. Diese ermöglicht, die benötigten Informationen direkt und übersichtlich für den Mitarbeiter darzustellen.

Die steigende, psychische Beanspruchung wird somit vor allem durch Veränderungen der Arbeitsaufgabe durch Industrie 4.0, aber auch durch veränderte Arbeitsmittel und eine modifizierte Auftragseinstellung verursacht.

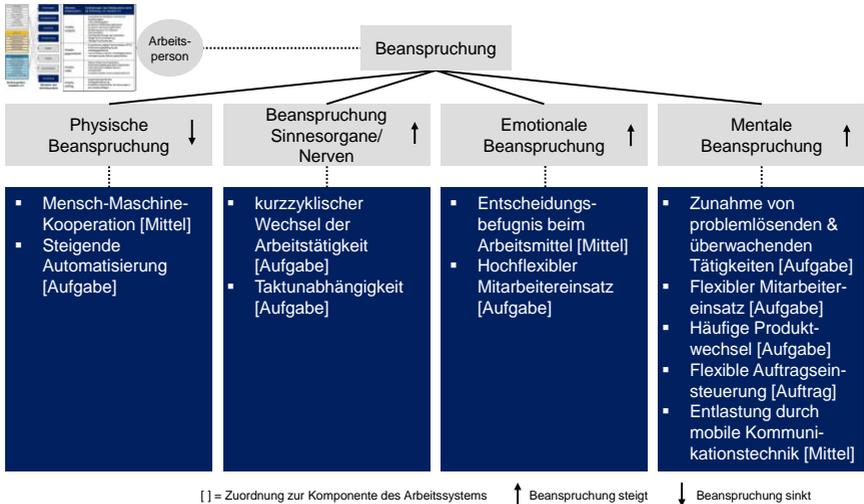


Abbildung 5: Veränderte Beanspruchung durch Industrie 4.0

3.2 Kompetenzanforderungen durch Industrie 4.0

Kompetenz stellt „die Fähigkeit zur erfolgreichen Bewältigung komplexer Anforderungen in spezifischen Situationen“ dar. Dies schließt sowohl die Anwendung von Wissen, kognitiven und praktischen Fähigkeiten sowie gleichwohl sozialer Verhaltenskomponenten, wie Haltungen, Gefühle oder Werte und Motivationen ein. (Gnahn, 2010, S. 21) Kompetenzen lassen sich in vier Arten unterteilen: Fachkompetenzen, Sozialkompetenzen, Methodenkompetenzen und Persönlichkeitskompetenzen (Gnahn, 2010, S. 26), (Raithel, Dollinger, & Hörmann, 2008, S. 40). Die Fachkompetenz bezeichnet die Fähigkeit zu Besitz, Gebrauch und Umsetzung von Fachwissen, um Aufgaben zu bewältigen, z.B. für die Gestaltung und Steuerung von Prozessen und Abläufen. Die Sozialkompetenz ist die Fähigkeit zu einem sozialverträglichen Handeln. Sie ist zum Beispiel für die Führung von und Interaktion mit Mitarbeitern notwendig. Die Methodenkompetenz bezeichnet die Fähigkeit, allgemeine Verfahrensweisen zur Problemlösung zu gebrauchen. (Raithel, Dollinger, & Hörmann, 2008, S. 40) Die Persönlichkeitskompetenz ist die Fähigkeit zur

Selbsterkenntnis und zu eigenverantwortlichem Handeln (Ott, 1998, S. 25). Sie ist für die Entwicklung von Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz verantwortlich (Raithel, Dollinger, & Hörmann, 2008, S. 40).

