



The Organization of Future Production Work – Requirements and Technical Solution Approaches

Die Organisation der Produktionsarbeit der Zukunft – Anforderungen und technische Lösungsansätze

Jan Felix Csavajda

Universität Stuttgart

Abstract

With a view to the industrial production of the future and Industry 4.0, the focus mostly lies on technology, while organization and the role of humans are less considered. The aim of this paper is to determine organizational requirements and performance indicators for future production. A quantitative empirical study is used to evaluate the relevance from a practical perspective. In addition, a collection of technological solutions illustrates the exemplary practical implementation of the organizational requirements. As a result, an ideal-typical organization of future production is presented. A central finding is that so far little attention is drawn to the areas of organization and humans in the context of Industry 4.0. Modern work and leadership concepts, consequent employee qualification, Lean Management 4.0, improved coordination, connectivity and transparency as well as the use of performance indicators are essential. For the successful implementation of technical Industry 4.0 solutions, the primary establishment of a basic organizational framework is mandatory. This work clarifies which concepts should be in the foreground in the future, also in order to secure competitiveness.

Zusammenfassung

Mit Blick auf die industrielle Produktion der Zukunft und Industrie 4.0 steht vermehrt die Technologie im Fokus, Organisation und die Rolle des Menschen hingegen weniger. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, organisationale Anforderungen und Kennzahlen der zukünftigen Produktion zu bestimmen. Anhand einer quantitativen Empirie erfolgt eine Relevanzbewertung aus Praxissicht. Ergänzend zeigt ein Technologielösungsatlas die beispielhafte praktische Umsetzung der organisationalen Anforderungen auf. Als Ergebnis wird eine idealtypische arbeitsorganisatorische Ablauforganisation der zukünftigen Produktion vorgestellt. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass die Teilbereiche Organisation und Mensch im Zusammenhang mit Industrie 4.0 bisher unzureichend betrachtet werden. Moderne Arbeits- und Führungskonzepte, eine konsequente Mitarbeiterqualifikation, Lean Management 4.0, eine verbesserte Abstimmung, Vernetzung und Transparenz sowie die Verwendung von Kennzahlen sind essenziell. Für die erfolgreiche Implementierung von technischen Industrie 4.0 Lösungen ist der primäre Aufbau eines organisatorischen Grundrahmens zwingend erforderlich. Diese Arbeit verdeutlicht, welche Konzepte hier zukünftig im Fokus stehen müssen, auch um die unternehmerische Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen.

Keywords: Industrie 4.0; Produktion; Arbeitsorganisation; Anforderungen; Kennzahlen.

1. Einleitung

1.1. Ausgangssituation, Problemstellung und Handlungsbedarf

Mit den drei industriellen Revolutionen der Mechanisierung, Elektrifizierung und der Automatisierung gab es

in der Entwicklungsgeschichte der Produktion bereits einige massive Umwälzungen. Die nächste Entwicklungsstufe der Produktion in Form einer zunehmenden Digitalisierung wird als „Industrie 4.0“ bezeichnet.¹ Diese vierte industrielle

¹vgl. Lucks (2017a), S. 5.

Fortschrittswelle lässt Unternehmen auf der gesamten Welt über die Verwendung von neuen, digitalen Technologien nachdenken,² um weiter zu wachsen und viele Vorgänge zu vereinfachen.³ Das Thema der Industrie 4.0 (I4.0) als Einzug der Informationstechnik in die Produktion wird schon seit längerer Zeit ausführlich diskutiert.⁴ Das behandelte Fachgebiet der vorliegenden Arbeit ist dieser sich aktuell stark verändernde Produktionsbereich. Die beschriebene Veränderung wird durch die hohe Anzahl an Veranstaltungen und Veröffentlichungen zum Thema I4.0 verdeutlicht.⁵ Aufgrund des tiefgreifenden Verbesserungspotentials und der Wichtigkeit der Entwicklung hin zu I4.0, ergibt sich ein eindeutiger Bedarf zu einer ausführlichen Diskussion dieses Themas.

Die grundsätzliche Relevanz der Thematik ist als sehr hoch einzustufen. Bereits im Jahr 2015 wies Jean Claude Juncker als damaliger EU Kommissionsvorsitzender gezielt darauf hin, dass die Digitalisierung eine der zentralsten und herausforderndsten Zukunftsfragen für die europäische Politik und Unternehmen darstellt.⁶ Zwar hat die deutsche Bundesregierung Industrie 4.0 bereits früh als Zukunftsprojekt auf ihre digitale Agenda gesetzt,⁷ doch im Vergleich zu anderen führenden Wirtschaftsnationen wurde der digitale Wandel im Jahr 2016 noch nicht in einem ausreichenden Umfang angesteuert.⁸ Damals waren deutsche, produzierende Unternehmen gegenüber der Industrie 4.0 noch zurückhaltender und sahen insgesamt eindeutig mehr Risiken als Chancen, weshalb weitreichende Weckrufe aus der Forschung zur Verdeutlichung der thematischen Dringlichkeit mehr als notwendig waren.⁹

Ein übergreifendes Ziel ist es, durch neue Fortschritte und Erkenntnisse im I4.0 Bereich eine flächendeckende und deutschlandweite Implementierung in produzierenden Unternehmen unabdingbar zu machen.¹⁰ Bis in das Jahr 2018 war eine weitreichende Skepsis existent.¹¹ In einer Studie des Bundesverbands Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom) zeigte sich bereits ein Jahr später eine höhere Akzeptanz: Etwas mehr als jedes zweite Unternehmen setzte auf die Nutzung von Industrie 4.0 Technologien und 74 Prozent der befragten Unternehmen planten, I4.0 Anwendungen einzusetzen. Obwohl sich in den Jahren ab 2015 viel bewegt hat, gaben im Rahmen der Studie fast ein Viertel aller Unternehmen an, den Einsatz von I4.0 Technologien vorerst nicht fördern zu wollen.¹² Dem entgegen steht die Haltung gegenüber der Digitalisierung im Allgemeinen. Diese wird im Großen und Ganzen als beträchtliche Chance angesehen.¹³ Aus diesen Gründen ist es in der

aktuellen Situation weiterhin notwendig, mithilfe des richtigen Inputs Anpassungen anzustoßen, wie Industrie 4.0 in Deutschland gedacht wird.

Aufgrund dieser Ausgangslage ergibt sich im Konkreten der Handlungsbedarf dieser Arbeit. Die zu bearbeitende Forschungslücke zeigt sich dadurch, dass sich die Folgen der Digitalisierung besonders in der Fertigung von Gütern niederschlagen.¹⁴ Gleichzeitig erfreuen sich innovative Arbeitskonzepte und flexible Arbeitsformen in der Wissensarbeit und im Büroalltag einer weiten Verbreitung. Diese Entwicklungen sind an der Produktionsarbeit bisher jedoch zu großen Teilen vorbeigegangen.¹⁵ Solche Konzepte, und deren Bedeutung im Zusammenspiel mit I4.0 Technologien, werden im Rahmen dieser Arbeit vor einem produktionstechnischen Hintergrund betrachtet. Unter dem Titel „Die Organisation der Produktionsarbeit der Zukunft - Anforderungen und technische Lösungsansätze“ untersucht die vorliegende Arbeit diese Kombination von Industrie 4.0 Aspekten mit arbeitsorganisatorischen und menschenorientierten Ansätzen. Die Durchführung der Forschung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) in Stuttgart, wobei die persönliche Motivation des Autors zur Bearbeitung dieses Themas unter anderem auf längeren praktischen Erfahrungen in der Produktions- und Fabrikplanung bei der Daimler AG beruht.

1.2. Zielsetzung, Methodik und Aufbau der Arbeit

Alles in Allem ist das Thema Industrie 4.0 sehr umfangreich und gliedert sich in eine Vielzahl unterschiedlicher Teilbereiche. Der Blickwinkel dieser Arbeit richtet sich weniger auf detaillierte, technologische Inhalte von Industrie 4.0, sondern vielmehr auf die Systembereiche Organisation und Mensch. Diese spielen bei der Betrachtung von Industrie 4.0 bisher fälschlicherweise eine eher untergeordnete Rolle.¹⁶ Weiterhin liegt der Fokus vordergründig in der direkten Produktionsebene sowie deren Ressourcen und Prozessen und nicht in einer übergeordneten Unternehmensstrategiedimension. Zur Abgrenzung zeigt die nachfolgende Abbildung wesentliche Teilbereiche einer digitalen I4.0 Arbeitswelt übersichtlich auf (Abb. 1).

Zusammenfassend werden vorrangig die Arbeitsorganisation, Arbeitsmethoden und der Mensch mit seinen Fähigkeiten behandelt. Der Nutzen und Mehrwert besteht darin, den aktuellen wissenschaftlichen Forschungsstand in diesem Industrie 4.0 Teilgebiet zusammenzutragen und durch eigene Forschungserkenntnisse zu erweitern. Das Hauptziel hierbei ist die Beantwortung mehrerer ausgewählter Forschungsfragen. Nach der Betrachtung allgemeiner, relevanter Grundlagen, fokussiert sich der erste Hauptforschungsteil auf die Frage, mit welchen Kennzahlen die zukünftige Produktion gesteuert wird. Darauf folgt eine Analyse der Anforderungen an die Produktionsorganisation. Im Detail wird evaluiert,

²vgl. Lorenz, Küpper, Rüßmann, Heidemann und Bause (2016), S. 3.

³vgl. Schnell (2018a), S. 43.

⁴vgl. Manzei (2016), S. 10.

⁵vgl. Schnell (2018a), S. 43.

⁶vgl. Müller und Jentsch (2015), S. 27.

⁷vgl. Manzei (2016), S. 10.

⁸vgl. Kollmann und Schmidt (2016), S. 137.

⁹vgl. Bauernhansl und Dombrowski (2016), S. 5.

¹⁰vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 163.

¹¹vgl. Stief (2018), S. 245.

¹²vgl. A. Berg (2019), S. 2.

¹³vgl. ebenda, S. 13.

¹⁴vgl. Cole (2017), S. 160.

¹⁵vgl. Spath et al. (2013), S. 12.

¹⁶vgl. Kreggenfeld, Prinz und Kuhlenkötter (2016), S. 31f.



Abbildung 1: Modell zur Gestaltung digitaler Arbeitswelten nach Altemeier, Bansmann, Dietrich, Dumitrescu und Nettelstroth (2017).

Quelle: Altemeier et al. (2017), S. 10.

welche Anforderungen an die Produktion der Zukunft sich aus den prognostizierten Herausforderungen der Arbeitswelt ergeben und inwiefern schon länger bestehende oder recht neuartige Organisationskonzepte das Denken der Produktion verändern.

Zur methodischen Bestimmung der Wichtigkeit dieser Kennzahlen und Anforderungen wird eine quantitative Orientierungsumfrage durchgeführt. Durch ein Meinungsbild aus der Praxis erfolgt die Generierung einer Rangfolge der Kennzahlen und theoretischen Konzepte der Produktionsorganisation. Im Zuge dessen stellt sich die Frage, ob die existierenden, arbeitsorganisatorischen Konzepte für die Produktion schon in der breiten Unternehmenspraxis angekommen sind. Der dritte Forschungsaspekt zielt darauf ab, punktuell aufzuzeigen wie die organisationalen Anforderungen in der Praxis umgesetzt werden können und mit welchen innovativen Technologien und I4.0 Anwendungsfällen Shopfloor-Organisationsmethoden unterstützt, optimiert oder gar erst möglich gemacht werden. Hierzu werden technische I4.0 Lösungen in einem Technologielösungsatlas für innovative Produktionsorganisationsformen gesammelt. Als finales Ergebnis wird durch eine auf den jeweils wichtigsten Kennzahlen, Anforderungen und „Best Practices“ basierende, idealtypische Organisationsform ein Lösungsansatz für das Aussehen der zukünftigen Produktion präsentiert. Eine Hypothese ist, dass die Organisation und der Fokus auf den Menschen immer wichtiger wird und Unternehmen dies auch sehen, indem sie diesen Faktoren nach und nach die gleiche Wichtigkeit einräumen wie der reinen I4.0 Technologie. Dies gilt es zu überprüfen.

Des Weiteren wird analysiert, ob das heutige Produktionspersonal dazu geeignet ist mit den zukünftigen Anforderungen und technologischen Neuerungen zurecht zu kommen.

Was muss getan werden? Welches Leistungsprofil weist der zukünftige Fabrikarbeiter auf und welche Arbeitsumgebungen und -bedingungen gilt es zu schaffen? Innerhalb des dargelegten, methodischen Vorgehens der Aufgabenbearbeitung wurde zunächst eine systematische Literaturrecherche betrieben. Die quantitative Umfrage dient zusätzlich der Sammlung von eigens erhobenen Daten und ergänzt das Forschungsdesign. Die gewonnenen Daten werden mit Tabellen und Graphen dargestellt und untersucht.

Grundsätzlich erfolgte die Literaturrecherche überwiegend über diverse Literaturdatenbanken wie EconBiz oder Wiso, Google Scholar, Springer Link und durch andere Nachschlagewerke aus den (elektronischen) Bibliotheken der Universität Stuttgart und der Stuttgarter Fraunhofer-Institute. Neben Monografien und Sammelwerken sind Positionspapiere und Forschungsberichte von I4.0 Verbänden und von Bundesministerien häufig verwendete Dokumententypen. Zudem dienen unter anderem Fachartikel aus dem Magazin Industrie 4.0 Management (I40M) und der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) als Basisliteratur. Zur Recherche wurden hauptsächlich die folgenden Schlüsselwörter im Verbund mit den Zusätzen *4.0 oder *Zukunft genutzt: „Organisation“, „Produktion“, „Arbeit“, „Führung“, „Mitarbeiter“ und „Kompetenz“. Auch die Begriffe „Anforderungen“, „Kennzahlen“, „New Work“ und „Anwendungen“ fanden bei der Quellensuche im Zusammenhang mit Produktion oder Industrie 4.0 Gebrauch.

Der detaillierte Aufbau und Ablauf der Arbeit ist der nachfolgenden Darstellung zu entnehmen. Die Abbildung veranschaulicht die Inhalte der einzelnen Kapitel und liefert einen Überblick über das methodische Vorgehen (Abb. 2).

Zunächst sind die detaillierte Betrachtung und Diskussion einiger grundlegender Thematiken in Kapitel (2.) notwendig.

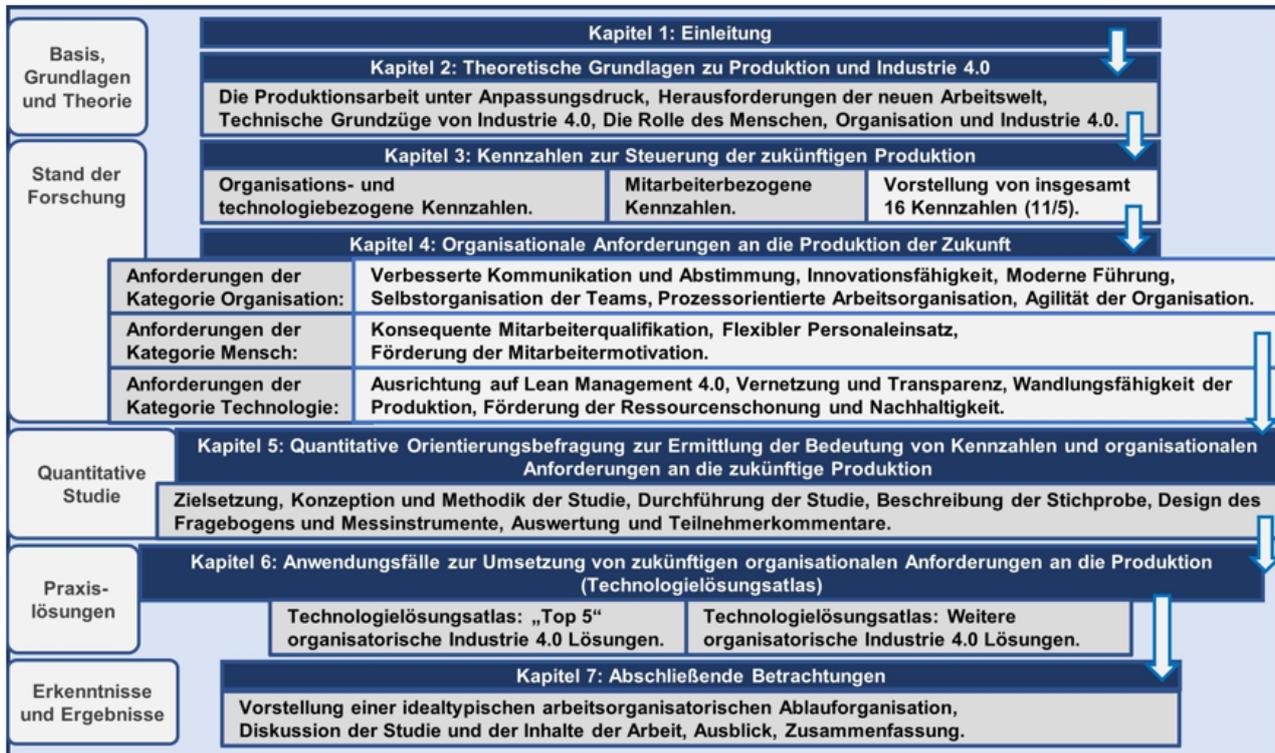


Abbildung 2: Eigene Darstellung - Aufbau und Gang der Arbeit.

2. Theoretische Grundlagen zu Produktion und Industrie 4.0

Als Basis für die detaillierte Betrachtung von produktionsseitigen, organisationalen Anforderungen, zu steuern den Kennzahlen und Industrie 4.0 Lösungsansätzen in den Hauptbestandteilen dieser Arbeit, liefert dieses erste Kapitel theoretische Einblicke und zeigt einleitend den kontextuellen Zusammenhang der Themen Produktion und Industrie 4.0 mit der Organisation und dem Menschen auf.

Anfänglich ist die Definition zentraler Begriffe erforderlich, da diese im weiteren Verlauf häufig verwendet werden und als Verständnisfundament dienen. Der erste Terminus „Produktion“ schließt mehrere Teilbereiche ein.¹⁷ Einer dieser Bereiche ist die Fertigung als „Herstellung materieller Güter unter Einsatz der Ressourcen Material, Energie, Maschinen, Menschen, Kapital, Information und Wissen“.¹⁸ Zusätzlich enthält eine neuere Definition der Produktion die Herstellung immaterieller Güter, die Entwicklung, Konstruktion und Forschung und den gesamten Produktlebenslauf inklusive der Recyclingphasen. Konkret bezieht sich der in dieser Arbeit angesprochene Kontext auf die Fertigung, auch wenn mit Industrie 4.0 verschiedenartige Auswirkungen auf die anderen genannten Bereiche der Produktion einhergehen. Fortlaufend werden die Termini Fertigung und Produktion gleichermaßen verwendet, wobei immer der tatsächliche Wert-

schöpfungsbereich gemeint ist.¹⁹ Der dritte wesentliche Begriff, ein Synonym, ist der Ausdruck „Shopfloor“, welcher die Wertschöpfungsebene charakterisiert und den Ort, an dem die Wertschöpfungsprozesse eines Unternehmens stattfinden beschreibt.²⁰ Die vollständige Definition des Begriffs Industrie 4.0 erfolgt aufgrund des größeren Umfangs in einem eigenen Kapitel (2.3).

2.1. Die Produktionsarbeit unter Anpassungsdruck

Zu Beginn steht die Fragestellung im Vordergrund, warum im Produktionsbereich ein hoher Druck zur Anpassung besteht und weshalb die Produktion sich bereits stark verändert hat und auch weiterhin verändern muss.²¹ Der Schwerpunkt liegt auf der Veranschaulichung von veralteten Aspekten und Grundbausteinen der Produktion, die nicht mehr den Anforderungen entsprechen und deshalb hinterfragt werden müssen.

Im Allgemeinen sind Fabriken und Produktionssysteme ständigen Veränderungen ausgesetzt.²² Das circa 100 Jahre alte System der Massenproduktion²³ zur Fertigung einer Variante in großen Mengen wird heutzutage häufig genutzt, um kleinere Mengen vieler Varianten zu produzieren. Das System wird hierbei zweckentfremdet eingesetzt, da sich die Voraussetzungen und Anforderungen an eine Produktion verändert

¹⁹vgl. ebenda, S. 24.

²⁰vgl. Siepmann (2016), S. 50.

²¹vgl. R. Winkler (2019), URL siehe Literaturverzeichnis.

²²vgl. Müller und Jentsch (2015), S. 106.