Um die Anforderungen an die Arbeitsperson in der Industrie 4.0 zu bestimmen, werden die wissenschaftlichen Prognosen zur Veränderung des Arbeitssystems den vier Arten der Kompetenz gegenübergestellt (siehe Abbildung 6). Durch die Zunahme der Problemlösungs- und Überwachungsaufgaben, die prognostizierten häufigen Produktwechsel sowie die flexible Auftragseinstellung kommen neue Arbeitsinhalte für die Beschäftigten hinzu. Die Anforderung an die Fachkompetenz steigt somit durch Veränderungen der Arbeitsaufgabe, aber auch der Auftragseinstellung. Die Sozialkompetenz wird durch die Kommunikation zwischen Mensch- und Arbeitsgegenstand sowie eine kurzzyklische, präzise Kommunikation in der Interaktion sowohl mit Mensch als auch mit CPS gefordert. Die Zunahme von Problemlösungs- und Überwachungsaufgaben stellt neue Herausforderungen an die Beschäftigten. Insbesondere Problemlösungstätigkeiten sind nicht standardisierbar, da Ursachen für Probleme in der Produktion vielfältig sein können. Wichtig ist es daher, dass die Beschäftigten über ein fundiertes Wissen zu Problemlösungsmethoden verfügen. Da die Persönlichkeitskompetenz einer Person für die Entwicklung der anderen Kompetenzarten essentiell ist, steigt auch diese Kompetenzart durch Industrie 4.0.

Die steigenden Anforderungen an Fach- und Methodenkompetenz gehen also auf Änderungen der Arbeitsaufgabe, aber auch der Auftragseinstellung zurück. Anforderungen an die Sozialkompetenz ergeben sich aus veränderten Arbeitsgegenständen. Dies begründet sich durch einen Paradigmenwechsel in der Mensch-Maschine-Interaktion, welche innovative Formen der Kollaboration nach sich zieht. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 27)

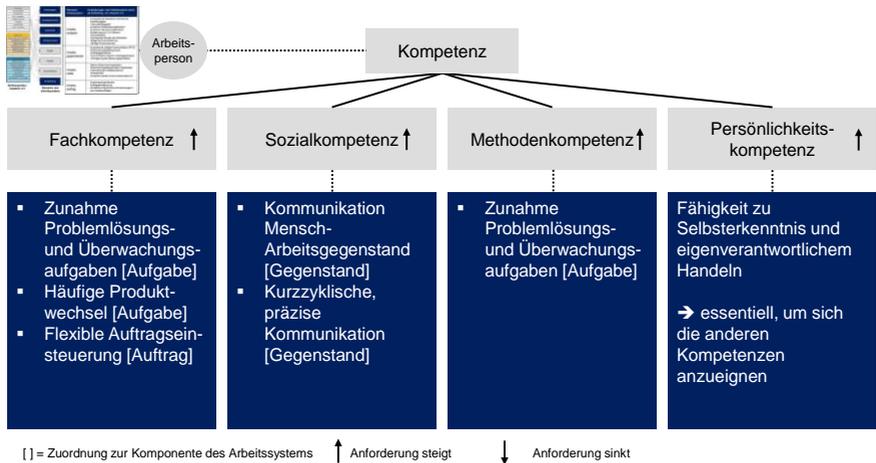


Abbildung 6: Veränderte Kompetenzanforderungen durch Industrie 4.0

4 Chancen und Risiken für die Rolle des Menschen im Arbeitssystem 4.0

Die Analyse der Beanspruchungsarten für die Arbeitsperson im Arbeitssystem Industrie 4.0 ergab eine tendenziell sinkende körperliche Beanspruchung, während die psychische Beanspruchung (Beanspruchung von Sinnen und Nerven sowie eine emotionale und mentale Beanspruchung) steigen wird. Dies könnte zu einem weiteren Anstieg der Arbeitsunfähigkeit aufgrund psychischer Erkrankungen führen. Die Anzahl von Arbeitsunfähigkeitstagen und Arbeitsunfähigkeitsfällen aufgrund psychischer Erkrankungen ist seit Jahren steigend (IGES Institut GmbH, 2014, S. 19). Auch fühlen sich über 50% der Arbeitnehmer in Deutschland durch psychische Probleme bei der Arbeit leistungsgemindert, was zu erheblichen Produktivitätsverlusten führt (Berger, Fürstenberg, & Brauck, 2011, S. 18). Vom Bundesverband der Unfallkassen genannte Maßnahmen, um psychischen Beanspruchungen bei der Arbeit entgegenzuwirken, sind in Teilen konträr zu den erwarteten Veränderungen durch Industrie 4.0. So dürfte es nach den derzeitigen Prognosen schwierig sein, Mitarbeitern genaue Informationen zum Arbeitsablauf und erwartbaren Veränderungen

zur Verfügung zu stellen, da sich das intelligente System in Echtzeit anpasst. Auch ein vorhersehbares und durchschaubares Gestalten des Arbeitsablaufes während einer Schicht ist aus diesem Grund schwer möglich. Chancen zur Prävention psychischer Belastungen durch Industrie 4.0 ergeben sich beim Vermeiden von Zeitdruck und der Ermöglichung von Kurzpausen. (Bundesverband der Unfallkassen, 2005, S. 27) Diese Aspekte können direkt vom planenden System berücksichtigt werden. Ein Konzept für ein solches System ist in (Dombrowski, Wagner, & Riechel, 2013) beschrieben. Das Cyberphysische System analysiert den Arbeitsfortschritt an den einzelnen Arbeitsplätzen und verteilt Arbeitsinhalte interaktiv anhand dieses Arbeitsfortschritts auf die entsprechenden Mitarbeiter. Hierbei wird die individuelle Leistung der Mitarbeiter berücksichtigt. (Dombrowski, Wagner, & Riechel, 2013, S. 344) Um eine Über- oder Unterforderung der Mitarbeiter und damit eine Gesundheitsgefährdung durch das System zu vermeiden, muss jedoch die Frage der optimalen menschlichen Leistung beantwortet werden (Dombrowski & Evers, 2014). Es besteht somit erheblicher Forschungsbedarf zur Prävention (psychischer) Belastungen durch Industrie 4.0. Da es sich bei Industrie 4.0 um eine prognostizierte Revolution handelt, lässt sich durch eine frühzeitige Erforschung der Thematik ein positiver Einfluss auf die Gestaltung des Arbeitssystems nehmen.

Weiterhin ergab die Analyse steigende Anforderungen an die Kompetenz der Mitarbeiter. Auch diese lässt sich durch die Arbeitsgestaltung, z.B. in Teams, positiv beeinflussen. Laut Richter und Pohlandt ist es kompetenzförderlich, Aufgaben-, Arbeits- und Urlaubsverteilung durch alle Teammitglieder gemeinsam zu organisieren. Weiterhin sollten Aufgabenwechsel und die Rotation zwischen den Arbeitsplätzen von den Teams organisiert werden und vor- und nachgelagerte Tätigkeiten in den Arbeitsbereich der Teams integriert werden. (Richter & Pohlandt, 2011, S. 135) Diese Art der Arbeitsgestaltung überschneidet sich mit der erwarteten Ausgestaltung von Industrie 4.0. Je nach Auslegung des Systems in der Smart Factory ist eine Aufgabenverteilung mit und ohne Einbezug der

Mitarbeiter möglich. Auch die Kompetenzförderlichkeit des Arbeitssystems 4.0 sollte deshalb Gegenstand weiterer Forschung sein. Insgesamt lässt sich jedoch bilanzieren, dass das Arbeitssystem 4.0 erhebliches Potential für eine Humanisierung der Arbeit aufweist.