²³vgl. Schneider (2016), S. 33.

¹⁷vgl. Westkämper und Decker (2006), S. 24.

¹⁸ebenda, S. 24.

haben. Das Konzept der Massenfertigung ist für eine variantenreiche Produktion nicht ideal, weshalb Produktionssysteme anders ausgelegt und konstruiert werden müssen.²⁴ Die mittlerweile wichtige Anforderung einer Individualisierung von Produkten wird durch die Massenproduktion ebenfalls nur ungenügend erfüllt.²⁵

Seit ihrem Aufkommen wurde die Fließbandfertigung durch zahlreiche Entwicklungen und Technologien vorwärtsgetrieben. Im Umfeld einer klassischen Fließbandfertigung ist eine volle Ausschöpfung des Potentials neuer Technologien nicht möglich. Um auf (Markt-)Veränderungen schnell zu reagieren, muss die Produktion dementsprechend ausgerichtet sein. Es besteht der Anpassungsdruck, sich von den Konzepten der Massenproduktion und Liniorganisation zu lösen. Es sind flexible, kompatible, vernetzte, modular aufgebaute und schnell auf jeweilige Produktfamilien und benötigte Kapazitäten umstellbare Produktionssysteme vonnöten. Grenzenlos verschiebbare Maschinen und Anlagen bieten in der Industrie 4.0 die erforderliche Erhöhung an Mobilität.²⁶ Ein weiteres zu hinterfragendes Paradigma ist die Aufteilung der Arbeit in repetitive Bearbeitungsschritte mit einem durchgängigen Arbeitstakt. Heute geforderte Tätigkeiten sind längst nicht mehr so eintönig.²⁷

Ergänzend sind Unternehmen fortlaufend einem Preisdruck ausgesetzt. Bei der Beantwortung der Frage wie kostensparender produziert werden kann, spielen die Reduktion von Durchlaufzeiten, die Vermeidung von Leerlauf- und Stillstandzeiten,²⁸ die Termintreue,²⁹ sowie die Prozessoptimierung eine Rolle. Zudem führt Zeitdruck dazu, Produkte schnell auf den Markt bringen zu müssen, um die unternehmerische Konkurrenzfähigkeit zu sichern.³⁰ Eine weitere Ineffizienz, die zu einem Aufkommen von Veränderungen führt, ist die Produktivität innerhalb der Produktion. Ohne jegliche Veränderungen zum Beispiel durch Industrie 4.0, ist eine Bewältigung der aufgeführten Probleme nicht in ausreichendem Maße zu schaffen.³¹ Dies bezieht sich auch auf das obsolekte Konzept der maximalen Planung und Sicherheit, bei welchem alle Produktionsabläufe in maximalem Umfang durchgeplant werden.³²

Des Weiteren sind Hierarchien mit Meistern und einem strengen Führungsstil zwar bei stupider, erschöpfender Produktionsroutinearbeit zur Aufrechterhaltung von Arbeitsbereitschaften, Disziplin und Leistung des Personals vorteilhaft. Doch mittlerweile muss dieses Konzept durchleuchtet werden. Leistungskontrolle sollte beispielsweise mithilfe von Kennzahl- und Kontrollsystemen erfolgen.³³ Starre und klar definierte Verantwortlichkeiten waren früher in der Produk-

tion sinnvoll.³⁴ Es lässt sich schlussfolgern, dass hier heutzutage große Anpassungserfordernisse auftreten.

In der nächsten Stufe der Produktion führen Fabrikarbeiter weniger Routinearbeiten durch. Arbeitsaufgaben nehmen an Komplexität zu. Es besteht der Druck ausgebildeten, qualifizierten Mitarbeitern mehr Vertrauen entgegenzubringen und das Konzept der harten Arbeitsteilung zu hinterfragen. Abschließend ist erkennbar, dass die geschilderten Konzepte und Ineffizienzen unter den Voraussetzungen der heutigen Zeit in vielen Umgebungen Schwierigkeiten verursachen, weshalb Produktionsunternehmen an Grenzen der Beherrschbarkeit stoßen.³⁵ Die Herausforderungen im heutigen Produktionsumfeld müssen mit anderen, neuen Lösungen bewältigt werden.³⁶ Im weiteren Verlauf der Arbeit soll deutlich gemacht werden, inwiefern Industrie 4.0 als eine solche Antwort auf die verlangte Wandlung und die Beseitigung der Probleme der Produktion fungieren kann.³⁷ Es stellt sich allerdings weiterhin die Frage, durch welche Faktoren der beschriebene Druck zur stetigen Anpassung der Produktion mitunter ausgelöst wird. Welche Entwicklungen der Arbeitswelt tragen zu verschiedenen Veränderungen in der Produktion bei? Das folgende Teilkapitel liefert hierzu Antworten.

2.2. Veränderungen und Herausforderungen der neuen Arbeitswelt

Bei der Beantwortung der Frage welche Einflüsse und Trends der Arbeitswelt die Gestaltungsfelder Mensch, Technik und Organisation in der Produktion beeinflussen, sind diverse Entwicklungen einzubeziehen.³⁸ Die digitale Transformation hat einen großen Einfluss auf das wirtschaftliche Geschehen und verändert Unternehmen mitsamt deren Prozessen, Strukturen und Produkten.³⁹ Zudem gehen mit technologischen Entwicklungen erhebliche Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation einher.⁴⁰

Eine beträchtliche Herausforderung der Arbeitswelt ist der globale Wettbewerb. Aufgrund der Globalisierung besteht ein weltweiter Konkurrenzdruck, der die Nutzung von neuen Lösungen unabdingbar macht.⁴¹ Zusätzlich existiert ein verstärkter Druck Innovationen zu erbringen.⁴² Neben ökonomischen Entwicklungen verursachen eine Vielzahl von gesellschaftlichen Trends einen starken Anpassungsdruck. Der demographische Wandel ist dabei als ein beispielhafter Faktor zu nennen.⁴³ Durch diesen kommt es zu einer Verschärfung von ohnehin schon angespannten Wettbewerbssituationen.⁴⁴ Dabei rücken der Fachkräftemangel und eine

²⁴vgl. Schneider (2016), S. 50.

²⁵vgl. Weinreich (2016), S. 186 und Schneider (2016), S. 37.

²⁶vgl. R. Winkler (2019), URL siehe Literaturverzeichnis.

²⁷vgl. Clement (2006), S. 96f.

²⁸vgl. Manzei (2016), S. 11.

²⁹vgl. Schneider (2016), S. 37.

³⁰vgl. Manzei (2016), S. 11f.

³¹vgl. Ittermann, Niehaus und Hirsch-Kreinsen (2015), S. 26f.

³²vgl. Schultz-Wild und Lutz (1997), S. 6.

³³vgl. Clement (2006), S. 96.

³⁴vgl. Schultz-Wild und Lutz (1997), S. 6.

³⁵vgl. Schneider (2016), S. 35.

³⁶vgl. ebenda, S. 37.

³⁷vgl. R. Winkler (2019), URL siehe Literaturverzeichnis.

³⁸vgl. Nyhuis, Bellmann und Ansari (2015), S. 165.

³⁹vgl. Stief (2018), S. 245.

⁴⁰vgl. M. Winkler, Grau und Tilebein (2015), S. 16.

⁴¹vgl. Abele und Reinhart (2011), S. 11f.

⁴²vgl. Nyhuis et al. (2015), S. 168.

⁴³vgl. M. Winkler et al. (2015), S. 16.

⁴⁴vgl. Bauer, Schlund, Marrenbach und Ganschar (2017), S. 17.

alternde Belegschaft, deren Arbeitsfähigkeit und Leistungsfähigkeit gesichert werden muss, in den Betrachtungsmittelpunkt.⁴⁵ Hinzu kommt, dass mehr Menschen mit Migrationshintergrund Arbeitsplätze in der Produktion einnehmen. Diese Entwicklungen machen Veränderungen in der Produktionsarbeit unabdingbar.

Weiterführend sind neuartige Formen zum Aufbau von Qualifikationen, Kompetenzen und Wissen erforderlich. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie Unternehmen mit den Wirkungen des demographischen Wandels zu recht kommen. Industrie 4.0 kann bei der Bewältigung dieser Herausforderung helfen.⁴⁶ Die dynamischen und immer kürzer werdenden Lebenszyklen von Produkten sind in gleichem Maße als eine Herausforderung anzusehen, denn sie animieren Unternehmen zu einem raschen Handeln.⁴⁷

Insgesamt ergeben sich durch die erläuterten Anpassungsgründe, Veränderungen und Entwicklungen konkrete Auswirkungen auf viele Arbeitsplätze. Frey und Osborne (2013) bestimmen den Anteil der in den USA durch die Digitalisierung in Gefahr gebrachten Arbeitsplätze in der Produktion auf nahezu 50 Prozent und gehen von einem ähnlichen Bild für Deutschland aus.⁴⁸ In einer weiteren Studie zum zukünftigen digitalisierten Arbeitsleben von Kool und van Est (2015) wird jedoch deutlich, dass es während des Übergangs zu einer veränderten I4.0 Produktion zwar zu einem Verlust von Arbeitsplätzen kommt, zur Kompensation allerdings gleichzeitig neue, andere und hoch technische Arbeitsplätze geschaffen werden.⁴⁹ Gut ausgebildete Arbeitskräfte werden von dieser Schaffung profitieren, während gering qualifizierte Produktionsarbeitskräfte zunächst negativ von der Digitalisierung betroffen sind.⁵⁰

Eine beträchtliche Herausforderung der digitalen Transformation besteht darin, durch den Einsatz neuer digitaler Technologien einen größtmöglichen Nutzen zu ziehen. Um dies möglich zu machen müssen Unternehmen ihre Aktivitäten,⁵¹ Technologien und Geschäftsmodelle entsprechend gestalten und neu ausrichten.⁵² Zu der Veränderung der Arbeitswelt steuern unterschiedliche zukunftssträchtige Technologien ihren Beitrag bei. Künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen, Robotik, mobiles Internet und Cloudservices haben einen großen Einfluss.⁵³ Die Verbreitung von I4.0 Systemen dient der Anpassung und ist ein Ansatz die Produktionsarbeit zu ändern und weiterzuentwickeln.⁵⁴ Industrie 4.0 als übergreifendes Konzept enthält mehrere verschiedene Technologien und Vorstellungen. Doch was genau versteht man unter Industrie 4.0 und welche Kernbestandteile liegen zugrunde?

2.3. Technische Grundzüge und Inhalte von Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 wird generell zur Beschreibung diverser Vorgänge in der Wirtschaft genutzt. So betrifft er beispielsweise auch Zukunfts- und Digitalisierungsveränderungen in der Medizin und im Verkehr. Der Umfang dieser Arbeit bezieht sich jedoch auf den Industrie 4.0 Teilbereich der industriellen Fertigung.⁵⁵ Die entsprechenden Fachbegriffe zur Beschreibung des Einzugs des Internets in die Produktion lauten „Smart Factory“ und „Smart Plant“. In der I4.0 Produktion gewinnen Daten und Dienste an Wertschätzung und sind jetzt essenzielle Bestandteile statt lästiges „Beiwerk“.⁵⁶ Zudem ist die Digitalisierung der zu fertigenden Produkte ein zentraler Industrie 4.0 Aspekt („Smart Products“).⁵⁷

In der Industrie 4.0 wird die Produktion grundlegend digitaler und vernetzter.⁵⁸ Ziel ist das „Digital Manufacturing“, bei dem der komplette Produktions- und Entstehungsprozess mit sämtlichen vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsbereichen virtuell abgebildet wird.⁵⁹ Die physische Welt wird digital in eine virtuelle Welt gespiegelt.⁶⁰ Es entsteht ein „digitaler Zwilling“ der Realität, der die Fabrik inklusive aller Gebäude abbildet.⁶¹ Dies wird durch die „Smart Factory“ erreicht, ein Netzwerk, in dem Menschen mit intelligenten Maschinen in einer intelligenten Umgebung zusammenarbeiten.⁶² Die wesentlichste technische Grundlage ist die komplette Durchdringung der Produktion mit sogenannten cyber-physischen Systemen (CPS). Über sie lassen sich Informationen und Daten über das Produktionsumfeld in Echtzeit ermitteln.⁶³ In solchen Systemen befinden sich an nahezu allen Orten der Fabrikhalle Sensoren.⁶⁴ Zum Beispiel werden Betriebsmittel wie Werkzeugmaschinen, Roboter, Bestandteile des Lagersystems und Transportmittel mit Sensoren und eigenen Computern ausgestattet.⁶⁵ Die hergestellten Produkte und die Gebäude erhalten ebenfalls Sensoren. So werden Umgebungsvariablen und Betriebsdaten aufgenommen.⁶⁶ Der Mensch ist in dieses hochvernetzte System aller Abläufe komplett eingebunden.⁶⁷ Wie Abbildung 3 entnommen werden kann, sind CPS Verbünde vieler verschiedener Komponenten. Durch die vollumfängliche Kombination der physikalischen Welt mit Sensorik- und Aktoriknetzen, Software und Hardware entstehen „eingebettete Systeme“, die Verbindungen, Schnittstellen und Interaktionen zu anderen Systemen, zur Umwelt und zum Menschen zulassen.⁶⁸

⁵⁵vgl. Lucks (2017a), S. 10f.

⁵⁶vgl. Jung (2017), S. 67.

⁵⁷vgl. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015), S. 4.

⁵⁸vgl. Ittermann und Niehaus (2018), S. 36.

⁵⁹vgl. Pötter und Steckenreiter (2017), S. 455f.

⁶⁰vgl. Heide, Hoffmeister, Hankel und Döbrich (2017), S. 1.

⁶¹vgl. Bauernhansl und Dombrowski (2016), S. 23.

⁶²vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 22.

⁶³vgl. Mertens, Barbian und Baier (2017), S. 96.

⁶⁴vgl. Cole (2017), S. 162.

⁶⁵vgl. Mertens et al. (2017), S. 96.

⁶⁶vgl. Cole (2017), S. 162.

⁶⁷vgl. Stief (2018), S. 85.

⁶⁸vgl. Broy (2010), S. 21-24.

⁴⁵vgl. Nyhuis et al. (2015), S. 168.

⁴⁶vgl. Abele und Reinhart (2011), S. 19f.

⁴⁷vgl. ebenda, S.15.

⁴⁸vgl. Frey und Osborne (2013), S. 41f.

⁴⁹vgl. Kool und van Est (2015), S. 15ff.

⁵⁰vgl. A. Berg (2019), S. 8.

⁵¹vgl. Cole (2017), S. 55.

⁵²vgl. ebenda, S. 54.

⁵³vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 23.

⁵⁴vgl. Schumann (2006), S. 72.

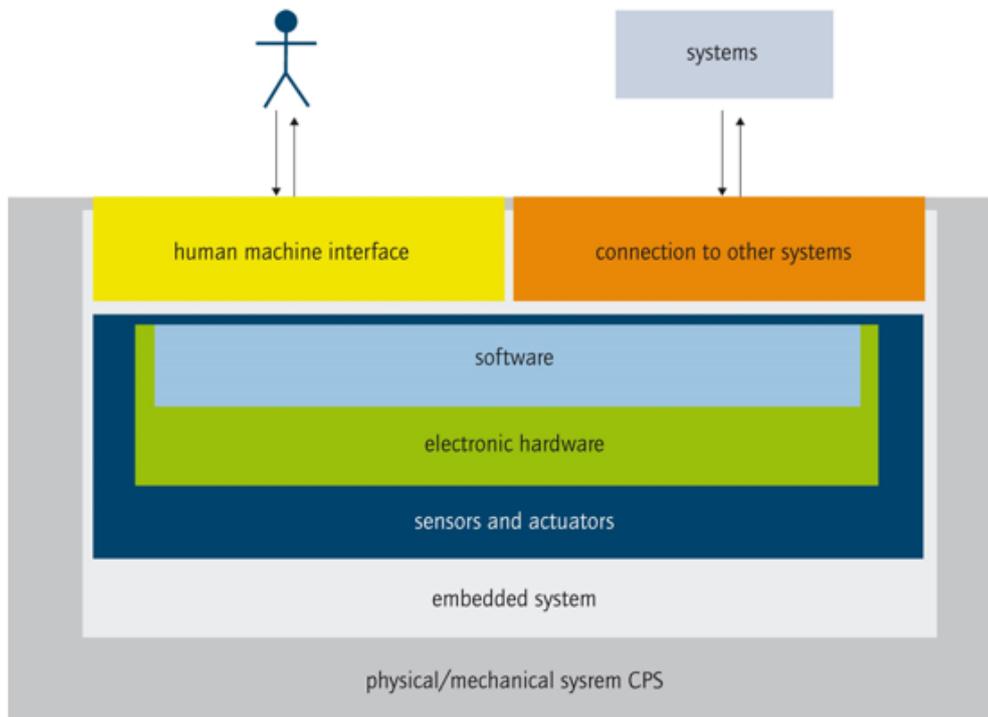


Abbildung 3: System und Prinzip von CPS nach Broy (2010).
Quelle: Broy (2010), S. 24.

Ein notwendiger Bestandteil von Industrie 4.0 ist das „Internet der Dinge“, durch das die Kommunikation aller genannten Systemelemente bewerkstelligt wird.⁶⁹ Ergänzend besitzen die „Smart Products“ der Industrie 4.0 ein digitales Gedächtnis, in welchem Fertigungshistorien und kommende Bearbeitungsschritte gespeichert sind. Produktionsanlagen, Roboter und Lager- bzw. Fördersysteme stimmen sich ab und koordinieren, wo Kapazitäten zur Fertigung von Produkten vorhanden sind.⁷⁰ Das intelligente Produkt lässt eine eindeutige, durchgängige Identifikation und Lokalisierung in der Fabrik zu.⁷¹ Generell werden I4.0 Methoden erst durch übergeordnete Faktoren, wie Big Data, Datenanalyse⁷² und Cloud Computing ermöglicht.⁷³ Ein endgültiges Ziel der Industrie 4.0 ist eine flexible, kostengünstige „Customized Mass Production“ in der kleine Losgrößen und eine hohe Individualisierung realisierbar sind.⁷⁴

Damit Industrie 4.0 funktioniert, benötigt es eine umfassende Integration in Netzwerken und Produktionssystemen.⁷⁵ Die Fähigkeit zur Kommunikation aller Systemkomponenten erfordert die Schaffung geeigneter I4.0 Kommunikations- und Breitbandinfrastrukturen.⁷⁶ Die Nutzung von

Internet-, Kommunikations⁷⁷ und Datenstandards ist eine weitere Voraussetzung.⁷⁸ Der Fachbegriff „Interoperabilität“ steht hier für die nahtlose Zusammenarbeit von Geräten, Systemen und Anwendungen über festgelegte Standards.⁷⁹ Für eine Kollaborationsfähigkeit ist es somit erforderlich Schnittstellen zu überwinden. In der I4.0 Produktion müssen alle Akteure eines Wertschöpfungsnetzwerks kooperieren,⁸⁰ damit es Übergänge zwischen unterschiedlichen Branchen und Unternehmen gibt.⁸¹ Weiterhin sind Sicherheitskonzepte, der Datenschutz,⁸² Haftungsfragen und Datenmissbrauch zu diskutierende Teilaspekte der Industrie 4.0.⁸³

Die Verwendung eines Referenzarchitekturmodells, wie die des „Rami 4.0“, soll einen intensiven Datenaustausch und eine durchgängige Kommunikation ermöglichen.⁸⁴ Es bietet eine Basis zur Verwirklichung der geforderten Integration verschiedener Systeme.⁸⁵ Dieses allgemeine Modell führt die wichtigsten I4.0 Aspekte zusammen, um das grundlegende Ziel der Sicherung des gleichen Verständnisses für alle Nutzer von Industrie 4.0 zu erreichen.⁸⁶ Das „Rami 4.0“ Modell und

⁶⁹vgl. Bernsteiner und Bauer (2017), S. 788 und Broy (2010), S. 24.

⁷⁰vgl. Kagermann (2014), S. 244f.

⁷¹vgl. Heidel et al. (2017), S. 15.

⁷²vgl. Schocke (2017), S. 4 und Lucks (2017a), S. 13.

⁷³vgl. Schocke (2017), S. 4.

⁷⁴vgl. Heidel et al. (2017), S. 1.

⁷⁵vgl. Banse (2017), S. 126 und Schlund und Pokorni (2017), S. 141.

⁷⁶vgl. Bauernhansl und Dombrowski (2016), S. 23 und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015), S. 9.

⁷⁷vgl. Banse (2017), S. 125.

⁷⁸vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 146.

⁷⁹vgl. Plattform Industrie 4.0 (2019), S. 1f.

⁸⁰vgl. Stief (2018), S. 84.

⁸¹vgl. Plattform Industrie 4.0 (2018a), S. 3.

⁸²vgl. Stief (2018), S.76f., Bauer et al. (2017), S. 19 und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015), S. 11.

⁸³vgl. Kagermann et al. (2013), S. 7.

⁸⁴vgl. Hoppe (2016), S. 96f.

⁸⁵vgl. Bernsteiner und Bauer (2017), S. 788f.

⁸⁶vgl. Plattform Industrie 4.0 (2018a), S. 8.

standardisierte Kriterien für I4.0 Produkte sind ergänzend im Anhang einsehbar (Anh. 1 und 2). Insgesamt birgt die Industrie 4.0 viele Herausforderungen. Industrieverbände und die Politik versuchen diese gemeinsam zu bewältigen.⁸⁷ Als deutsche Netzwerkinitiative intendiert die „Plattform Industrie 4.0“ die Voranbringung des Themas und arbeitet hierfür mit Verbänden anderer Länder zusammen.⁸⁸ Neben solchen konkreten Technologieaspekten besteht bei einem Einsatz von Industrie 4.0 eine Verknüpfung zu grundlegenden Organisationsmodellen.⁸⁹

2.4. Die Rolle des Menschen in der zukünftigen Produktion

Eine erste einleitende Fragestellung des Themenkomplexes Mensch ist es, wie sich die Rolle des Menschen in der I4.0 Produktion verändert und entwickelt. Der Mensch als Mitarbeiter der Zukunftsfabrik nimmt eine immens wichtige Position ein und muss deshalb eine besondere Aufmerksamkeit erhalten.⁹⁰ 1991 verdeutlichte Black zunächst, dass die Fabrik der Zukunft weniger Mitarbeiter haben wird.⁹¹ Erste Vorstellungen und Planungen der Industrie 4.0 Produktion gingen sogar von komplett menschenleeren Fabriken aus. Verschiedene Erfahrungen in den letzten Jahren haben dies jedoch eindeutig widerlegt.⁹² Der Mensch bildet in Zukunft weiterhin den Mittelpunkt, wobei die eingesetzten Technologien zur Sicherung einer optimalen Unterstützung des Menschen ausgerichtet werden.⁹³ Das menschliche Agieren in zentraler Rolle wirkt sich vorteilhaft auf die Gewährleistung von Produktivität und Flexibilität in der Produktion aus.⁹⁴

Die veränderte Rolle des Menschen in der Industrie 4.0 zeigt sich insbesondere in seiner neuen Funktion als Überprüfer von Ergebnissen und Abläufen in der Produktion⁹⁵ sowie in der Ausfüllung einer übergreifenden Aufsichtsfunktion. Er hat in der Produktion und Montage weniger handwerkliche,⁹⁶ manuelle und körperlich belastende Tätigkeiten auszuführen, denn diesen Arbeitsteil erfüllen zunehmend Roboter, die mit dem Menschen kooperieren. Stattdessen übernimmt der Mensch den wissensintensiven Teil, um Maschinen und Anlagen zu überwachen und zu steuern.⁹⁷ Durch geringere räumliche Beschränkungen arbeiten flexible Serviceroboter im Team mit dem Menschen.⁹⁸ Es bilden sich von starker Kooperation geprägte „Mensch-Maschine-Systeme“ aus.⁹⁹

Resümierend gehört die Zukunft der Produktion Mensch und Maschine gemeinsam.¹⁰⁰ Der Mensch trifft immer noch

die Entscheidungen, da er trotz Künstlicher Intelligenz sowie leistungsstarken Maschinen und Technologien in vielen Situationen Vorteile besitzt und überlegen ist. Beispielhaft sind Entscheidungen mit unsicheren Parametern und unklaren Mustern,¹⁰¹ für die der Mensch mit seinen kognitiven Fähigkeiten optimal gerüstet ist.¹⁰²

Wie bis hierhin erläutert, wandeln sich zum einen die Arbeitsinhalte des Menschen in der industriellen Produktion. Gleichzeitig ändern die komplexen und echtzeitorientierten Produktionssysteme die Erwartungen an Mitarbeiterkompetenzen und Fähigkeiten.¹⁰³ Aus diesem Grund müssen produzierende Unternehmen ihre Beschäftigten in der Produktion ausreichend qualifizieren.¹⁰⁴ In vielen Fällen ist das Qualifikationsniveau lediglich für eine einfache Massenproduktion ausreichend und versetzt die Beschäftigten nicht in die Lage, sich stetig weiter zu bilden und weiter zu qualifizieren.¹⁰⁵ Die zur Erfüllung der neuen menschlichen Rolle in der Produktion notwendige konsequente Mitarbeiterqualifikation wird in Kapitel (4.2.1) als Anforderung an die Produktion der Zukunft erfasst und näher beleuchtet.

Zusammenfassend ist die menschliche Arbeit in dem von Veränderung geprägten Produktionsumfeld bereits heute ein wesentlicher Schlüsselfaktor und wird dies auch in Zukunft weiterhin sein.¹⁰⁶ In der I4.0 Produktion sind allerdings neue Formen der Arbeitsgestaltung und Organisation erforderlich.¹⁰⁷ Vor diesem Hintergrund widmet sich das Folgekapitel der wachsenden Bedeutung von Organisation im Produktionskontext.

2.5. Organisation und Industrie 4.0

An dieser Stelle soll die Zusammengehörigkeit von Organisation und Industrie 4.0 genauer betrachtet werden. Die Veränderungsfähigkeit und die ständige Anpassung an Umgebungen sind kritische Erfolgsfaktoren für Unternehmen.¹⁰⁸ Es herrscht die Überzeugung, dass dies auch für die Organisation gilt.¹⁰⁹ Bereits 1986 haben Daft und Huber organisationales Lernen als Anpassung der Organisation an die individuelle Umwelt deklariert.¹¹⁰ Auch Laloux (2015) setzt seinen Fokus insbesondere auf den Gedanken der Entwicklung von verschiedenen Organisationsformen.¹¹¹

Im Zuge der digitalen Transformation genügen klassische Organisationen mit veralteten und starren Strukturen den neuen digitalen Anforderungen nicht mehr.¹¹² In der

⁸⁷vgl. Koch, Kuge, Geissbauer und Schrauf (2014), S. 6.

⁸⁸vgl. Plattform Industrie 4.0 (2018a), S. 29f.

⁸⁹vgl. Cole (2017), S. 55.

⁹⁰vgl. Projektträger Karlsruhe (PTKA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2017), S. 7.

⁹¹vgl. Black (1991), S. 3.

⁹²vgl. Mertens et al. (2017), S. 23f.

⁹³vgl. Pawellek und Schirmann (2017), S. 120.

⁹⁴vgl. Spath et al. (2013), S. 133.

⁹⁵vgl. Heidel et al. (2017), S. 15.

⁹⁶vgl. Cole (2017), S. 63f.

⁹⁷vgl. Schenk, Haase, Keller und Berndt (2016), S. 131.

⁹⁸vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 24.

⁹⁹vgl. Böde et al. (2013), S. 11.

¹⁰⁰vgl. Spath et al. (2013), S. 45.

¹⁰¹vgl. Spath et al. (2013), S. 130.

¹⁰²vgl. Projektträger Karlsruhe (PTKA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2017), S. 14.

¹⁰³vgl. Kagermann et al. (2013), S. 6.

¹⁰⁴vgl. Cole (2017), S. 64.

¹⁰⁵vgl. Schultz-Wild und Lutz (1997), S. 14.

¹⁰⁶vgl. Spath et al. (2013), S. 45.

¹⁰⁷vgl. Projektträger Karlsruhe (PTKA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2017), S. 7.

¹⁰⁸vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 50.

¹⁰⁹vgl. Zwirner (2004), S. 56ff. und Dichtl und Paternmann (2017), S. 200.

¹¹⁰vgl. Daft und Huber (1987), S. 2f.

¹¹¹Laloux (2015).

¹¹²vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 137.

Industrie 4.0 muss der Blick auf eine Organisation gerichtet werden,¹¹³ die kollaborativ und übergreifend ausgerichtet ist.¹¹⁴ Konkret wird die Modifikation der Aufbauorganisation und der Ablauforganisation angesprochen.¹¹⁵ Die Aufbauorganisation beschreibt die hierarchische Gliederung und reicht in der Produktion von der Abteilungsebene über die Kostenstellen, Arbeitsgruppen und Teams bis zur Mitarbeiterebene nach unten.¹¹⁶ Sie stellt den Aufbau und die Verantwortlichkeiten im Unternehmen dar.¹¹⁷ Im Gegensatz dazu umfasst die Ablauforganisation die Planung und Durchführung von Arbeitsinhalten. Ihre Aufgabe ist die zeitliche und räumliche Koordination in der Produktion. Zum Beispiel wird der Einsatz von Ressourcen und der Informationsfluss abgestimmt.¹¹⁸

Für die Industrie 4.0 ist die primäre Erarbeitung und Einführung einer grundlegenden Aufbauorganisation essenziell. Entscheidend für den Erfolg ist es, mit den Handlungsfeldern Ablauforganisation und Mitarbeiter zu starten, bevor eine Installation von Technologien erfolgt. Ohne eine vorrangige Entwicklung von Organisation und Menschen wird ein falscher Fokus gesetzt.¹¹⁹ In vielen Unternehmen ist das technische Know-how vorhanden, jedoch weniger das Wissen über die Wichtigkeit der Veränderung der internen Organisation.¹²⁰ Die Organisation der Produktion ist für die geforderten Qualifikationen und das Aussehen der Aufgaben in der Produktion entscheidend.¹²¹

Für die Organisation in der I4.0 Produktion werden grundsätzlich zwei Organisationsformen verwendet. Ohne konkret auf inhaltliche Details einzugehen, ist es wichtig zu nennen, dass die Mitarbeiterqualifikation sowohl in der sogenannten „polarisierten Organisation“ als auch in der „Schwarmorganisation“ von Bedeutung ist. In jedem Fall wird spezialisiertes Personal mit hohen Handlungsspielräumen benötigt.¹²² Es sind umfassende Qualifikationen für das Agieren in I4.0 Organisationsformen notwendig.

Schlussendlich muss die gesamte Organisation des Unternehmens, vor allem jedoch die Produktionsorganisation, auf Industrie 4.0 ausgerichtet werden.¹²³ Problematisch ist, dass laut einer Bitkom Studie aus dem Jahr 2018 für 68 Prozent der Unternehmen der Einsatz von I4.0 Anwendungen auf technische Prozessverbesserungen abzielt, während sich nur 15 Prozent auf die Schaffung einer flexibleren Arbeitsorganisation fokussieren.¹²⁴ Folglich fehlte im Jahr 2018 der Fokus auf die Organisation und den Menschen noch zu großen Teilen. Insgesamt kommen einige neue Konzepte zur

Gestaltung der Produktionsorganisation auf.¹²⁵ Kapitel (4.) beschäftigt sich mit den organisatorischen Anforderungen an die zukünftige Produktion und stellt mehrere dieser Konzepte vor. Zunächst erfolgt die Betrachtung wichtiger Kennzahlen zur Steuerung der Produktion.

3. Kennzahlen zur Steuerung der zukünftigen Produktion

Dieses Kapitel zielt darauf ab aufzuzeigen, welche Kennzahlen zur Steuerung einer modernen Produktion verwendet werden können. In einem ersten Schritt werden alle determinierten Kennzahlen übersichtlich dargestellt. Die Bestimmung der Wichtigkeit der ausgewählten organisationalen Steuerungskennzahlen erfolgt durch die quantitative Orientierungsbefragung in Kapitel (5.4). An dieser Stelle werden die Kennzahlen als Verständnisgrundlage zunächst theoretisch erläutert.

Der Auswahl der Indikatoren liegt die konsequente Ausrichtung auf eine Verbesserung von organisatorischen, beziehungsweise menschenbezogenen Themen zugrunde. Ausgewählte, die Technologie betreffende, Kennzahlen sind in die Zusammenstellung integriert, wenn sie in der zukünftigen Produktion ebenfalls eine signifikante Auswirkung auf die Organisation oder den Menschen haben können. Es wird eine Einteilung in die zwei Kategorien „organisations- und technologiebezogene Kennzahlen“ und „mitarbeiterbezogene Kennzahlen“ vorgenommen (Tab. 1).

Diese Kennzahleneinteilung ist aus einer Studie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) aus dem Jahr 2018 übernommen und leicht adaptiert.¹²⁶ Die Tabelle zeigt Kennzahlen, die in dem organisationsbezogenen Kontext dieser Arbeit relevant sind und untersucht werden sollen. Es werden bewusst selten konkrete Formeln erörtert. Im Mittelpunkt steht eher, welche Bedeutung die jeweiligen Kennzahlen haben.

Warum ist bei der Betrachtung von Anforderungen an die zukünftige Produktion auch die Untersuchung entscheidender Kennzahlen relevant? Generell spielen Kennzahlen eine entscheidende Rolle bei der Kontrolle und Überwachung der Produktion. Auch in Zukunft wird sich nichts daran ändern, dass durch sie ein stetiger Verbesserungsprozess vorangetrieben wird.¹²⁷ Firmen sind gezwungen die Zusammenstellung ihrer Controllinginstrumente zu überdenken, da mittlerweile andere Aspekte in den Vordergrund rücken und I4.0 Konzepte eine komplexe Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Produktion haben.¹²⁸ Unternehmen, welche auf I4.0 setzen und ihre Fabriken in „Smart Factories“ verwandeln, sind deshalb zwangsläufig zu einer Adaption ihrer betriebswirtschaftlichen Steuerung, also ihres Kennzahlensystems, gezwungen.¹²⁹

¹¹³vgl. Duschlbauer, Martin und Saffarnia (2018), S. 11.

¹¹⁴vgl. Pawellek und Schirrmann (2017), S. 121.

¹¹⁵vgl. Heyse (2018), S. 13.

¹¹⁶vgl. Stock (2013), S. 98.

¹¹⁷vgl. Lanza, Hofmann, Stricker, Biehl und Braun (2018), S. 47.

¹¹⁸Strunz (2012), S. 545.

¹¹⁹Dobrzanski und Jungkind (2018), S. 687f.

¹²⁰vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 140f.

¹²¹vgl. Hirsch-Kreinsen (2018), S. 187.

¹²²vgl. Holtgrewe, Riesenecker-Caba und Flecker (2015), S. 26 und Hirsch-Kreinsen und Weyer (2014), S. 26f.

¹²³vgl. Reischauer (2015), S. 271ff.

¹²⁴vgl. A. Berg (2018), S. 7.

¹²⁵vgl. Zwirner (2004), S. 56-59.

¹²⁶vgl. Lanza et al. (2018), S. 56.

¹²⁷vgl. Lucks (2017c), S. 286f.

¹²⁸vgl. Schnell (2018a), S. 43.

¹²⁹vgl. Kempkes, Suprano und Wömpener (2018), S. 56f.

Tabelle 1: Eigene Darstellung - Übersicht der ausgewählten Kennzahlen zur Steuerung der zukünftigen Produktion.

Organisations- und technologiebezogene Kennzahlen	Mitarbeiterbezogene Kennzahlen
- Gesamtanlageneffektivität (ÖEE)	
- Qualität: Right First Time/Fehlerrate	
- Schnelligkeit/Durchlaufzeit	
- Bestandshöhen/Reichweiten	- Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit
- Liefertreue	- Mitarbeiterengagement
- Instandhaltungskosten	- Personalproduktivität
- Logistikkosten	- Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit
- Produktionskosten	- Gesundheitsförderlichkeit und Ergonomie
- Energieverbräuche	
- Wandlungsfähigkeit	
- Produktivität/Produktionsauslastung	

Zunächst ist zur Ausführung möglicher Inhalte eines solchen zukünftigen Kennzahlensystems zu klären, was Kennzahlen überhaupt sind. Kennzahlen oder „Key Performance Indicators“ (KPIs) sind Indikatoren zur Messung einer Leistung.¹³⁰ Sie werden in der zugrunde liegenden Literatur als stark verdichtete Messgrößen definiert, die entweder als Verhältniszahlen oder als absolute Zahlen Informationen im Hinblick auf einen bestimmten zahlenmäßig erfassbaren Sachverhalt liefern.¹³¹ Ihre Funktionen liegen darin, die Organisation auf das Wesentliche zu fokussieren, Ziele zu verdeutlichen und Optimierungspotenziale zu identifizieren.¹³² Sie informieren über den Stand der Produktion.¹³³ In der Industrie 4.0 wird das Prozesscontrolling mithilfe von Kennzahlen echtzeitnah durchgeführt und dient der Erkennung von Abweichungen.¹³⁴ Zur Überprüfung der Wertentwicklung und der Effekte korrigierender Maßnahmen verlangt der Einsatz von Kennzahlen eine in beliebigen Abständen vollzogene Kontrolle.¹³⁵

Außerdem werden Kennzahlen in der I4.0 Produktion digital über Informationstechnologie (IT) überwacht und ad-hoc gesteuert.¹³⁶ Die Verbreitung von Informationen wie Zahlen, Daten und Fakten erfolgt visuell.¹³⁷ Dieses Kapitel verdeutlicht die Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Kennzahlen in der Industrie 4.0. Die nachfolgenden elf Kennzahlen sind ausgewählte Bestandteile zukünftiger organisationsorientierter Kennzahlensysteme.

3.1. Organisations- und technologiebezogene Kennzahlen

Kennzahl 1: Gesamtanlageneffektivität (OEE)

Zunächst werden die in die erste Gattung von Kennzahlen sortierten organisations- und technologiebezogenen Kennzahlen vorgestellt. Die Gesamtanlageneffektivität wird

auch als „Overall Equipment Effectiveness“ (OEE) bezeichnet.¹³⁸ Sie beschreibt Verfügbarkeit, Leistung und Qualität von Anlagen und Maschinen.¹³⁹ Der Index besteht aus den Komponenten Nutzungsgrad, Leistungsgrad und Qualitätsgrad. Diese drei Komponenten werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. In Bezug auf die Komponente Nutzungsgrad werden beispielsweise Störungen, Rüstzeiten, Einrichtzeiten und Ausfälle in der Berechnung berücksichtigt.¹⁴⁰ Der Leistungsgrad hingegen erfasst unter anderem verringerte Taktgeschwindigkeiten.¹⁴¹ Wird der Qualitätsgrad betrachtet, fallen zum Beispiel die Menge der Gutteile¹⁴² und Qualitätsverluste durch Nacharbeit und Ausschuss ins Gewicht.¹⁴³ Produktionsfehlerquote und Prozessqualität sind entscheidend.¹⁴⁴ Ergänzende Details können nachfolgender Abbildung entnommen werden (Abb. 4).

Durch die Kennzahl OEE kann beobachtet werden, wie effektiv der gegenwärtige Produktionsprozess abläuft. Es lässt sich umgehend erkennen, in welchem Prozess das größte Potenzial zur Verbesserung der Kennzahl steckt.¹⁴⁵

Kennzahl 2: Qualität - Right First Time/Fehlerrate

Diese Kennzahl beschreibt die Produktqualität und die Fertigungsprozesse in Bezug auf deren Güte und Eignung zur Erfüllung bestimmter Erfordernisse.¹⁴⁶ Dies beinhaltet sowohl Prozessfähigkeit, Prozesssicherheit, als auch das Vorhandensein von Arbeitsqualität. Eine qualitativ hochwertige Fertigung ist transparent und wahrt festgelegte Qualitätsstandards. Es existiert ein etabliertes Qualitätsbewusstsein. Unterziele dieser Kennzahl sind geringe Ausfallraten und niedrige Fehlerquoten.¹⁴⁷ Jede Form von Verschwendung, Ausschuss und Nacharbeit soll vermieden werden, da dies negative Qualitätsauswirkungen mit sich bringt. Bei einer

¹³⁰vgl. Lemmens (2017), S. 58.

¹³¹vgl. Westkämper und Decker (2006), S. 42.

¹³²vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 56.

¹³³vgl. Lanza et al. (2018), S. 23.

¹³⁴vgl. Jeske, Hille und Börkircher (2015), S. 30.

¹³⁵vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 55.

¹³⁶vgl. Lanza et al. (2018), S. 24f.

¹³⁷vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 58.

¹³⁸vgl. Strunz (2012), S. 630.

¹³⁹vgl. Bauernhansl und Dombrowski (2016), S. 34.

¹⁴⁰vgl. Kletti (2015), S. 4 und Strunz (2012), S. 630.