5 Zusammenfassung

Die in der Vision einer Industrie 4.0 beschriebenen, selbstorganisierenden, intelligenten Produktionssysteme in der Smart Factory werden auf dem Weg ihrer Realisation unumstritten tiefgreifende Veränderungen mit sich bringen. Es kommt zu Änderungen bei Arbeitsaufgabe, Arbeitsmitteln und –gegenständen sowie der Auftragseinstuerung. Der Mensch nimmt eine entscheidende Rolle als Problemlöser, Entscheider und Innovator ein. Es ist zu erwarten, dass vor allem die psychische Beanspruchung der Arbeitsperson im Arbeitssystem 4.0 ansteigt und sie über ein höheres Maß an beruflicher Handlungskompetenz verfügen muss. Eine aufgabenadequate Weiterqualifizierung der Mitarbeiter sowie die Gestaltung eines kompetenzfördernden Arbeitssystems werden nötig. Die Prävention psychischer Erkrankungen muss im neuen Arbeitsumfeld wissenschaftlich untersucht werden, um die Chancen des intelligenten Arbeitssystems auch für die Mitarbeiter zu nutzen. Hier sind die Verankerung von Kurzpausen ins System sowie eine Arbeitsverteilung auf Basis der individuellen Leistungsvoraussetzungen denkbar. Abbildung 7 liefert eine Übersicht zu diesen Zusammenhängen.

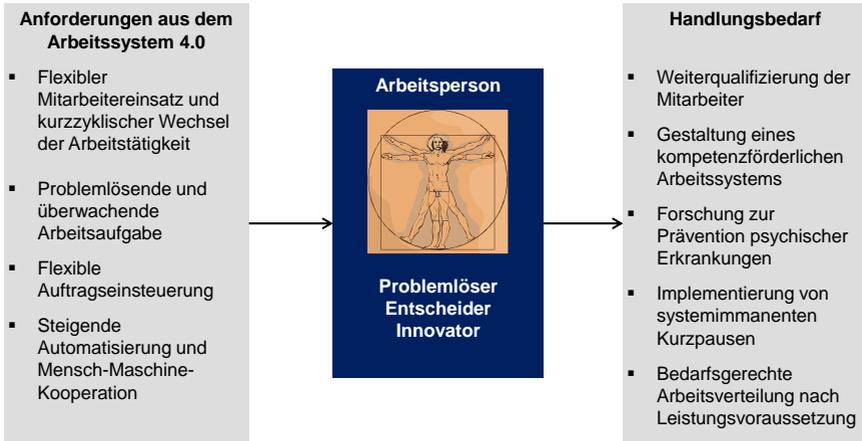


Abbildung 7: Zusammenfassung

Literatur

Bauer, K. (2013). *Mit der Smart Factory auf dem Weg in die Produktion der Zukunft*. MM-Maschinenmarkt, S. 29-31.

Berger, P. / Fürstenberg, W. / Brauck, M. (2011). *Fürstenberg Performance Index 2011. Gesundheitsprobleme in Deutschland und ihr Einfluss auf die Leistung der Arbeitnehmer*. Hamburg: Fürstenberg Institut.

Bracht, U. / Geckler, D. / Wenzel, S. (2011). *Digitale Fabrik*. Berlin: Springer.

Bundesverband der Unfallkassen. (2005). *Psychische Belastungen am Arbeits- und Ausbildungsplatz - ein Handbuch. Phänomene, Ursachen, Prävention*. GUV-I 8628. München: Bundesverband der Unfallkassen.

Cyranek, G. (1993). *CIM - Herausforderung an Mensch, Technik, Organisation*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

DIN EN ISO 6385:2004-05. (2004). *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth Verlag.

Dombrowski, U. / Evers, M. (2014). *Approach for determining the ideal workload of employees*. 20th ICE Conference - IEEE TMC Europe Conference.

Dombrowski, U. / Wagner, T. (5 2014). *Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0. Mitarbeiterpartizipation als Erfolgsfaktor zur Akzeptanzbildung und Kompetenzentwicklung.* zwf Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 351-354.

Dombrowski, U. / Wagner, T. (2014a). *Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. The 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems (S. 772-777).* Windsor, Canada: CIRP Procedia.

Dombrowski, U. / Schmidtchen, K., / Hoesslin, I. v. (2012). *Megatrends - Erfolgreiche Unternehmen denken heute schon an morgen.* GPS Symposium. Braunschweig.

Dombrowski, U. / Tiedemann, H. / Bothe, T. (2001). *Visionen für die Digitale Fabrik.* Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)(3), S. 96.