¹⁴¹vgl. Strunz (2012), S. 630.

¹⁴²vgl. Stief (2018), S. 88.

¹⁴³vgl. Kletti (2015), S. 4.

¹⁴⁴vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 149f.

¹⁴⁵vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 65.

¹⁴⁶vgl. Westkämper und Decker (2006), S. 17.

¹⁴⁷vgl. ebenda, S. 79.

Gesamtanlageneffektivität =	Nutzungsgrad	x	Leistungsgrad	x	Qualitätsgrad
	Anlagenausfall		Geschwindigkeitsabfall		Qualitätsmängel
	Umrüsten		Leerlaufzeiten und kurze		innerhalb des Prozesses
	Anfahren		Stoppes		

Abbildung 4: Einflussfaktoren auf die OEE nach Strunz (2012).

Quelle: Strunz (2012), S. 630.

Fokussierung auf Qualität wird die Anzahl der korrekt gefertigten Teile der Gesamtproduktion gemessen.¹⁴⁸ Im Zusammenhang mit dieser Definition steht der Produktionsqualitätsaspekt „Right First Time“.¹⁴⁹ Teile und Produkte werden „Just in Time“ geliefert und produziert.¹⁵⁰ Die „Right First Time“ Produktion liefert direkt beim ersten Mal die richtige Qualität und ist auf Anhieb fehlerlos. Diese Kennzahl dient der Beurteilung der Gesamtqualität einer Produktion.¹⁵¹

Kennzahl 3: Schnelligkeit/Durchlaufzeit

Die heutige Produktion ist von stetig geringer werdenden Durchlaufzeiten geprägt.¹⁵² Die Durchlaufzeit eines Auftrages wird als Zeitspanne von Beginn der Ausführung, bis zur finalen Auslieferung des Produktes bezeichnet. Sie setzt sich aus der Fertigungsdurchlaufzeit,¹⁵³ Bearbeitungszeit, sämtlichen Rüstzeiten und Unterbrechungen des Produktionsflusses in Form von Warte-, Liege- und Transportzeiten zusammen.¹⁵⁴ Außerdem wird die Lagerdauer vor und nach der tatsächlichen Fabrikation einbezogen.¹⁵⁵ Im Kontext von I4.0 kann bei dieser Kennzahl auch nur die voll autonom ablaufende Produktionszeit als Messgrundlage angelegt werden. Die exakte Deklaration und Errechnung der Durchlaufzeit liegt im Ermessen der Unternehmen, eine konsistente Verwendung der Kennzahl ist jedoch ausschlaggebend.¹⁵⁶ Der etwas weiter fassende Begriff der Schnelligkeit inkludiert zusätzlich zu den genannten Zeiten die „Fulfillment Time“, bei der die vollständige Auftragsbearbeitungszeit beginnend ab dem ersten Eingang im Unternehmen, bis hin zu späteren After-Sales Aktivitäten berücksichtigt wird.¹⁵⁷

Kennzahl 4: Bestandshöhen/Reichweiten

Es gibt diverse Gründe die Unternehmen dazu verleiten, mit dieser Größe die Produktion zu lenken. Das liegt unter anderem daran, dass Bestandshöhen häufige Problemursacher in der Produktion sind.¹⁵⁸ Hohe Bestände bedeuten hohe Kosten¹⁵⁹ und eine unnötige Bindung von Kapi-

tal. Das angestrebte Ziel dieser Kennzahl ist eine Bestandsreduzierung. Dies kann Auswirkungen auf die Verringerung der Durchlaufzeit mit sich bringen.¹⁶⁰ Für eine Reduzierung von Bestandsreichweiten wird Kenntnis über die notwendigen Mindestbestände der Produktionsprozesse benötigt. Die Bestandsreichweite misst die absolute Bestandshöhe in Relation zum Verbrauch. Je nach Veränderung des Verbrauches für einen Teil der Produktion wird mit der Festlegung der Bestandshöhen und Bestandsreichweiten eine entsprechende Reaktion zur Anpassung auf veränderte Umstände gegeben.¹⁶¹ Die Reichweite gibt außerdem an, für welche Dauer der aktuelle Bestand aufgrund von geplanten Absätzen ausreicht.¹⁶²

Kennzahl 5: Liefertreue

Diese Kennzahl ist in der modernen Produktion ebenfalls in Betracht zu ziehen.¹⁶³ Die auch als Lieferzuverlässigkeit bezeichnete Messgröße dient zur Ermittlung der Differenzen von geplanten und tatsächlichen Solllieferterminen. Sie berechnet sich aus dem Quotienten der Gesamtanzahl der Aufträge, bei denen der Fertigstellungstermin und Liefertermin eingehalten wurde und einem ausgewählten Betrachtungszeitraum.¹⁶⁴ Es wird der Anteil der pünktlichen Lieferungen an der Zahl der gesamten Lieferungen gemessen.¹⁶⁵ Liefertermintreue heißt, das korrekte Produkt in der erforderlichen Qualität genau zum richtigen Zeitpunkt zu liefern. Dabei ist eine zu frühe Fertigstellung und das Vorziehen von Aufträgen mit unnötigen Lagerkosten verbunden. Eine verspätete Fertigstellung und Auslieferung ist noch unvorteilhafter, da sie diverse kostenintensivere Folgen nach sich zieht.¹⁶⁶ Gruber et al. (2011) stellen diese monetären Auswirkungen mithilfe einer Bewertungsfunktion in einem Zeitverlauf dar und bilden dadurch den Unterschied zwischen zu früher und zu später Fertigstellung ab.¹⁶⁷

Kennzahl 6: Instandhaltungskosten

Instandhaltungskosten sind die gesamten Kosten für die unterschiedlichen Tätigkeiten der Instandhaltung in der Produktion.¹⁶⁸ Die übergeordnete Zielfunktion strebt eine Mini-

¹⁴⁸vgl. Dale und Lascelles (2007), S. 125 und Dale (2007), S. 354.

¹⁴⁹vgl. Huber (2013), S. 120.

¹⁵⁰vgl. Lowe, Delbridge und Oliver (1997), S. 785.

¹⁵¹vgl. Ramezani und Luckow (2019), S. 78.

¹⁵²vgl. C. M. Schlick, Heinen und Frenz (2015), S. 40 und Schlund und Pokorni (2017), S. 149.

¹⁵³vgl. Posluschny (2007), S. 61f.

¹⁵⁴vgl. Kletti (2015), S. 6 und Leyendecker und Pötters (2018), S. 65.

¹⁵⁵vgl. Posluschny (2007), S. 62.

¹⁵⁶vgl. Kempkes et al. (2018), S. 59.

¹⁵⁷vgl. H. Werner (2014), S. 68.

¹⁵⁸vgl. Kletti (2015), S. 5.

¹⁵⁹vgl. Stief (2018), S. 107.

¹⁶⁰vgl. Kletti (2015), S. 5f.

¹⁶¹vgl. Kletti und Schumacher (2014), S. 163f.

¹⁶²vgl. Gabath (2010), S. 159.

¹⁶³vgl. C. M. Schlick et al. (2015), S. 39f.

¹⁶⁴vgl. Tschandl, Brunner und Wilfinger (2014), S. 79ff.

¹⁶⁵vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 62.

¹⁶⁶vgl. Sengotta (2003), S. 249 und Gruber et al. (2011), S. 71.

¹⁶⁷vgl. Gruber et al. (2011), S. 71f.

¹⁶⁸vgl. Strunz (2012), S. 16.

mierung dieser an.¹⁶⁹ Mit der Kennzahl ist es möglich, die Entwicklung der Instandhaltung anlagenspezifisch zu tracken. Alle durch geplante und ungeplante Instandhaltung sowie durch Betriebsunterbrechungen entstehende Kosten werden addiert.¹⁷⁰ Als Beispiele für solche Kostenbelastungen sind an dieser Stelle der Einsatz von Instandhaltungsmaterialien, Werkzeugen und allen möglichen Hilfsmitteln zur Messung und Prüfung zu nennen. Zur Instandhaltung gehören zudem Präventionsmaßnahmen zur Vermeidung von Maschinenausfällen und technischen Störungen durch Wartung und Inspektion.¹⁷¹ Diese Kennzahl zur Beherrschung des zukünftigen Shopfloors ist nicht die einzige, die auf eine Verringerung von Kosten abzielt.

Kennzahlen 7 und 8: Logistikkosten und Produktionskosten

Generell wird der existierende Druck zur Deckung von Fertigungskosten durch eine hohe Automatisierung und Digitalisierung verstärkt.¹⁷² Neben den Instandhaltungskosten sind somit die Logistik- und Produktionskosten im I4.0 Kontext als Kennzahlen in Frage kommende Kostenarten.¹⁷³ Die Größe Logistikkosten nimmt Bezug auf die Wirtschaftlichkeit von logistischen Prozessen. Güter sollen ohne Qualitätsverlust, in einer definierten Menge, zur korrekten Zeit, an einem bestimmten Ort zur Verfügung stehen. Die Messung der dabei auftretenden Kostenfaktoren ist Aufgabe dieser Kennzahl.¹⁷⁴

Die Kennzahl Produktionskosten besitzt in vielen Fällen höchste Priorität.¹⁷⁵ Eine Senkung der Produktionskosten ist auch in Zukunft eine Möglichkeit zur Steuerung der Produktion, da sich diese Tatsache trotz diverser Neuerungen im Produktionsumfeld nicht ändern wird.¹⁷⁶ Im Detail werden bei der Analyse von in der Produktion anfallenden Kosten unter anderem Preisabweichungen und Mengenabweichungen festgehalten. Exemplarisch ist die Betrachtung von Mehr- oder Minderkosten aufgrund veränderter Einsatzmengen, Fertigungszeiten oder Stücklisten.¹⁷⁷

Kennzahl 9: Energieverbräuche

Aufgrund von Industrie 4.0 tritt diese Kennzahl im Zusammenhang mit der Einsparung von Energiekosten weiter in den Vordergrund.¹⁷⁸ Eine Möglichkeit ist es, die Produktion hinsichtlich ihres Energieaufwandes und -verbrauches zu optimieren, da hier ein großes Performancesteigerungspotenzial vorhanden ist.¹⁷⁹ Bei der Steuerung dieser Kennzahl sind Ressourcenverbräuche und Energiethemen betreffende Emissionen von Belang.¹⁸⁰ Zu den Energiekosten in der Produktion zählen neben vielen weiteren Aspekten auch die

Stromverbräuche für den Betrieb von Anlagen und Maschinen, Heiz- und Kühlkosten der Fertigungsflächen¹⁸¹ sowie Kosten für Gas und Wasser. Die Energieverbräuche werden durch langzeitiges Erfassen des Bedarfs dieser verschiedenen Faktoren ermittelt.¹⁸²

Kennzahl 10: Wandlungsfähigkeit

Wandlungsfähigkeit ist eine qualitative Eigenschaft der Fabrik, auf jede Art von Veränderung oder Schwankung in der Nachfrage reagieren zu können (siehe Teilkapitel zu Anforderungen an die zukünftige Produktion 4.3.3).¹⁸³ Vorerst wird nur die Funktion von Wandlungsfähigkeit in Kennzahlensystemen zur Produktionssteuerung betont. Um den Reifegrad einer praktizierten Wandlungsfähigkeit zu bestimmen und zu bewerten, ist die Nutzung entsprechender Kennzahlen unabdingbar.¹⁸⁴ Dadurch findet eine Bewertung hinsichtlich des Nutzens wandlungsfähiger Systeme und insbesondere der Kosten ungenügender Wandlungsfähigkeit statt. Es können Stellhebel identifiziert werden.¹⁸⁵

Mithilfe dieser Kennzahl wird außerdem festgestellt, an welcher Position zwischen idealer und maximal möglicher Wandlungsfähigkeit die jeweilige anforderungsgerechte Wandlungsfähigkeit erreicht ist und wie weit das zu prüfende Produktionssystem von diesem Zustand entfernt liegt.¹⁸⁶ Eine genaue Beschreibung der zur Wandlungsfähigkeit gehörigen Teilkennzahlen, kann der Veröffentlichung des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2020) „Benchmark Wandlungsfähigkeit“ entnommen werden. Jede Teilkennziffer der Wandlungsfähigkeit bezieht sich dort auf einen der zwei übergeordneten Bereiche „Einsatzintensität und Nutzung von wichtigen Technologien“ oder „organisatorische Konzepte zur Verbesserung der Output-Performance“.¹⁸⁷

Kennzahl 11: Produktivität/Produktionsauslastung

Die letzte Kennzahl in dieser Kategorie ist die Produktivität.¹⁸⁸ Sie gibt Auskunft darüber, wie gut die zum Einsatz kommenden Produktionsfaktoren im Unternehmen kombiniert und genutzt werden.¹⁸⁹ Die Produktivität wird durch das Verhältnis von Output zu Input definiert.¹⁹⁰ Als Größe für den Output kann die Produktionsleistung herangezogen werden.¹⁹¹ Der Input wird meist über den Maschineneinsatz oder das verwendete Material angegeben.¹⁹² Ferner wird die Produktivität über verschiedene Teilproduktivitäten konstruiert. Im Kontext dieser Arbeit wird die Kennzahl Produktivität als Zusammenschluss von Material- und Anlagenproduktivität festgelegt. Die Fokussierung der Arbeit auf den

¹⁶⁹vgl. Strunz (2012), S. 26.

¹⁷⁰vgl. Leidinger (2017), S. 119f.

¹⁷¹vgl. Strunz (2012), S. 22.

¹⁷²vgl. Gottmann (2016), S. 55f.

¹⁷³vgl. Stief (2018), S. 107.

¹⁷⁴vgl. Reichmann, Kießler und Baumöl (2017), S. 415f.

¹⁷⁵vgl. Schmitt (2012), S. 123.

¹⁷⁶vgl. ebenda, S. 127.

¹⁷⁷vgl. Schnell (2018b), S. 94.

¹⁷⁸vgl. Stief (2018), S. 107.

¹⁷⁹vgl. Hohberger und Damlachi (2017), S. 160.

¹⁸⁰vgl. Roth (2018), S. 134.

¹⁸¹vgl. Joos (2012), S. 76.

¹⁸²vgl. Westkämper und Decker (2006), S. 96.

¹⁸³vgl. Steegmüller und Zürn (2017), S. 28f.

¹⁸⁴vgl. Pachow, Heins, von Bredow, Krebs und Wörn (2008), S. 98.

¹⁸⁵vgl. Nyhuis (2008), S. 142.

¹⁸⁶vgl. Berkholz (2008), S. 147.

¹⁸⁷vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2020), S. 1ff., URL siehe Literaturverzeichnis.

¹⁸⁸vgl. Schmitt (2012), S. 123.

¹⁸⁹vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 61.

¹⁹⁰vgl. Schmitt (2012), S. 128.

¹⁹¹vgl. Schnell (2018b), S. 96.

¹⁹²vgl. Schnell (2018b), S. 39. und Schnell (2012a), S. 46.

Menschen und die Organisation hat zur Folge, dass die Personalproduktivität als mitarbeiterbezogene Kennzahl gelistet werden muss. Die Materialproduktivität wird beispielsweise über die Materialausschussquote gemessen, während dies bei der Anlagenproduktivität über den Anlagennutzungsgrad geschieht.¹⁹³

Weiterhin ist die Produktionsauslastung ein Element der Kennzahl Produktivität.¹⁹⁴ Sie wird zum Beispiel über die Aufführung von verfügbarer Kapazität und der tatsächlich genutzten Kapazität determiniert.¹⁹⁵ Für den Fall, dass die Produktivität sehr niedrig ist, kann durch die Mitarbeiter ein Anreiz gegeben werden, die aktuelle Produktionssituation verbessern zu müssen.¹⁹⁶ Welche Kontrollinstrumente zur Überprüfung und Steuerung der Mitarbeiter infrage kommen, wird im nächsten Teilkapitel behandelt.

3.2. Mitarbeiterbezogene Kennzahlen

Mitarbeiter sind grundsätzlich ein erheblicher Potenzialfaktor in Unternehmen, weshalb bei der Produktionssteuerung auch personalbezogene Kennzahlen zu beachten sind.¹⁹⁷ Sie bilden als weiche Faktoren die zweite Gruppe in dieser Kennzahlensammlung.

Kennzahl 12: Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit

Bei diesem Indikator ist nicht nur die Zufriedenheit des Personals ausschlaggebend, sondern auch dessen Einsatzbereitschaft und Motivation. Diese Faktoren werden über Einstellungen und Verhaltensweisen der Mitarbeiter abgebildet.¹⁹⁸ Ansatzpunkte zur Bestimmung der Zufriedenheit von Mitarbeitern sind beispielsweise Fehlzeiten und die Fluktuation des Personals.¹⁹⁹ Eine gute Kommunikation, Vertrauen und die Einbeziehung von Mitarbeitern haben positive Effekte, die bei der Nutzung dieser Kennzahl einberechnet werden sollten.²⁰⁰ Besteht eine hohe Zufriedenheit, ist eine entsprechend hohe Motivation für die Aufgaben in der Produktion zu erwarten.

Über die Erfassung dieser Kennzahl wird die aktuelle Situation und Stimmung der Mitarbeiter aufgenommen.²⁰¹ Eine grundlegende Aufnahme und Messung kann anhand der Verbesserungsvorschlagsrate erfolgen.²⁰² Werden Entscheidungsbefugnisse, Eigenverantwortung sowie interessante Arbeitsaufgaben eingeräumt, verursacht dies ebenfalls motivatorische Ansporn Effekte.²⁰³ All diese Aspekte sollen mit der Kennzahl Mitarbeiterzufriedenheit und Motivation erfasst werden. Mitarbeiterengagement ist eine Folge von Zufriedenheit, benötigt als Grundlage ein hohes Maß an Moti-

vation und ist für die Aufnahme in ein menschenbezogenes Kennzahlensystem ebenfalls geeignet.²⁰⁴

Kennzahl 13: Mitarbeiterengagement

Im Vergleich zu der reinen Zufriedenheit und Motivation hat Engagement einen deutlich aktiveren Charakter. Engagement ist durch einen intensiven persönlichen Einsatz, Willen und ein aktives Bemühen, einen wertvollen Beitrag leisten zu wollen, registrierbar.²⁰⁵ Es resultiert die Bereitschaft, weit über normale Arbeitsanforderungen hinauszugehen²⁰⁶ und einiges an persönlicher Energie in die Arbeit zu investieren.²⁰⁷

Als übergreifende Kennzahl ist das Mitarbeiterengagement mithilfe von Teilkennzahlen messbar. Ein einfaches Zeichen für Engagement ist die Anwesenheit der Mitarbeiter,²⁰⁸ während die Zeit, die in Schulungen verbracht wird ein stärkeres Zeichen für Engagement setzt.²⁰⁹ Die verhältnismäßig häufige Leistung von Überstunden ist in gleichem Maße ein starkes Indiz für Engagement.²¹⁰ Ergänzende Punkte, die einen Einfluss auf das Engagement und die Performance haben können, sind der Arbeitsplatz, das Maß der Unterstützung im Team, der Führungsstil und die Kultur der Organisation.²¹¹ Bei vorhandenem Engagement ist die Arbeitsqualität signifikant höher.²¹²

Kennzahl 14: Personalproduktivität

Die Personalproduktivität als menschenbezogener Teil der Gesamtproduktivität ist eine weitere Größe zur Steuerung und Optimierung der „Smart Factory“.²¹³ Eine Methode zur Beurteilung der Personalproduktivität ist es, die Produktionsleistung ins Verhältnis zu der Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter zu setzen.²¹⁴ Im Detail geschieht dies bei dem Fertigungspersonal über das Verhältnis der Produktivzeit zu der Anwesenheitszeit.²¹⁵ Die übrigen, indirekt an der Fertigung beteiligten Mitarbeiter werden ebenfalls betrachtet. Bei der Personalproduktivität sind Verlustquellen wie vergebene Arbeitszeit durch Warten und Suchen hinderlich, sie verringern den resultierenden Wert.²¹⁶

Diese Kennzahl wird zu großen Teilen zur Bestimmung der Arbeitsfähigkeit und Arbeitswilligkeit der Mitarbeiter herangezogen.²¹⁷ Im Rahmen von Automatisierung und I4.0 Anwendungen ist eine Kostenreduzierung aufgrund von Zeitersparnis und Aufwandsreduktion bei Mitarbeiteraufgaben durchaus realisierbar.²¹⁸ Dies wirkt sich auch auf die Personalproduktivität aus, denn den Mitarbeitern bleibt

¹⁹³vgl. Schnell (2012a), S. 60.

¹⁹⁴vgl. Lemmens (2017), S. 58 und Schnell (2018b), S. 89.

¹⁹⁵vgl. Schnell (2018b), S. 37f.

¹⁹⁶vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 61.

¹⁹⁷vgl. Gottmann (2016), S. 56.

¹⁹⁸vgl. Weber (2006), S. 6.

¹⁹⁹vgl. Gottmann (2016), S. 59.

²⁰⁰vgl. ebenda, S. 57f.

²⁰¹vgl. Horzella (2010), S. 371.

²⁰²vgl. Schnell (2018b), S. 89.

²⁰³vgl. Laufer (2013), S. 44.

²⁰⁴vgl. Christian, Garza und Slaughter (2011), S. 95f.

²⁰⁵vgl. Kahn (1990), S. 700.

²⁰⁶vgl. ebenda, S. 718f.

²⁰⁷vgl. ebenda, S. 714f.

²⁰⁸vgl. Gallup Organization (2017), S. 39.

²⁰⁹vgl. ebenda, S.178f.

²¹⁰vgl. Schnell (2018b), S. 89.

²¹¹vgl. Christian et al. (2011), S. 96f.

²¹²vgl. Gallup Organization (2017), S. 39f.

²¹³vgl. Sinsel (2020), S. 135.

²¹⁴vgl. Schnell (2018b), S. 97.

²¹⁵vgl. Schnell (2012a), S. 60.

²¹⁶vgl. Sinsel (2020), S. 135f.

²¹⁷vgl. Schnell (2012b), S. 60.

²¹⁸vgl. Stief (2018), S. 85.

nun mehr Zeit für andere, wichtigere Aufgaben, die einen maßgeblicheren Einfluss besitzen. Es benötigt folglich eine Konzentration auf die richtigen Aspekte, um diese Kennzahl hochzuschrauben.²¹⁹

Kennzahl 15: Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz

Es ist schwierig die Arbeitssicherheit und den Arbeitsschutz in konkreten Werten auszudrücken. Deswegen werden Hilfsgrößen verwendet.²²⁰ Bei der Kennzahlberechnung fließen Arbeitsunfälle inklusive aller Wegunfälle,²²¹ Unfälle mit Ausfallzeiten und Unfälle mit Todesfolge ein.²²² Andererseits wird zur Bestimmung die Gesamtheit der Unfallverhütungsmaßnahmen verwendet.²²³ Grundsätzlich gehören zum Arbeitsschutz und zur Arbeitssicherheit auch die darauf ausgelegte Gestaltung der Arbeitsstätten, Arbeitsumgebungen und Arbeitsmittel. Mögliche Gefahrenstellen werden systematisch so soweit es geht vom Menschen entfernt, wodurch dieser weitestgehend geschützt ist und sicher arbeiten kann.²²⁴ Bei der Messung des Arbeitsschutzes und seiner Qualität werden unter anderem die Präventionsmaßnahmen betrachtet.²²⁵

Kennzahl 16: Gesundheitsförderlichkeit und Ergonomie

Die letzte untersuchte Kennzahl zur Steuerung der Produktion blickt auf die ergonomischen Bedingungen²²⁶ sowie auf die gesundheitlichen Beanspruchungen in der Produktion.²²⁷ Als Bestandteil des Arbeitsschutzes konzentriert sich die Gesundheitsförderlichkeit explizit auf Gesundheitsgefahren und eine humane Arbeitsgestaltung.²²⁸ Ergonomie gilt als Ausmaß dafür, inwiefern die Arbeitsumgebung korrekte Bewegungen und Haltungen ermöglicht.²²⁹

Insgesamt erfolgt eine Betrachtung direkter Belastungen und der Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit sowie Persönlichkeitsförderlichkeit bei Fertigungsaufgaben.²³⁰ Ein konkretes Beispiel für den Gesundheitsschutz ist die geringe Verwendung von Schad- und Gefahrenstoffen.²³¹ Weiterhin spielen bei der Betrachtung und Messung dieses Faktors Lärmbelastungen, ein schlechtes Raumklima, ein hohes Stresslevel, zusätzliche Vibrationen und Erschütterungen sowie eine schlechte Beleuchtung eine große Rolle.²³² Die gesundheitsfördernde Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation dient der Erhaltung der langfristigen Leistungsfähigkeit.²³³ Es sind nicht nur potenzielle Schädigungen der physischen Gesundheit zu vermeiden.²³⁴ Bei der

Benutzung dieser Kennzahl darf der Schutz vor psychischen Folgeschäden und eine nachhaltige Betreuung der Gesundheit nicht außer Acht gelassen werden.²³⁵ Zusammenfassend misst diese Kennzahl, wie stark gesundheitsförderliche und ergonomische Aspekte in der Produktion ausgeprägt sind.

Schließlich geht es in einer Industrie 4.0 Fabrik darum, die zentralsten KPIs der Fertigung zu verbessern.²³⁶ Unternehmen entwickeln hierzu mit den für Sie relevanten Kennzahlen ein Steuerungssystem und strategisches Instrument, damit die Produktion kontinuierlich optimiert werden kann.²³⁷ Die vorgestellten Kennzahlen sind vor allem für eine auf organisationstechnische Merkmale achtende Produktionssteuerung relevant und müssen im Zusammenhang mit den Anforderungen an die I4.0 Produktion betrachtet werden.

Es ist eine Anforderung an die zukünftige Produktion, dass Unternehmen ihre Kennzahlensysteme individuell und richtig zusammenstellen, um damit eingesetzte I4.0 Anwendungen digital zu steuern. Schlussfolgernd sollten Kennzahlen in der zukünftigen I4.0 Produktion einen umfassenden Einsatz finden,²³⁸ denn sie dienen dem Führen mit konkreten Zahlen, Fakten und Daten und schaffen Transparenz auf dem Shopfloor.²³⁹ Im besten Fall werden dabei, wie in diesem Kapitel dargelegt, einige Kennzahlen verwendet, die das Personal betreffen und miteinschließen. Dieser ersten Anforderung an die Produktion der Zukunft folgen in Kapitel (4.) 14 überwiegend den Menschen und die Organisation betreffende Anforderungen. Am Anschluss erfolgt durch die Auswertung der quantitativen Umfrage in Kapitel (5.) eine konkludierende Untersuchung der Wichtigkeit der Kennzahlen und Anforderungen.

4. Organisationale Anforderungen an die Produktion der Zukunft

Moderne Produktionen stellen neue Anforderungen an die Organisation, durch die dem Anspruch zur Erbringung einer höheren Leistung besser Rechnung getragen werden soll.²⁴⁰ Ein wesentliches Forschungsziel dieser Arbeit ist es, die essenziellsten organisationalen Anforderungen an die zukünftige Produktion aufzuzeigen. Die ermittelten Anforderungen sind nicht immer eindeutig differenzierbar, da sie sich teilweise überschneiden und bedingen. Wie bereits an anderen Stellen, dient hier die Einteilung in die Kategorien „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ dazu, eine grundlegende, sinnvolle Zuordnung und Sortierung vorzunehmen. Die Wahl dieser drei Dimensionen auf dem Shopfloor Level wird als sinnvoll erachtet.²⁴¹ Alle drei Bereiche sind wesent-

²¹⁹vgl. Schnell (2012a), S. 60f.

²²⁰vgl. Sengotta (2003), S. 247.

²²¹vgl. C. Schlick, Bruder und Luczak (2018), S. 392.

²²²vgl. International Association of Oil & Gas Producers (2014), S. 1.

²²³vgl. C. Schlick et al. (2018), S. 386.

²²⁴vgl. ebenda, S. 398.

²²⁵vgl. Bieback und Oppolzer (1999), S. 11.

²²⁶vgl. Sengotta (2003), S. 247.

²²⁷vgl. Schaper (2019a), S. 415.

²²⁸vgl. C. Schlick et al. (2018), S. 386.

²²⁹vgl. Schaper (2019b), S. 403.

²³⁰vgl. ebenda, S. 403f. zitiert nach: Hacker und Richter (1984).

²³¹vgl. C. Schlick et al. (2018), S. 399.

²³²vgl. Bimos KG (2020a), URL siehe Literaturverzeichnis.

²³³vgl. Schaper (2019a), S. 415.

²³⁴vgl. Sanders und Lampe (2011), S. 209f.

²³⁵vgl. Schaper (2019a), S. 421.

²³⁶vgl. o.V (2019), S. 35.

²³⁷vgl. Kempkes et al. (2018), S. 60.

²³⁸vgl. Ungermann et al. (2019), S. 25f.

²³⁹vgl. Leyendecker und Pötters (2018), S. 11.

²⁴⁰vgl. Adami und Houben (2008), S. 84f.

²⁴¹vgl. Hertle (2018), S. 49 - 53.

liche Teile der industriellen Arbeit und müssen deshalb betrachtet werden.²⁴²

Es werden Anforderungen behandelt, die laut der zugrundeliegenden Literatur signifikant für die Produktion der Zukunft sind. Die in diesem Kapitel theoretisch erklärten organisationalen Anforderungen sind mögliche Konzepte zur Organisationsgestaltung einer zukünftigen industriellen Produktion. Die Anforderungen aus der Kategorie „Technologie“ betreffen neben der Technik auch die Organisation maßgeblich, weshalb sie in dieser Arbeit als organisationale Anforderungen aufgeführt werden. Eine hauptsächliche zu diskutierende und beantwortende Fragestellung ist, welche Shopfloor Organisationsmethoden und Instrumente sich mit dem Blick auf die Faktoren Mensch und Technologie in Verknüpfung mit organisationstechnischen Aspekten für die Produktion ergeben.²⁴³ Dies soll im Folgenden systematisch dargelegt werden. Es folgt zunächst eine Betrachtung der zur Kategorie „Organisation“ zugeordneten Anforderungen.

4.1. Anforderungen der Kategorie „Organisation“

4.1.1. Verbesserte Kommunikation und Abstimmung

Eine Art der Organisationsgestaltung der Produktion ist die Fokussierung auf eine verbesserte Kommunikation und Abstimmung. Die Einführung und Nutzung von Industrie 4.0 kann zu einer Verbesserung der Kommunikation auf dem Shopfloor führen.²⁴⁴ In den operativen Bereichen wird Kommunikation zur Abklärung von Zuständigkeiten und für eine betriebssichere Fertigung als ausgesprochen wichtig eingeschätzt.²⁴⁵

Grundsätzlich ist die Kommunikation und Abstimmung in der Produktion keine reine Aufgabe der Managementebene mehr.²⁴⁶ Der Bedarf an Kommunikation, Kooperation und Abstimmung in der Produktion nimmt im Kontext von I4.0 weiterhin zu.²⁴⁷ Um diesem Bedarf gerecht zu werden sind die physischen und organisatorischen Gegebenheiten der Produktion entsprechend auszurichten. Die Fähigkeiten der Mitarbeiter sind entscheidend für eine effiziente Kommunikation und Kooperation in der Produktion, die zusätzlich durch diverse IT-Systeme ermöglicht und unterstützt wird.²⁴⁸ Vor allem die Kommunikationsfähigkeit des Personals ist bei der Umsetzung dieser Anforderung eine unverzichtbare Eigenschaft.²⁴⁹ Betrachtet man näher, wie die Kommunikation ermöglicht wird, lässt sich die Nutzung von mobilen Kommunikationstechniken identifizieren.²⁵⁰ Produktionsarbeiter sind über I4.0 Technologien untereinander vernetzt.²⁵¹ Der Einsatz von Wearables ist eine von vielen Möglichkeiten hierfür.²⁵² Das zukünftige Produktionspersonal kann durch

eine solche vernetzte Steuerung und Kommunikation von außerhalb der Fabrik arbeiten und ist flexibel einsetzbar.²⁵³

Ein zentrales Ziel einer verbesserten Kommunikation ist es, Zeiteinsparungen durch unmittelbar verfügbare Informationen zu induzieren. Treten Probleme auf, können Informationen mithilfe von I4.0 Technologien zur sofortigen Problemaufklärung in Form von Bildausschnitten und Erläuterungen schnell an zuständige Stellen und Standorte weitergeleitet werden. Durch diese kommunikative Vernetzung ist eine Realisierung verschiedener organisatorischer Arbeitstechniken in der Produktion möglich.²⁵⁴ Neben der verbesserten produktionsinternen Kommunikation sind in diese Anforderung externe Abstimmungen und Kommunikationsaufwände mit Lieferanten und Kunden inbegriffen,²⁵⁵ auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird.

Die Arbeitsorganisation der zukünftigen Produktion ist nicht nur von einer erhöhten Interaktion und Kommunikation unter dem Personal geprägt.²⁵⁶ Der Mensch kommuniziert in verschiedenen Formen mit Maschinen und Objekten der Produktion.²⁵⁷ Anlagen, Geräte und Systeme interagieren und verarbeiten direkt Echtzeitdaten. So werden aktuelle Zustände der Produktion kommuniziert. Diese technische Kommunikation trägt verknüpfend dazu bei, in der übergreifenden Organisation eine bessere Kommunikation einzurichten.²⁵⁸ Durch Technik werden bessere Kommunikationsmöglichkeiten geschaffen, von denen der Mensch wiederum profitiert.²⁵⁹

Die Existenz einer einwandfreien Kommunikation ist prägend für eine zukünftige Arbeitskultur,²⁶⁰ die nun auch in der Produktion Einzug hält.²⁶¹ Die Bedeutung von Zusammenarbeit und Kommunikation im Team wächst kontinuierlich.²⁶² Durch eine effiziente, schnelle und lösungsorientierte Kommunikation sowie eine über Grenzen reichende, direkte Interaktion der Mitarbeiter wird die unmittelbare Arbeitsausführung assistiert.²⁶³ Eine weitere Komponente einer ausgefeilten Kommunikation in der Produktion ist die Verbesserung sämtlicher Kommunikationswege. Diese sollten kurz und transparent sein. Sie werden durch das Produktionslayout bestimmt.²⁶⁴ Eine kurze Kommunikationsdistanz trägt dazu bei, dass Mitarbeiter besser informiert werden.²⁶⁵

Im Spektrum dieser Anforderung steht die Schaffung einer Organisationsstruktur, die eine direkte, zwischenmenschliche Kommunikation sicherstellt.²⁶⁶ Mit Blick auf die Arbeitsorganisation der Produktion trägt eine gute Kommuni-

²⁴²vgl. E. Hartmann (2015), S. 11.

²⁴³vgl. Schultz-Wild und Lutz (1997), S. 190.

²⁴⁴vgl. Stich, Gudergan und Senderek (2018), S. 164.

²⁴⁵vgl. Böhle und Bolte (2002), S. 97ff.

²⁴⁶vgl. ebenda, S. 246.

²⁴⁷vgl. Wischmann und Hartmann (2018a), S. 22.

²⁴⁸vgl. Will-Zocholl (2011), S. 174f.

²⁴⁹vgl. Aßmann (2017), S. 329.

²⁵⁰vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 141.

²⁵¹vgl. Spath et al. (2013), S. 57.

²⁵²vgl. Mättig, Jost und Kirks (2018), S. 70f.

²⁵³vgl. Jeske et al. (2015), S. 29.

²⁵⁴vgl. Spath et al. (2013), S. 57ff.

²⁵⁵vgl. Rost, Stölzel und Kozica (2016), S. 11f.

²⁵⁶vgl. Matuschek (2017), S. 88.

²⁵⁷vgl. Rost et al. (2016), S. 11f.

²⁵⁸vgl. Höpner (2019), S. 26.

²⁵⁹vgl. Matuschek (2017), S. 88.

²⁶⁰vgl. Sass (2019), S. 89.

²⁶¹vgl. Hofert (2018), S. 12.

²⁶²vgl. Nowotny (2016), S. 74f.

²⁶³vgl. Mättig et al. (2018), S. 70f.

²⁶⁴vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 268.

²⁶⁵vgl. Defranceski (2017), S. 149.

²⁶⁶vgl. Zwirner (2004), S. 60f.

kation wesentlich dazu bei, dynamisch zu sein und auf Ungeplantes kurzfristig reagieren zu können.²⁶⁷ Neben einer verbesserten Kommunikation und Abstimmung ist die Innovationsfähigkeit der Produktion und der Produktionsmitarbeiter eine zu untersuchende organisationale Anforderung.

4.1.2. Innovationsfähigkeit

Eine innovationsfähige Produktion benötigt eine innovationsoffene Organisation und verschiedene Rahmenbedingungen als Grundlage. Beispielsweise müssen die Ablauforganisation und die Herstellungsprozesse für Innovationen empfänglich sein.²⁶⁸ Bei dieser Anforderung besteht die Aufgabe darin, die Produktionsorganisation so auszurichten, dass dem herrschenden Innovations- und Kreativitätsanspruch Rechnung getragen wird.²⁶⁹ Im Anschluss soll geklärt werden, welche Voraussetzungen im Detail für die Schaffung einer Innovationsfähigkeit in der Produktion erforderlich sind.

Zum einen bezieht sich die Innovationsfähigkeit in der Produktion auf die Innovation von Produkten und zum anderen auf die Innovation von Prozessen,²⁷⁰ Verfahren,²⁷¹ und Technologien. Es geht darum, Verbesserungen an existierenden Produkten zu erzielen und die Produktion und deren Prozesse systematisch zu hinterfragen und zu optimieren. In einer innovationsfähigen Produktion kommen wirkungsvolle Verbesserungen zustande und Mitarbeiter generieren Änderungsideen, die sie einbringen.²⁷² Sie werden direkt an Veränderungsprozessen beteiligt.²⁷³ Die umfassende Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Planern sowie den Facharbeitern in der Produktion ist essenziell. Die Mitarbeiter in der Produktion bieten mit kontinuierlichen Innovationsideen Unterstützung bei der fortlaufenden Weiterentwicklung an. Substanziell dafür sind bestimmte Erfahrungen, Fähigkeiten und Eigenschaften.²⁷⁴

Demzufolge ist es für eine Innovationsfähigkeit in der Produktion notwendig, die Innovationspotentiale der Mitarbeiter zu erschließen.²⁷⁵ Der Fabrikarbeiter der Zukunft benötigt innovationsförderliche, persönliche und fachliche Kompetenzen.²⁷⁶ Er hat die Fähigkeit zum Verständnis digitalisierter, automatisierter Prozesse und ist zu einer Problemanalyse und zu einer frühen Erkennung von Problemsituationen in der Lage.²⁷⁷ Will die Produktion die Fähigkeit zur Innovation besitzen, ist eine gute Ausbildung der Mitarbeiter bezüglich Industrie 4.0 und Digitalisierung zwingend erforderlich.²⁷⁸ Die Anforderung der Innovationsfähigkeit hängt

somit maßgeblich mit der Anforderung der konsequenten Mitarbeiterqualifikation zusammen (siehe Kapitel 4.2.1).

Ein weiterer Baustein einer innovationsfähigen Produktion ist das systematische Lernen während der Arbeit und am Arbeitsplatz. Der Sinn dahinter ist es, die Bereitschaft zur Beteiligung an Innovationsprozessen in der Produktion zu intensivieren.²⁷⁹ Auch die Förderung von Motivation und eine gezielte Personalentwicklung sind Wege zur Erhöhung dieser Bereitschaft, so dass das Produktionspersonal 4.0 eine konstruktive Mitgestaltungsrolle einnimmt.²⁸⁰ Zusätzlich ist eine lernförderliche Arbeitsorganisation unerlässlich, damit die Produktion und die Mitarbeiter innovationsfähig sind.²⁸¹ Wenn alle sich bietenden Produktionsoptimierungspotenziale ausgeschöpft werden sollen, partizipieren alle Akteure der innovationsfähigen Produktion an Verbesserungen und Innovationshandlungen.²⁸² Zum Beispiel helfen sie dabei, Bearbeitungsverfahren zu perfektionieren. Die erhöhte Lernfähigkeit des Personals steigert die Wahrscheinlichkeit, dass Innovationen ausgedacht und im Anschluss umgesetzt werden können.²⁸³

Schlussendlich ist für das Erreichen einer Innovationsfähigkeit in der Produktion die Gestaltung der I4.0 Umgebung wesentlich. Diese muss so ausgestaltet sein, dass innovationsfähige Arbeitsumgebungen mit entsprechender Arbeitatmosphäre vorhanden sind, in denen Menschen die Entfaltung von Innovationsprozessen erleichtert wird. Zudem muss es möglich sein, diese Prozesse grenzüberschreitend an die richtigen Stellen weiterzugegeben.²⁸⁴ Weiterhin besitzt die innovationsfähige Produktion eine organisatorische Innovationskompetenz. Das bedeutet, dass Einheiten und Personen Rechte zur eigenständigen Umsetzung von Verbesserungen ohne Abstimmung mit der Produktionsleitung zugestanden werden.²⁸⁵ Laut der zugrundeliegenden Literatur ist die Innovationsfähigkeit, genauso wie die moderne Führung, eine wesentliche organisationale Anforderung an die zukünftige Produktion.