Dombrowski, U. / Wagner, T. / Riechel, C. (5 2013). *Analyse eines Konzepts zur Montageplanung auf Basis cyber-physischer Systemmodule.* zwf Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 344-348.

Elger, C. E. (2009). *Neuroleadership.* Planegg/München: Rudolph Haufe Verlag & Co. KG.

Geisberger, E. / Broy, M. (März 2012). *agendaCPS-Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems .* München, Deutschland.

Gnahn, D. (2010). *Kompetenzen - Erwerb, Erfassung, Instrumente.* Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag und Co. KG.

Hahn, H.-W. (2011). *Die Industrielle Revolution in Deutschland.* München: Oldenbourg Verlag.

Haller, E. / Schiller, E. (2002). *Die Digitale Fabrik - die dritte Revolution in der Automobilindustrie?* Ludwigsburg: Süddeutsche Verlag.

Hardenacke, H. / Peetz, W. / Wichardt, G. (1985). *Arbeitswissenschaft.* München: Carl Hanser Verlag.

Hessmann, T. (2013). *The Dawn of the Smart Factory.* IW-Industry Week(Heft 2), S. 14-19.

Hüttenrauch, M. / Baum, M. (2008). *Effiziente Vielfalt - Die dritte Revolution in der Automobilindustrie.* Berlin: Springer.

- IGES Institut GmbH. (2014). *Gesundheitsreport 2014. Die Rushhour des Lebens. Gesundheit im Spannungsfeld von Job, Karriere und Familie. DAK-Gesundheitsreport 2014. Hamburg: DAK Forschung.*
- Kagermann, H. / Wahlster, W., / Helbig, J. (April 2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main, Deutschland.*
- Laurig, W. (1990). *Grundzüge der Ergonomie: Erkenntnisse und Prinzipien. Berlin: Beuth Verlag .*
- Morosini Frazon, E. et al. (2013). *Social-Cyber-Physical Systems in Production Networks. Procedia CIRP, S. 49-54.*
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press.*
- Ott, B. (1998). *Ganzheitliche Berufsbildung als Leitziel beruflichen Fachdidaktik. In B. Bonz, & B. (. Ott, Fachdidaktik des beruflichen Lernens (S. 9-30). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.*
- Peters, T. / Ghadiri, A. (2010). *Neuroleadership - Grundlagen, Konzepte, Beispiele. Wiesbaden: Gabler Verlag.*
- Raithel, J. / Dollinger, B., / Hörmann, G. (2008). *Einführung Pädagogik. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.*
- REFA, V. f. (1993). *Methodenlehre der Betriebsorganisation- Lexikon der Betriebsorganisation. München: Carl Hanser Verlag.*
- Richter, F. / Pohlandt, A. (2011). *Arbeitsintegrierte Ansätze der Personalentwicklung. In J. Ryschka, M. Solga, & A. Matteklotz, Praxishandbuch Personalentwicklung: Instrumente, Konzepte, Beispiele (S. 131-165). Wiesbaden: Gabler.*
- Schlick, C. M. / Bruder, R., / Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.*
- Schlund, S., / Gerlach, S. (2013). *Der Mensch im industriellen Holozän. Economic Engineering, S. 22-26.*
- Spath, D. et al. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. (D. Spath, Hrsg.) Stuttgart, Deutschland: Fraunhofer Verlag.*

VDI 2870-1, V. D. (2012). *Ganzheitliche Produktionssysteme. Grundlagen Einführung und Bewertung*. Berlin: Beuth Verlag.

Wiendahl, H.-P. / Reichardt, J., / Nyhuis, P. (2009). *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. München: Hanser Verlag GmbH & Co. KG .

Womack, J. / Jones, D., / Roos, D. (1991). *Die zweite Revolution in der Autoindustrie, Konsequenzen aus der weltweiten Studie des Massachusetts Institute of Technology*. Frankfurt/ Main: Campus Verlag.

Ziegler, D. (2005). *Die Industrielle Revolution*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.