4.1.3. Moderne Führung

Eine mehrwertstiftende Organisation mit flachen Hierarchien wird seit schon seit Drucker (1988) für vorstellbar gehalten.²⁸⁶ Es stellt sich die Frage, ob ein solches organisatorisches Konzept in der Produktion funktioniert und den nächsten Weiterentwicklungsschritt der Produktion begleitet. Die Etablierung und Verwendung einer modernen Führung ist deshalb eine in dieser Arbeit zu untersuchende organisatorische Anforderung an die Produktion der Zukunft.

Industrie 4.0 trägt zu einem Dezentralisierungsschub und einem Abbau von Hierarchie in der Organisation bei.²⁸⁷ Der

²⁶⁷ vgl. Böhle und Bolte (2002), S. 43.

²⁶⁸ vgl. Gausemeier (2007), S. 47.

²⁶⁹ vgl. Zwirner (2004), S. 59.

²⁷⁰ vgl. F. Hartmann (2017), S. 27.

²⁷¹ vgl. Gausemeier (2007), 47.

²⁷² vgl. MM MaschinenMarkt (2006), URL siehe Literaturverzeichnis.

²⁷³ vgl. Soder (2017), S. 13.

²⁷⁴ vgl. Schulze (2000), S. 120f.

²⁷⁵ vgl. Gronau, Ullrich und Vladova (2015), S. 126.

²⁷⁶ vgl. ebenda, S. 137f.

²⁷⁷ vgl. Spath et al. (2013), S. 20f.

²⁷⁸ vgl. Pfeiffer (2016), S. 40f.

²⁷⁹ vgl. Stich et al. (2018), S. 164.

²⁸⁰ vgl. Buhr (2015), S. 20f.

²⁸¹ vgl. E. Hartmann (2015), S. 17.

²⁸² vgl. MM MaschinenMarkt (2006), URL siehe Literaturverzeichnis.

²⁸³ vgl. Wischmann und Hartmann (2018b), S. 2.

²⁸⁴ vgl. Pfeiffer und Suphan (2018), S. 293f.

²⁸⁵ vgl. MM MaschinenMarkt (2006), URL siehe Literaturverzeichnis.

²⁸⁶ vgl. Drucker (1988), S. 6ff.

²⁸⁷ vgl. Hirsch-Kreinsen und Weyer (2014), S. 21.

Begriff der „New Work“ beschreibt diese grundsätzliche Veränderung der Arbeitswelt.²⁸⁸ Allerdings wird er bisher selten mit der Produktion in Verbindung gebracht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Produktion ebenfalls von einer modifizierten Arbeitsstrukturierung profitiert. Inhalte des Konzeptes der „New Work“ sind eine selbstbestimmte Arbeit und eine motivierte, selbstlose Community. Der klassische, alles bestimmende Chef wird substituiert.²⁸⁹ In der modern geführten Produktion ist trotz flacher Hierarchien eine eindeutige Zugehörigkeit existent. In diesem organisatorischen Modell stehen Vernetzung und Kooperation zunehmend im Fokus.²⁹⁰

Die modernen Führungskräfte evolvieren dazu, eher Coach als Entscheider zu sein und Aufgaben wie das Fördern von Teamarbeit und die Stärkung der Gemeinschaft treten in den Vordergrund.²⁹¹ Menschen sollen zusammengeführt werden, um einen regen Austausch unter Teammitgliedern voranzutreiben.²⁹² In Ergänzung dazu ist es eine moderne Führungsaufgabe die Grenzen in Teams deutlich zu machen und Freiheiten der Mitarbeiter zu bestimmen.²⁹³ Führungskräfte müssen trotz ihres geringeren Führungsumfangs stets als Orientierungspfeiler dienen.²⁹⁴ Sie müssen den Produktionsbeschäftigten mehr Vertrauen entgegenbringen und sich von der Vorstellung lösen, dass diese stets präsent sind (siehe Kapitel 4.2.2).²⁹⁵

In dieser Organisationsform ist die Führung generell hochgradig arbeitsteilig.²⁹⁶ Das Aufgabenspektrum der menschlichen Führungskraft verkleinert und verändert sich durch die konsequente Delegation von Entscheidungen auf untere Ebenen. Es herrscht eine geteilte Führung mit aufgelockerten Strukturen.²⁹⁷ Aufgabe des „Chefs 4.0“ ist es sicherzustellen, dass seine Mitarbeiter zu einer Selbstführung fähig sind, sodass diese nur Nuancen an Führung benötigen.²⁹⁸ In einem Umfeld mit moderner Führung entstehen situationsbezogene Hierarchien und weitere Herausforderungen, wie beispielsweise Verantwortung für die aktuelle Organisation zu tragen und Rückmeldungen zu empfangen und zu geben. Diese fordernden Aspekte müssen von der Gemeinschaft gelöst werden, da es keinen allwissenden, eine Richtung vorgebenden Chef in übergeordneter Position mehr gibt.²⁹⁹ Mitarbeiter führen rotierend oder werden kurzzeitig in eine Führungsposition gewählt.³⁰⁰ Die moderne Führung besitzt das Ziel, je nach Situation und Anspruch angepasst zu führen.³⁰¹ Die nachfolgende Abbildung zeigt die generellen

Stufen und Formen von Führung übersichtlich auf (Abb. 5).

Demnach entwickelt sich Führung weg von einem autoritären Führungsbild. Die aufgelisteten Aspekte der anderen Führungsformen bis einschließlich der „Leaderless Organisation“ kommen für die moderne Führung in der Produktion ebenfalls infrage.

Die gemeinschaftliche Aufgabe der Führung kann nur mit geltenden Werten, Prinzipien und einem adäquaten Mindset aller Beteiligten funktionieren. Andernfalls ist es kompliziert eine moderne Führung zu bewerkstelligen.³⁰² Wenn eine wesentliche Eigenschaft wie die Kooperationsfähigkeit bei den Mitarbeitern fehlt, kann dies in Führungsproblemen enden.³⁰³ Damit die moderne Führung in der Produktion anwendbar ist, benötigt es bei der Verteilung von Führung auf verschiedene Rollen und mehr Mitarbeiter gleichviel Führung wie es zuvor bei der traditionellen Führung der Fall war. Der Grad an Führung wird nicht verringert, sondern nur anders verteilt.³⁰⁴ Durch diese flexible Arbeitsorganisation in Form einer veränderten Führung in der operativen Ebene, werden Teile bisher auf der Leitungsebene ausgeführter Steuerungs- und Planungsfunktionen auf untere Ebenen abgegeben. Dies geht mit einer dezentralen Selbstorganisation der Systeme und Mitarbeiter einher,³⁰⁵ was in Verbindung zu moderner Führung die nächste Produktionsanforderung darstellt.

4.1.4. Selbstorganisation der Teams

Ein arbeitsorganisatorisches Konzept der Zukunft ist die Selbstorganisation der Teams auf dem Shopfloor. In einer mit modernen Strukturen ausgestatteten Produktion bekommen die Mitarbeiter grundlegend mehr Verantwortung und größere Freiheiten.³⁰⁶ Das Konzept der Selbstorganisation beinhaltet, dass keine zentrale Kontroll- und Koordinationsinstanz mehr vorhanden ist.³⁰⁷ Eine Veränderung ist die Reduzierung vertikaler Kommunikationsprozesse, da weniger Aufwand in Informationsweitergaben und Absprachen mit übergeordneten Ebenen investiert werden muss.³⁰⁸ Die Anforderung der Selbstorganisation ist eng mit der modernen Führung verknüpft, da beide Konzepte eine Delegation von Verantwortung auf möglichst tiefe Ebenen umfassen.³⁰⁹

Insgesamt übernehmen selbstorganisierte Facharbeiter flexibel und eigenverantwortlich alle verschiedenen Rollen und Aufgaben, die in der Produktion anfallen.³¹⁰ Die organisatorische Einheit eines selbstorganisierten Teams erfüllt eine gemeinsame Fertigungsaufgabe, wobei der Handlungs- und Entscheidungsspielraum für alle Beteiligten groß ausfällt. Die Mitglieder der hierarchielosen Gruppe stimmen sich zu jeder Zeit direkt untereinander ab und steuern gemeinsam

²⁸⁸ vgl. Hackl, Wagner, Attmer und Baumann (2017), S. 3.

²⁸⁹ vgl. Krügl (2019), S. 236.

²⁹⁰ vgl. Schwab (2016), S. 92.

²⁹¹ vgl. Schomburg, Sobieraj und Kruse (2016), S. 91.

²⁹² vgl. Liebermeister (2017), S. 193.

²⁹³ vgl. Creusen, Gall und Hackl (2017), S. 105.

²⁹⁴ vgl. Soder (2017), S. 21.

²⁹⁵ vgl. Jeske et al. (2015), S. 29.

²⁹⁶ vgl. Ittermann und Niehaus (2018), S. 52.

²⁹⁷ vgl. Hofert (2018), S. 98f.

²⁹⁸ vgl. Möllendorf (2018), S. 159 und Golob und Ullrich (2019), S. 91.

²⁹⁹ vgl. Munsch (2020), S. 256-260.

³⁰⁰ vgl. Werther und Bruckner (2018), S. 48.

³⁰¹ vgl. M. Berg (2019), S. 120f

³⁰² vgl. M. Berg (2019), S. 121.

³⁰³ vgl. Hofert (2018), S. 98f.

³⁰⁴ vgl. H. C. Werner und Gundrum (2019), S. 13.

³⁰⁵ vgl. Hirsch-Kreinsen und Weyer (2014), S. 21.

³⁰⁶ vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 137.

³⁰⁷ vgl. Kaltenecker (2018), S. 11.

³⁰⁸ vgl. Strauß (2019), S. 509.

³⁰⁹ vgl. ebenda, S. 504.

³¹⁰ vgl. ebenda, S. 504f.

Autoritäre Führung	Transaktionale Führung	Inspirierende Führung	Demokratische Führung	Shared Leadership	Leaderless Organisations
<ul style="list-style-type: none"> - feste Führungsverantwortung - Entscheidungen von Einzelpersonen - Willkürentscheidungen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Zielsetzung - Leistungskontrolle - systematisches Feedback - Belohnung / Bestrafung 	<ul style="list-style-type: none"> - inspirierende Motivation - Sinn (<<Purpose>>) vermitteln - Zukunftsbild entwickeln 	<ul style="list-style-type: none"> - Wahl des Vorgesetzten durch Mitarbeiter - in demokratischen Wahlverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - flexible Hierarchie - Führung als Teamaufgabe 	<ul style="list-style-type: none"> - keine formale Führung (Holocracy) - flache Hierarchien - absolute Gleichheit aller Mitglieder der Organisation - hohes Maß an Zusammenarbeit

Abbildung 5: Verschiedene Formen der Führung nach Strauß (2019).

Quelle: Strauß (2019), S. 506.

die ganze Gruppe sowie die Produktionsabläufe.³¹¹ Daher betreffen selbstorganisierte Handlungen neben einzelnen Arbeitsschritten und Aufgaben organisatorische Veränderungen am System selbst.³¹²

Innerhalb einer selbstorganisierten Gruppe hat jeder ein Auge auf das gesamte Arbeitsvorgehen und die Handlungen der anderen.³¹³ Das Personal arbeitet in automatisierten und intelligenten Prozessen, die zur Beherrschung der Komplexität ebenfalls selbstorganisatorisch gestaltet sind.³¹⁴ Zur optimalen Lösung von Arbeitsaufgaben und das Hineinwachsen in die selbstorganisatorische Funktion ist eine Qualifikation der Mitarbeiter unerlässlich (siehe Kapitel 4.2.1).³¹⁵

Das Konzept der Selbstorganisation bietet Freiraum und Flexibilität. Von Mitarbeitern wird dabei Engagement und Initiative gefordert.³¹⁶ Zudem ist selbstorganisiertes Lernen unabdingbar.³¹⁷ Ein weiterer substanzieller Baustein sind regelmäßige Meetings zur Teamabsprache, denn das Team muss gut eingespielt sein.³¹⁸ Der Einsatz von agilen Projektmanagementmethoden und die stetige Visualisierung der Arbeit in der Produktion kann die Zusammenarbeit der selbstorganisierten Teams erleichtern.³¹⁹ Sie profitieren von aktuellen Daten, Kennzahlen und dem zeitgetreuen Bild des Produktionsstatus.³²⁰ In Ergänzung dazu werden selbstorganisierte Produktionsmitarbeiter durch Begleitung und Coaching stetig unterstützt.³²¹

Die Berücksichtigung fundamentaler Grundwerte wie Offenheit, Transparenz und Feedback hilft dabei, das Funktionieren des Konzeptes Selbstorganisation an sich zu ermögli-

chen.³²² Zusätzlich ist die Existenz eines klaren Regelwerkes, nach welchem die Mitarbeiter handeln, notwendig.³²³ Als weiterer Teil des Rahmens für eine selbstorganisatorische Abwicklung der Produktion müssen Grenzen, Spielregeln und Werte definiert, eindeutig kommuniziert und verbindlich vereinbart werden.³²⁴ Es sind noch einige weitere Festlegungen und Regeln der Zusammenarbeit notwendig, doch auf die genaue Gestaltung dieses Grundgerüsts für die Selbstorganisation soll hier nicht weiter eingegangen werden.³²⁵

Wenn eine Selbstorganisation der Teams trotz möglicher Hindernisse implementiert wird, ergeben sich temporäre und hochflexible Netzwerke in der Produktion.³²⁶ Ob Unternehmen dieses Shopfloor Organisationskonzept für wichtig erachten ist eine der im weiteren Verlauf zu klärenden Fragen. Zunächst werden mit der prozessorientierten Arbeitsorganisation beginnend weitere Organisationsformen vorgestellt.

4.1.5. Prozessorientierte Arbeitsorganisation

Bei dieser Anforderung an die Produktion der Zukunft orientiert sich die Organisation konsequent am Prozess der Produktion³²⁷ und an sämtlichen weiteren internen Unternehmensprozessen.³²⁸ Die Prozessorientierung strebt eine Überwindung von Barrieren zu anderen Funktionseinheiten des Unternehmens an. Die gesamte Wertschöpfungskette soll konsequent optimiert werden und eine maximale Reduzierung von Schnittstellen stattfinden. Gleichzeitig wird bei dieser Organisationsform eine kleinstmögliche Durchlaufzeit in der Produktion anvisiert.³²⁹ Ein wesentlicher Teilaspekt bei der Betrachtung der Wertschöpfungskette ist es, die Anschlussfähigkeit der eigenen Prozesse an die wichtigen vor-

³¹¹vgl. Kühl und Kullmann (1999), S. 8-11.

³¹²vgl. Matuschek (2017), S. 88.

³¹³vgl. Strauß (2019), S. 509f. zitiert nach: Strauß (1996).

³¹⁴vgl. Banse (2017), S. 126.

³¹⁵vgl. Weinreich (2016), S. 154.

³¹⁶vgl. Seel (1995), S. 155.

³¹⁷vgl. Krones, Strauch, Schütze und Müller (2015), S. 92.

³¹⁸vgl. Kaltenecker (2018), S. 5f.

³¹⁹vgl. Lindner und Amberg (2019), S. 33 und Weinreich (2016), S. 154.

³²⁰vgl. Weinreich (2016), S. 155.

³²¹vgl. Geramanis (2020), S. 23.

³²²vgl. Kaltenecker (2018), S. 37.

³²³vgl. Franke (2019), S. 127.

³²⁴vgl. Weinreich (2016), S. 154.

³²⁵vgl. Weinreich (2016), S. 154f. und Geramanis (2020), S. 23.

³²⁶vgl. Ittermann und Niehaus (2018), S. 52.

³²⁷vgl. Ullrich und Vladova (2015), S. 58.

³²⁸vgl. C. M. Schlick et al. (2015), S. 53.

³²⁹vgl. Binner (2005), S. 27ff.

und nachgelagerten Geschäftsprozesse des Kunden sicherzustellen.³³⁰ Was genau die Orientierung auf die internen und externen Unternehmensprozesse ausmacht, ist Gegenstand dieses Teilkapitels.

Das Organisationskonzept der Prozessorientierung benötigt Aspekte der Modernen Führung und der Selbstorganisation. So sind beispielsweise eine weitreichende Zusammenarbeit, Offenheit und mitdenkende Mitarbeiter erforderlich.³³¹ Bei der Prozessorientierung formiert sich das Personal in selbstgesteuerten, autark und autonom agierenden Teams.³³² Es wird nicht mehr alles von einer Stelle aus gemanagt und der Grad an direkter Führung reduziert sich.³³³ Auch in diesem Konzept geht die Übergabe von Verantwortung auf verschiedene Ebenen mit höheren Kompetenzbedarfen und dezentralen Entscheidungen einher.³³⁴

Mithilfe dieses grundlegenden organisatorischen Aufbaus sollen die Aufgaben einer Prozessoptimierung und dauerhaften Prozesssicherung angegangen werden.³³⁵ Es erfolgt wiederholt eine eingehende Analyse jeglicher Prozesse. Eine solche Analyse resultiert typischerweise in einer visuellen Bewertung, Neubildung und Verbesserung von Prozessen. Diese Kontrollaufgabe geschieht zum Beispiel über Prozessregelkreise, direktes Monitoring und Steuerung unmittelbar auf dem Shopfloor in der Produktion. Ein gewünschter Effekt ist es, die Produktivität in vielen Bereichen zu erhöhen.³³⁶ Eine prozessorientierte Arbeitsorganisation richtet ihren Fokus zusätzlich auf die Existenz von Flexibilität. Deshalb besitzt die Organisation der prozessorientierten Produktion rasch anpassbare Prozesse und flexible Rahmenbedingungen der Arbeit.³³⁷

Prozessorientierte Organisationsstrukturen erfordern eine prozessbezogene Weiterbildung von I4.0 Fabrikarbeitern. Das bedeutet konkret: Schulungen und Fortbildungen berücksichtigen die speziellen Produktionsprozesse und technologischen Besonderheiten von Unternehmen.³³⁸ Kommunikationsfähigkeit und Teamfähigkeit sind zwei Eigenschaften des Personals, die in einem prozessorientierten Umfeld definitiv stark ausgeprägt sein müssen und folglich ebenfalls in Schulungen trainiert und verbessert werden.³³⁹ Auch hier ist zu erkennen, dass sich die Anforderungen an die Produktion der Zukunft zu einem gewissen Teil überschneiden und eine strikte Kategorisierung nicht gänzlich möglich ist. Es ist festzuhalten, dass eine übergreifende Mitarbeiterorientierung, motivierte Mitarbeiter und ein erfolgreiches Management mitentscheidend für das Funktionieren einer prozessorientierten Produktion sind.³⁴⁰

Zusammenfassend ist die konsequente Orientierung der Produktionsorganisation auf den Prozess laut der zugrunde liegenden Literatur durchaus eine wichtige Anforderung an die zukünftige Produktion. In den folgenden zwei Kapiteln wird theoretisch aufgezeigt, was eine agile und transparente Produktionsorganisation charakterisiert und inwiefern diese Konzepte dazu beitragen, die Produktion einen Schritt voran zu bringen.

4.1.6. Agilität der Organisation

Agile Organisationsstrukturen und agile Arbeitsweisen der Mitarbeiter können in der zukünftigen Industrie 4.0 Produktion eine entscheidende Rolle einnehmen.³⁴¹ Doch was ist Agilität überhaupt? Agil bedeutet beweglich zu sein. Das Thema Agilität taucht im Zusammenhang mit Organisation und Produktion unter dem Blickwinkel des „Agile Manufacturing“ auf.³⁴² Agilität bewirkt eine hilfreiche, zielgerichtete und schnelle Anpassung der Organisation in flexibler Art und Weise.³⁴³ Diese Anpassung betrifft auch Prozesse und Strukturen auf dem Shopfloor, um veränderten Umweltsituationen und Gegebenheiten Rechnung tragen zu können.³⁴⁴

Eine Eigenschaft agiler Organisationen ist es Chancen, Risikofaktoren und Potentiale zu erkennen und jegliche Handlungen in der Produktion nach diesen Dingen auszurichten. Das Erzielen eines Lerneffektes aus Erfahrungen und Fehlern ist eine weitere essenzielle agile Eigenschaft.³⁴⁵ Eine Herausforderung ist, dass agiles Arbeiten ein hohes Maß an Selbstführung abverlangt.³⁴⁶ Die weitgehende Freiheit und der permanente Austausch in der agilen Arbeitsweise sind für Beschäftigte fordernd.³⁴⁷ Folglich ist die Anforderung einer agilen Organisation eng mit der Anforderung selbstorganisierter Teams verknüpft.

Ergänzende maßgebende Werte für Agilität sind die Kundenorientierung der Organisation und die ständig fortschreitende Verbesserung der Organisation selbst. Ziel ist es, mit weniger Arbeit auf dem Shopfloor mehr Wert zu schaffen.³⁴⁸ In einer agilen Organisation müssen die Produktionsmitarbeiter agile Haltungen, Fähigkeiten und Kompetenzen mitbringen. Auch die Motivation der Mitarbeiter steuert zu einer Sicherstellung von Agilität bei.³⁴⁹ Weiterhin lebt eine agile Organisation von einem veränderten, modernen Führungsbild.³⁵⁰ In diesem Führungsumfeld dient Agilität unter anderem schnellen Entscheidungsprozessen.³⁵¹ Eines der ersten expliziten Modelle zur Beschreibung von Agilität hat Parsons (1951) geschaffen. Neben der Adaptionsfähigkeit iden-

³³⁰vgl. Schatz und Bauernhansl (2017), S. 247.

³³¹vgl. Binner (2005), S. 24.

³³²vgl. Kühl (2015), S. 64f.

³³³vgl. Baethge und Baethge-Kinsky (1998), S. 464f.

³³⁴vgl. Spath, Dworschak und Zaiser (2016), S. 689.

³³⁵vgl. Baethge und Baethge-Kinsky (1998), S. 465.

³³⁶vgl. Binner (2005), S. 42 und S. 1000f.

³³⁷vgl. Baethge und Baethge-Kinsky (1998), S. 466.

³³⁸vgl. Ullrich und Vladova (2015), S. 70.

³³⁹vgl. Dorsch-Schweizer und Schwarz (2007), S. 301f.

³⁴⁰vgl. Binner (2005), S. 1002f.

³⁴¹vgl. von See und Kersten (2018), S. 8.

³⁴²vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 93.

³⁴³vgl. M. Berg (2019), S. 120.

³⁴⁴vgl. Pfister und Müller (2019), S. 45.

³⁴⁵vgl. Hofert (2018), S. 13.

³⁴⁶vgl. Pfister und Müller (2019), S. 48.

³⁴⁷vgl. ebenda, S. 48f.

³⁴⁸vgl. Graf, Gramß und Edelkraut (2017), S. 31f. und Denning (2016),

URL siehe Literaturverzeichnis.

³⁴⁹vgl. Graf et al. (2017), S. 39.

³⁵⁰vgl. Kaltenecker (2018), S. 14.

³⁵¹vgl. Strauß (2019), S. 500.

tifiziert er die Zielverfolgung als Bestandteil von agilen Systemen. Parsons deklariert damit das Vermögen eines Systems, Ziele klar zu definieren und zu verfolgen. Als weitere agile Eigenschaften nennt der Autor die Fähigkeit eines Systems, grundlegende Wertmuster und Strukturen beizubehalten.³⁵² Wenn die heutige Organisation der Produktion den Anspruch hat agil zu sein, sollte eine Ausprägung dieser Grundzüge und Systemfertigkeiten erfolgen.

Die Produktion nimmt grundsätzlich an Technisierung zu und viele ineinandergreifende I4.0 Lösungen werden genutzt. Das Management von zunehmend mehr Technik muss mit einer geeigneten Methode bewerkstelligt werden, wobei eine agile Einstellung eine dieser Methoden zu sein vermag.³⁵³ Betrachtet man die technische Seite, so ist erkennbar, dass agile Produktionssysteme in der Lage sind, übergreifende organisatorische Veränderungen vorzunehmen. Die agile Wandlungsfähigkeit unterstützt organisatorisch die Erfüllung unerwarteter, kurzfristiger Aufgaben, die außerhalb des normalen Produktionsspektrums liegen (Kapitel 4.3.3). In einer agilen Produktion ereignen sich Anpassungsreaktionen ohne Zeitverlust und Kostenexplosion. Die Anpassung zur Herstellung alternativer neuer Produkte erfolgt schnell.³⁵⁴

Ein Ziel der Produktion der Zukunft kann es also sein, den richtigen Grad an Agilität zu finden. Ein Schlüssel zum Erfolg lautet hierbei nicht maximal agil zu sein, sondern genauso agil wie es das Umfeld erfordert. Es ist vorwiegend richtiges Anpassen gefragt, denn fehlerhafte Anpassungen können nachteilige Wirkungen auf das Unternehmen und die Produktion induzieren.³⁵⁵ Aktuell ist zur Verbesserung der Agilität in der Produktion oftmals die Wandlungsfähigkeit der Technik und der Betriebsmittel vordergründig. Jedoch bringt die beste agile Technik keinen Vorteil, wenn sie innerhalb einer nichtagilen Organisation voller Menschen eingesetzt wird, die weder Kompetenzen noch die angemessene Haltung für ein agiles Handeln mitbringen.³⁵⁶ Der agilen Organisation kann somit der gleiche Stellenwert zugeschrieben werden, wie einer agilen Fertigung an sich. Nachfolgend richtet sich der Blick auf die Anforderung einer transparenten Produktionsorganisation.

4.1.7. Transparenz in der Organisation

Dieses Kapitel behandelt die letzte Anforderung aus der Kategorie „Organisation“. Die in Kapitel (4.1.3) veranschaulichte Entwicklung der „New Work“ beinhaltet einen umfangreichen Fokus auf Offenheit und Transparenz.³⁵⁷ Dieses Konzept findet mittlerweile in der Produktion Anklang, weshalb Transparenz im Kontext von I4.0 für die Organisation und deren Entwicklung von Bedeutung ist.³⁵⁸ Ein Element ist die permanente, transparente Darstellung der Organisation der

Produktion für die Mitarbeiter und das Management. Was dies im Detail bedeutet folgt in diesem Teilkapitel.

Bei dieser Anforderung ist eine grundlegende Systemtransparenz unabdingbar.³⁵⁹ Diese Transparenz lässt sich auf zwei näher zu betrachtende, aber trotzdem zusammengehörige Teilbereiche aufsplitten: Die Transparenz über die Produktionsarbeit und die Transparenz in der Produktionsorganisation. Durch die Transparenz in beiden Bereichen können den Beschäftigten klare Anweisungen erteilt werden.³⁶⁰ Eine Transparenz in der Produktionsarbeit kann Fortschritte sichtbar machen und darstellen.³⁶¹ Dasselbe gilt für Zustandsdaten, die ebenfalls transparent sein sollen.³⁶² Ziel ist das Erreichen einer völligen Transparenz über den aktuellen und geplanten Zustand von sämtlichen Prozessvorgängen³⁶³ und allen Aktivitäten in der Produktion.³⁶⁴

Das aktuell von Unternehmen weitläufig verwendete Instrument des Shopfloor Managements beabsichtigt mithilfe von Visualisierungstafeln Informationen standardisiert, aktuell und aussagekräftig aufzubereiten, so dass Abläufe für jeden Mitarbeiter transparent gemacht werden.³⁶⁵ Dieser Leitgedanke wird durch die Digitalisierung in der zukünftigen Produktion bestätigt und weiterentwickelt. Dazu werden relevante Informationen an ausgewählten Stellen im Produktionsprozess bereitgestellt. Mittel hierfür sind beispielsweise Assistenzsysteme, Touch-Monitore, Datenbrillen und Smartwatches.³⁶⁶ Transparenz in jegliche Abläufe zu bringen bewirkt generell eine Verbesserung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit von organisatorischen Einheiten in Unternehmen.³⁶⁷ Es lässt sich schlussfolgern, dass die Produktion der Zukunft von dieser Wirkung profitieren kann.

Des Weiteren ist die Abbildung der Organisation als digitaler Zwilling eine Möglichkeit Transparenz in der Produktionsorganisation herbeizuführen. In diesem „Digital Twin of Organisation“ kann jeder virtuell die Verrichtung von Tätigkeiten nachverfolgen und sehen, welche Workflows wohin verlaufen.³⁶⁸ Industrie 4.0 benötigt als Grundlage nicht nur ein digitales Abbild von Objekten innerhalb der Produktion. Eine digitale Abbildung der Organisation ist ebenfalls unerlässlich, da dies unter anderem zu einer optimaleren und umfassenderen Prozessplanung beiträgt. In diesem digitalen Zwilling wird jede Organisationsveränderung in Echtzeit widergespiegelt. Dies bezieht sich sowohl auf unternehmensinterne Prozesse als auch auf externe Prozesse.³⁶⁹

Am Ende enthält das digitale Abbild die gesamte Organisation inklusive ihrer Eigenschaften. Die Präsentation für Beschäftigte erfolgt über ausgewählte IT-Lösungen. Darüber

³⁵² vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 93 zitiert nach: Parsons (1951).

³⁵³ vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 137f.

³⁵⁴ vgl. Elkins, Huang und Alden (2004), S. 204f.

³⁵⁵ vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 94f.

³⁵⁶ vgl. ebenda, S. 96.

³⁵⁷ vgl. Leopold (2019), S. 247.

³⁵⁸ vgl. Stief (2018), S. 115.

³⁵⁹ vgl. Hirsch-Kreinsen (2018), S. 189.

³⁶⁰ vgl. Korge (2017), S. 508f.

³⁶¹ vgl. T. Becker (2017), S. 107.

³⁶² vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 150.

³⁶³ vgl. Plattform Industrie 4.0 (2015), S. 22.

³⁶⁴ vgl. Nowotny (2016), S. 364.

³⁶⁵ vgl. Soder (2017), S. 12.

³⁶⁶ vgl. Tawalbeh, Weißflog und Hopf (2019), S. 16f.

³⁶⁷ vgl. Spath (2017), S. 6f.

³⁶⁸ vgl. Dangl (2019), S. 59.

³⁶⁹ vgl. ebenda, S. 60.

hinaus ist eine Transparenz in der Organisation durch ein digitales Abbild für die Durchführung von Simulationen dienlich. Verschiedene Szenarien, Arbeitsvorgänge, Veränderungen und Entscheidungen können innerhalb des digitalen Abbilds durchexerziert werden.³⁷⁰

Eine weitere Komponente einer transparenten Produktionsorganisation ist die Durchsichtigkeit in der Verantwortungs- und Aufgabenverteilung. Es herrscht eine Zunahme an organisationaler Transparenz, wenn geleistete Arbeitsstunden unmittelbar veranschaulicht werden.³⁷¹ Die Abbildung der Zuordnung von Mitarbeitern zu Tätigkeitsorten (Mitarbeiterbelegung) sorgt für einen schnellen Überblick über das Personal, ermöglicht einen optimierten Einsatz von Ressourcen und führt Transparenz herbei.³⁷² Zudem sehen Mitarbeiter die Resultate der eigenen Arbeit direkt.³⁷³ Es wird eine Transparenz über die Arbeitsintensität in Echtzeit ermöglicht.³⁷⁴ Beispielhaft für Mitarbeitertransparenz ist außerdem, dass jederzeit kontrollierbar ist, welche Person verantwortlich für einen Fehler ist. Der Mitarbeiter wird „gläsern“ und kontrollierbar.³⁷⁵

Transparenz dient generell als Basis für Entscheidungen. Diese können sicherer getroffen werden, je mehr Informationen vorliegen.³⁷⁶ Aufgrund dessen ist die zielgruppenspezifische Aufbereitung von Informationen wichtig.³⁷⁷ In einer transparenten Organisation müssen Kommunikationsverläufe und Kommunikationsergebnisse für alle Organisationsmitglieder zugänglich sein. Weiterhin kann durch eine Transparenz ein Lernen der gesamten Organisation erzielt werden.³⁷⁸ Es lässt sich schlussfolgern, dass diese Grundsätze auch auf die Shopfloor Organisation übertragbar sind. Insgesamt wird der organisationalen Anforderung einer transparenten Organisation in der Produktions- und Industrie 4.0 Literatur eher weniger Beachtung geschenkt. Ein weitaus intensiveres behandeltes Thema ist die konsequente Mitarbeiterqualifikation in der Produktion.

4.2. Anforderungen der Kategorie „Mensch“

4.2.1. Konsequente Mitarbeiterqualifikation

Die Weiterentwicklung des Produktionspersonals für die veränderten Aufgaben bei der Anwendung von Industrie 4.0 ist eine der größten Herausforderungen für alle Unternehmen.³⁷⁹ Die Arbeit wird anspruchsvoller und nimmt an Komplexität und Vernetzung zu.³⁸⁰ Die einführenden Kapitel bezüglich der Rolle des Menschen und zur Verknüpfung von Organisation und Industrie 4.0 reißen hinführend an,

dass das System der zukünftigen Produktion Fachkräfte mit einem breit aufgestellten Qualifikationsprofil benötigt. Die Fachkräfte agieren als steuernde und entscheidungsmächtige Experten.³⁸¹ Sie sind dafür verantwortlich die I4.0 Umgebung zu lenken und bei Störungen einzugreifen. In der zukünftigen Produktion gibt es weniger reine Facharbeiter.³⁸² Das Management der Produktion wird von hochqualifizierten Mitarbeitern betrieben.³⁸³ Diese Anforderung erfasst die nötigen Fähigkeiten und mögliche Qualifizierungswege im Detail. Generell enthält das Verständnis von Kompetenz die beiden Teilaspekte Wissen und Qualifikation.³⁸⁴ Wissen schließt Fertigkeiten mit ein.³⁸⁵ Der Begriff Kompetenz umfasst somit neben den fachlichen Schlüsselqualifikationen übergreifende Fähigkeiten.³⁸⁶ In einer I4.0 Umgebung ist der Ausbau mehrerer Kompetenzen notwendig. Die Einnahme der Überwachungsrolle verlangt ein hohes Komplexitätsverständnis.³⁸⁷ Es ist Fachkenntnis in Bezug auf den Umgang mit innovativen I4.0 Technologien gefordert.³⁸⁸ Ein generelles Verständnis für Interaktionen von Maschinen,³⁸⁹ die Fähigkeit zur Filterung und Analyse von Prozessinformationen³⁹⁰ und die Fähigkeit zur schnellen Einarbeitung in unbekannte Abläufe sind in der Produktionsarbeit zunehmend notwendige Aspekte.³⁹¹ Wichtige personale Kompetenzen sind ein ganzheitliches Denken,³⁹² analytische Fähigkeiten³⁹³ und eine eigenständige Lösung auftretender Probleme.³⁹⁴

Neue Konzepte der Arbeitsorganisation verlangen überfachliche Kompetenzen und soziale Attribute.³⁹⁵ Es benötigt Kreativität,³⁹⁶ Kooperationsfähigkeit,³⁹⁷ Teamfähigkeit³⁹⁸ und Kommunikationsfähigkeit.³⁹⁹ Ein selbstbestimmtes Handeln,⁴⁰⁰ die Eignung zur Selbstorganisation⁴⁰¹ und Innovationsoffenheit sind gleichfalls wichtige Eigenschaften.⁴⁰² Industrie 4.0 Fabrikarbeiter müssen fähig sein, formell und informell zu lernen.⁴⁰³ Die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen nimmt eine Schlüsselposition ein.⁴⁰⁴

³⁸¹vgl. Windelband und Dworschak (2018), S. 77.

³⁸²vgl. Spath, Dworschak, Zaiser und Kremer (2015), S. 117f.

³⁸³vgl. Matuschek (2017), S. 88.

³⁸⁴vgl. Heyse (2018), S. 46.

³⁸⁵vgl. M. Becker (2005), S. 4

³⁸⁶vgl. Heyse (2018), S. 47.

³⁸⁷vgl. Graf et al. (2017), S. 108.

³⁸⁸vgl. C. M. Schlick et al. (2015), S. 53 und Krones et al. (2015), S. 89.

³⁸⁹vgl. Ahrens und Spöttl (2018), S. 190.

³⁹⁰vgl. Graf et al. (2017), S. 108.

³⁹¹vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 30.

³⁹²vgl. Rost et al. (2016), S. 20.

³⁹³vgl. Matuschek (2017), S. 89 und Rost et al. (2016), S. 16.

³⁹⁴vgl. Stich et al. (2018), S. 159.

³⁹⁵vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 137 und Krones et al. (2015), S. 89.

³⁹⁶vgl. Frey und Osborne (2013), S. 45 und Heidel et al. (2017), S. 11.

³⁹⁷vgl. Klauß und Mierke (2017), S. 137, Rost et al. (2016), S. 18 und Stich et al. (2018), S. 159.

³⁹⁸vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 30.

³⁹⁹vgl. Kagermann und Winter (2017) und Stich et al. (2018), S. 159.

⁴⁰⁰vgl. Stich et al. (2018), S. 159.

⁴⁰¹vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 30.

⁴⁰²vgl. Rost et al. (2016), S. 23.

⁴⁰³vgl. Stich et al. (2018), S. 159.

⁴⁰⁴vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 139 und Müller und Jentsch (2015), S. 107.

³⁷⁰vgl. Dangel (2019), S. 59.

³⁷¹vgl. T. Becker (2017), S. 107

³⁷²vgl. Dichtl und Patermann (2017), S. 210.

³⁷³vgl. Wischmann und Hartmann (2018b), S. 2.

³⁷⁴vgl. Butollo und Engel (2015), S. 35.

³⁷⁵vgl. Windelband und Dworschak (2018), S. 71.

³⁷⁶vgl. Kletti (2015), S. 3.

³⁷⁷vgl. Lanza et al. (2018), S. 40f.

³⁷⁸vgl. Probst und Büchel (1994), S. 21.

³⁷⁹vgl. Killian, Nendel, Markert und Riedel (2019), S. 53 und Lorenz et al. (2016), S. 3.

³⁸⁰vgl. Matuschek (2017), S. 88.

Mit der in Zukunft wesentlichen Methodenkompetenz wird ein Verständnis über die Zusammenhänge von operativen Kennzahlen angesprochen.⁴⁰⁵ Ein weiterer Baustein der Qualifizierung ist der umfangreiche Aufbau von IT-Kompetenzen.⁴⁰⁶ Diese enthalten ein grundlegendes Verständnis für Daten und deren Analyse.⁴⁰⁷ Wissen in Bezug auf die Arbeit in virtuellen Umgebungen ist essenziell.⁴⁰⁸ Der IT-Kompetenzaufbau bezieht sich nicht nur auf die Fabrikarbeiter, sondern auf Mitarbeiter in verknüpften Unternehmensbereichen, die produktionsbezogene Wissens- und Planungsarbeit vollbringen. Folglich sind IT-Fähigkeiten zukünftig nicht nur in der direkten Wertschöpfung von hoher Bedeutung.⁴⁰⁹ Genauer zu wichtigen Daten- und Softwarefähigkeiten der Angestellten in der Industrie 4.0 ist im Anhang zu diesem Kapitel zu finden (Anh. 3).

Aktuell ist die Aus- und Weiterbildung der eigenen Belegschaft der vielversprechendste Weg der Mitarbeiterqualifikation, da noch selten fertig ausgebildete I4.0 Fachkräfte am Arbeitsmarkt zu finden sind.⁴¹⁰ Die verschiedenen Qualifizierungsmaßnahmen bauen systematisch auf das Erfahrungswissen der Fabrikarbeiter auf.⁴¹¹ Ein Durchführungsweg der Mitarbeiterqualifikation ist die arbeitsplatznahe Qualifikation.⁴¹² Bei der „On the Job“ Qualifizierung erfolgt das Lernen in kleinen Einheiten und richtet sich nach dem individuellen Leistungsniveau.⁴¹³ Für diese Lehrmethode werden Assistenzsysteme lernförderlich gestaltet und Arbeitsvorgänge, Aufgaben und Prozessschritte visuell abgebildet.⁴¹⁴ Es ergibt sich ein zielgerichtetes Lernen als Training mit Präsenz und direkten Arbeitserklärungen.⁴¹⁵

Die I4.0 Qualifizierungsmaßnahmen Coaching und Mentoring zielen auf eine individuelle Kompetenzförderung ab. Zudem können Unternehmen ihre Mitarbeiter über Workshops, Seminare und Informationsveranstaltungen schulen.⁴¹⁶ Diese nicht direkt an Arbeitsplätzen stattfindenden Fortbildungen bilden die Gruppe der „Off the Job“ Maßnahmen. „Near the Job“ Maßnahmen werden in Lehrwerkstätten vollzogen.⁴¹⁷ Beispielsweise bieten Forschungsinstitutionen in Lernfabriken verschiedene Demonstratoren an, die zur Schulung genutzt werden können.⁴¹⁸ Auch mit einzelnen Methodenräumen und Arbeitsstationen erfolgt dort eine I4.0 Weiterbildung.⁴¹⁹

Neben den Fortbildungsmethoden spielt in Zukunft die grundlegende Ausbildung von Fachkräften eine zentrale Rolle. In der Produktionsarbeit ergeben sich drei Qualifizierungsstufen mit unterschiedlichen Kompetenzanforderungen. Auf der obersten Ebene sind akademische Grade vorhanden. Es folgen die mittleren Fachkräfte mit Ausbildungen und Fortbildungsabschlüssen (z.B. Meister). Auf der untersten Schicht befinden sich Ungelernte und einfache Werker.⁴²⁰ Die klassischen Produktionsberufe (z.B. Industriemechaniker) werden durch neuartige Qualifikationsprofile wie die des Produktionstechnologen, Applikationsexperten oder Prozessmanagers ersetzt.⁴²¹ Aufgaben bezüglich der Produktionsorganisation werden von allen Qualifikationsebenen durchgeführt.⁴²² Schlussendlich sind die Anforderungen der zukünftigen Produktion ohne eine konsequente Mitarbeiterqualifikation auf keinen Fall zu bewerkstelligen.⁴²³

4.2.2. Flexibler Personaleinsatz

Das Konzept des flexiblen Personaleinsatzes steht aktuell noch weniger stark im Fokus. Ein flexibler Arbeitseinsatz ist eine Möglichkeit der Organisationsgestaltung, die unter anderem zur Bewältigung der steigenden Bedarfsabhängigkeit der Produktion beiträgt.⁴²⁴ Je nach Bedarf und Situation steigen oder fallen die Anforderungen in der Produktion erheblich. Die Kapazitätsbedarfe der Produktion in Bezug auf das Personal variieren nicht nur wöchentlich, sondern oftmals auch sehr kurzfristig während eines Tages,⁴²⁵ oder von Stunde zu Stunde. Bei einer solchen Konfrontation mit Schwankungen jeglicher Art müssen Unternehmen dazu in der Lage sein, immer die richtigen und passenden Kapazitäten bereitzustellen. Ein starres System versagt an dieser Stelle, weshalb ein flexibles Personaleinsatzsystem verlangt wird.⁴²⁶

Der erste Baustein des flexiblen Personaleinsatzes ist die Reaktion auf unvorhergesehene Kapazitätsbedarfsschwankungen. Diese werden durch veränderte Markt-, Produktions-, Kunden-, und Mitarbeiteranforderungen sowie Auftrags-⁴²⁷ und Absatzschwankungen hervorgerufen.⁴²⁸ Zudem ist eine aktive und tagesaktuelle Steuerung der Personalkapazität Inhalt des Konzeptes, damit jederzeit die genau passende Anzahl an Mitarbeitern zur Verfügung steht. Schichtanpassungen, Schichtbesetzungen und Arbeitszeiten sollen durch eine digitale, intelligente Kommunikation via Smartphones, Applikationen und IT-Systemen besprochen und abgestimmt werden. Dies ermöglicht eine Selbstbestimmung und Selbststeuerung der Mitarbeiter.⁴²⁹ Sie entschei-

⁴⁰⁵vgl. Deuse, Achenbach und Lenze (2015), S. 251.

⁴⁰⁶vgl. Matuschek (2017), S. 83f.

⁴⁰⁷vgl. Ahrens und Spöttl (2018), S. 190.

⁴⁰⁸vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 30.

⁴⁰⁹vgl. Lorenz et al. (2016), S. 6.

⁴¹⁰vgl. Ullrich und Vladova (2015), S. 57.

⁴¹¹vgl. Dumitrescu und Marquardt (2017), S. 649f.

⁴¹²vgl. Matuschek (2017), S. 88.

⁴¹³vgl. Kagermann (2014), S. 244.

⁴¹⁴vgl. Senderek (2018), S. 94f.

⁴¹⁵vgl. Kagermann und Winter (2017), S. 30f.

⁴¹⁶vgl. Schlund und Pokorni (2017), S. 152 und IHK Darmstadt Service GmbH (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁴¹⁷vgl. Ullrich und Vladova (2015), S. 67.

⁴¹⁸vgl. IHK Darmstadt Service GmbH (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁴¹⁹vgl. Stich et al. (2018), S. 156.

⁴²⁰vgl. Spath et al. (2015), S. 116.

⁴²¹vgl. Borch und Zinke (2008), S. 44f.

⁴²²vgl. C. M. Schlick et al. (2015), S. 40.

⁴²³vgl. ebenda, S. 54.

⁴²⁴vgl. Kempster, Jost und Künz (2020), S. 229.

⁴²⁵vgl. Spath et al. (2013), S. 5f.

⁴²⁶vgl. ebenda, S. 71ff.

⁴²⁷vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020d), S. 8f., URL siehe Literaturverzeichnis.

⁴²⁸vgl. Spath et al. (2013), S. 72.

⁴²⁹vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020d), S. 9, URL siehe Literaturverzeichnis.

den eigenständig an welchem Ort und zu welcher Zeit ihr Arbeitseinsatz stattfindet. Durch dieses Modell der Arbeitsorganisation kommt es zu einer hohen Flexibilisierung von Arbeitszeiten. Die Verantwortung des Personals steigt.⁴³⁰ Der Aufwand der Personaleinsatzplanung wird mithilfe dieser selbstständigen Organisationsübernahme durch das Personal maßgeblich reduziert.⁴³¹

Für den flexiblen Personaleinsatz können verschiedene Methoden eingesetzt werden, wozu auch die Verleihung von Mitarbeitern zählt. Mitarbeiter werden in verschiedenen Organisationseinheiten⁴³² oder an anderen Produktionslinien eingesetzt.⁴³³ Die Existenz dieser Einsatzflexibilität ist ein bedeutender Faktor. Zum Konzept des flexiblen Personaleinsatzes gehört neben der räumlichen und aufgabentechnischen Flexibilität auch der Austausch von Mitarbeitern über mehrere Standorte hinweg.⁴³⁴ Es muss eine Eignung für diesen flexiblen Einsatz vorhanden sein (Mitarbeiterqualifikation).⁴³⁵ Grundsätzlich ist der flexible Personaleinsatz eng mit der Selbstorganisation der Teams verknüpft. Die Produktionsbeschäftigten arbeiten in ortsunabhängigen und vernetzten Teams sowie in (internationalen) Projekten. Eine Anwesenheit im Betrieb ist bei vielen Tätigkeiten nicht mehr zwingend erforderlich und die Arbeit erfolgt weniger in getakteten Schichtlängen.⁴³⁶

Zusätzlich stehen Fragen der „Work-Life-Balance“ im Vordergrund.⁴³⁷ Darunter fallen Überlegungen, das Privatleben der Produktionsmitarbeiter in Einklang mit deren Arbeitsleben zu bringen.⁴³⁸ Es ergeben sich Verbesserungen für viele Mitarbeiter, da es möglich wird, je nach individueller Lebenssituation, am besten passende Einsatzorte und Einsatzzeiten auszuwählen. Somit werden persönliche Bedürfnisse berücksichtigt.⁴³⁹ In Ergänzung dazu finden in dieser Form der Arbeitsorganisation flexible Beschäftigungsverhältnisse Anwendung.⁴⁴⁰ Bei nachteiligen Schwankungen ermöglicht es ein flexibler Personaleinsatz korrigierende Handlungen in Form von Arbeitszeitverringerungen und Leiharbeit einzuleiten. Der generelle Einsatz von Teilzeit, erweiterten Arbeitszeitkonten und Gleitzeit in der Produktion dient außerdem einer schnellen Personalkapazitätsanpassung. Bei kurzzeitig erhöhten Bedarfen können Zusatzschichten und Überstunden geleistet werden. Prinzipiell sind auch Vertrauensarbeitszeit, variable Bezahlung, Zeitarbeit und Stellen auf Minijob Basis denkbare und praktikable Mittel der zukünftigen Produktion.⁴⁴¹

⁴³⁰vgl. Niesing (2013), S. 12f.

⁴³¹vgl. Spath et al. (2013), S. 85.

⁴³²vgl. ebenda, S. 82.

⁴³³vgl. Senderek (2018), S. 92.

⁴³⁴vgl. Spath et al. (2013), S. 77.

⁴³⁵vgl. Holtgrewe et al. (2015), S. 27.

⁴³⁶vgl. Jeske et al. (2015), S. 29.

⁴³⁷vgl. Jeske et al. (2015), S. 29.

⁴³⁸vgl. Spath et al. (2013), S. 73.

⁴³⁹vgl. Zimmermann (2017), S. 61.

⁴⁴⁰vgl. Matuschek (2017), S. 87.

⁴⁴¹vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020c), S. 2, URL siehe Literaturverzeichnis.

Bei einem flexiblen Einsatz von Produktionspersonal werden verschiedene Assistenzsysteme zur Verbesserung der Personaleinsatzplanung genutzt. Dabei werden individuelle Qualifikationen, Verfügbarkeiten, bevorzugte Arbeitszeiten und auch ergonomische Aspekte berücksichtigt.⁴⁴² Eine Intention der Verwendung eines flexiblen Personaleinsatzes ist es, die Flexibilität von Produktionstechnik besser auszuerschöpfen. Eine personalseitige Flexibilität kann eine technologische Flexibilität unterstützen (Kapitel 4.3.3).⁴⁴³ An all diesen Punkten zeigen sich die vielseitigen Ausgestaltungsmöglichkeiten des flexiblen Personaleinsatzes. Fortführend widmet sich das nächste Teilkapitel der Motivation von Mitarbeitern.

4.2.3. Förderung der Mitarbeitermotivation

Die letzte Anforderung an eine zukünftige Produktion in der Teilkategorie „Mensch“ ist die Förderung der Mitarbeitermotivation. Motivation beinhaltet die Bereitschaft und die Beweggründe für bestimmte Verhaltensweisen und Handlungen.⁴⁴⁴ Für die Motivation von Produktionspersonal bedeutet diese allgemeine Definition, dass in jeder Situation die richtigen Handlungsanreize vorhanden sind und das richtige Verhalten zur Erledigung der Arbeitsaufgaben zum Vorschein kommt.⁴⁴⁵

Das Personal hat innerhalb der Produktion ein hohes Leistungslevel zu erreichen. Mit einer personalseitigen hohen Motivation zur Leistungserbringung kann diesem Anspruch Rechnung getragen werden. Betrachtet man die Organisation der Produktion der Zukunft, so sind der dauerhafte Erhalt und die stetige Förderung der Mitarbeitermotivation zur Festigung organisatorischer Strukturen zu diskutieren.⁴⁴⁶ Das Motivationslevel muss aufrechterhalten werden, weil umfangreiche Kompetenzen zur Erfüllung von fordernden Organisationsaufgaben notwendig sind.⁴⁴⁷ Obwohl die Arbeit von erhöhter Komplexität geprägt sein wird, sind die Arbeiter wesentlich freier in dem was sie tun. Arbeitgeber müssen deshalb dafür sorgen, die Motivation und den Antrieb der Mitarbeiter hoch zu halten.⁴⁴⁸ Unter diesen Gesichtspunkten ist die individuelle Mitarbeiterqualifikation eng mit der Mitarbeitermotivation verwurzelt. Ist dem Mitarbeiter der Nutzen seiner Arbeit bewusst⁴⁴⁹ und weiß er um seine Eignung die jeweilige Aufgabe zu bewältigen, ist er grundsätzlich mit einer motivierteren Arbeitshaltung zugange.⁴⁵⁰ Sind die Auswirkungen der eigenen Arbeit und die Wichtigkeit des eigenen Arbeitsplatzes bekannt, hat dies gleichermaßen einen positiven Einfluss auf die Motivation.

Allein schon die Produktionsorganisation und ihr Aufbau an sich sind motivationsbeeinflussend. Durch Unsicherhei-

⁴⁴²vgl. Börkircher et al. (2018), S. 13.

⁴⁴³vgl. Holtgrewe et al. (2015), S. 27.

⁴⁴⁴vgl. Schröder (2019), S. 11.

⁴⁴⁵vgl. Adami und Houben (2008), S. 86.

⁴⁴⁶vgl. ebenda, S. 84f.

⁴⁴⁷vgl. Graf et al. (2017), S. 119.

⁴⁴⁸vgl. F. Becker (2019), S. 2

⁴⁴⁹vgl. Graf et al. (2017), S. 119.

⁴⁵⁰vgl. Rosenstiel (2007), S. 57.

ten, ein ungenügendes Verständnis der Organisation sowie die nicht vorhandene Kenntnis von Entscheidungswegen und Entscheidungskriterien fällt die Motivation geringer aus.⁴⁵¹ Für die Erreichung einer hohen Mitarbeitermotivation muss dem entgegengewirkt werden. Zusätzlich schlägt sich eine erhöhte Motivation in dem Faktor Arbeitsbereitschaft nieder.⁴⁵² Je nach Motivation und Einstellung differiert die Arbeitsleistung,⁴⁵³ die Geschwindigkeit der Arbeit, oder das Verhalten während der Schichtübergabe und in den Pausen. Der zweite Faktor zur Beschreibung von Effekten der Motivation ist die Einsatzbereitschaft. Sie zeigt sich exemplarisch im Grad der Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme⁴⁵⁴ und im kontinuierlichen Anstreben von Verbesserungen durch Mitarbeiter.⁴⁵⁵ Positive Wirkungen von Mitarbeitermotivation zeigen sich in einer Reduzierung von Unfallzahlen und Fehlverhalten.⁴⁵⁶ Der dritte Teilbereich der Motivation ist die Lernbereitschaft.⁴⁵⁷ Zum einen betrifft dies die eigenen Lernprozesse.⁴⁵⁸ Zum anderen zeigt sich Lernbereitschaft in der Wahrnehmung von Qualifikationsmaßnahmen und deren anhaltendem Erfolg.⁴⁵⁹

Eine Möglichkeit zur Beeinflussung und Steuerung von Mitarbeitermotivation ist es, verschiedene Anreizsysteme und Belohnungskonzepte zu schaffen. Es können positive Anreize Anwendung finden, jedoch sind auch negative Anreizfaktoren zum Beispiel in Form von monetären Einbußen denkbar, auch wenn hier die praktische Handhabung eher schwierig erscheint. Soziale Anreizsysteme, die Reputation oder Leistung messen und vergleichen, sind weitere denkbare Mittel, um Mitarbeiter in der Produktionsumgebung zu motivieren.⁴⁶⁰ Die Gewährung von Arbeitsplatzsicherheit ist ein weiterer Motivator für Mitarbeiter.⁴⁶¹ Zufriedenheit und Motivation sind des Weiteren durch einen hohen Teamzusammenhalt,⁴⁶² eine verbesserte Kommunikation und eine ausgedehnte Kooperation zu erreichen.⁴⁶³ Attraktivität zwecks Mitarbeitermotivation kann durch die Veränderung des Arbeitsumfeldes geschaffen werden.⁴⁶⁴ Es ist wichtig, dass Mitarbeiter in die Gestaltung der Arbeitsumgebung einbezogen werden, da sie dadurch motivierter sind und Veränderungen leichter annehmen. Motivationsfördernde Maßnahmen betreffen zum Beispiel Zeitpläne und die Arbeitszeitverteilung.⁴⁶⁵

Inhalte der Konzepte der modernen Führung und der Selbstorganisation stellen wesentliche Komponenten eines

solchen Arbeitsumfeldes mit motivationssteigernden Effekten dar.⁴⁶⁶ Durch die Einräumung von Autonomie und Verantwortlichkeiten entwickelt sich die Motivation positiv.⁴⁶⁷ Die Motivation von Mitarbeitern hat ergänzend zentrale Einflüsse auf die Kennzahlen zur Steuerung der Produktion und kann selbst als Kennzahl herangezogen werden.⁴⁶⁸ Die Förderung der Mitarbeitermotivation ist letztendlich eine wichtige, zu diskutierende, menschenbezogene Anforderung an die zukünftige Produktion.

4.3. Anforderungen der Kategorie „Technologie“

4.3.1. Ausrichtung auf Lean Management 4.0

Die Ausrichtung der Produktion auf Lean Management in Kombination mit der Veredelung durch Industrie 4.0 ist eine technologische Anforderung an die Produktion der Zukunft. Schlanke Prozesse und Industrie 4.0 widersprechen sich nicht, sondern können sich sinnstiftend ergänzen.⁴⁶⁹ Bei einer Umgestaltung der Produktion zur „Smart Factory“ werden existierende schlanke, prozesssichere Produktionssysteme digital aufgewertet.⁴⁷⁰ Der eindeutige Fokus dieser Anforderung liegt auf der Darstellung der Möglichkeiten zur Anpassung von Lean Management durch I4.0 Konzepte. Die grundlegenden Prinzipien des Lean Managements werden deshalb nur grob erläutert.

Eine schlanke Produktion verfolgt das Ziel einer exzellenten Qualität und Produktivität.⁴⁷¹ Die wesentlichste Säule des Lean Ansatzes ist die Übertragung von Verantwortung für die permanente Verbesserung von Prozessen auf die Mitarbeiter in der Produktion. Verschwendungsvermeidung, eine geringe Fehlerrate und ein optimaler Material- und Arbeitseinsatz sind weitere Bestandteile des Lean Managements. Mitarbeiter sollen als eigenständige, systematische Problemlöser agieren.⁴⁷² Basis des „Toyota Production Systems“ sind standardisierte, stabile und beherrschbare Prozesse. Das „Jidoka“ Element des Systems fixiert sich darauf, Fehler und Defekte einzugrenzen und diese rapide zu eskalieren. Ein visuelles Management dient dazu, Abweichungen von gesetzten Standards aufzuspüren. Die „Just in Time“ Produktion ist eine weitere Systemkomponente.⁴⁷³ Neben den Prinzipien „One Piece Flow“, „Kanban“ und „Ordnung und Sauberkeit“ gibt es noch weitere Lean Werkzeuge, auf welche an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann.⁴⁷⁴ Doch wie sind diese Lean Ansätze mit neuartigen digitalen Möglichkeiten in Einklang zu bringen? Die Kombination von Industrie 4.0 und Lean Management wird als Lean 4.0 bezeichnet. Industrie 4.0 bietet das Potential die Anforderungen an eine Lean Management Produktion hinsichtlich null

⁴⁵¹vgl. Adami und Houben (2008), S. 88f.

⁴⁵²vgl. ebenda, S. 85.

⁴⁵³vgl. Ullrich und Vladova (2015), S. 58 und F. Becker (2019), S. 2

⁴⁵⁴vgl. Adami und Houben (2008), S. 85.

⁴⁵⁵vgl. Antoni (2017), S. 164.

⁴⁵⁶vgl. F. Becker (2019), S. 2.

⁴⁵⁷vgl. Adami und Houben (2008), S. 85.

⁴⁵⁸vgl. Strauß (2019), S. 509.

⁴⁵⁹vgl. Adami und Houben (2008), S. 85.

⁴⁶⁰vgl. Schuh, Fabry, Schmitz-Urban und Siegers (2015), S. 651.

⁴⁶¹vgl. Adami und Houben (2008), S. 89.

⁴⁶²vgl. F. Becker (2019), S. 94f.

⁴⁶³vgl. Soder (2017), S. 12f.

⁴⁶⁴vgl. Adami und Houben (2008), S. 84f.

⁴⁶⁵vgl. Schröder (2019), S. 30.

⁴⁶⁶vgl. F. Becker (2019), S. 103 und Sass (2019), S. 10f.

⁴⁶⁷vgl. Orpen (1997), S. 193 und S. 204.

⁴⁶⁸vgl. Stich et al. (2018), S. 177.

⁴⁶⁹vgl. Metternich, Adolph et al. (2017), S. 193.

⁴⁷⁰vgl. ebenda, S. 196.

⁴⁷¹vgl. Meudt, Hartmann und Metternich (2018), S. 6.

⁴⁷²vgl. Metternich, Adolph et al. (2017), S. 193-196.

⁴⁷³vgl. Meudt et al. (2018), S. 7f. zitiert nach: Ohno (1988).

⁴⁷⁴vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 53.

Fehler und einer hohen Prozessqualität zu erfüllen.⁴⁷⁵ Wenn eine Ausrichtung auf Lean 4.0 vollzogen wird, ergeben sich schlanke Wertschöpfungsketten, die durch innovative Organisationskonzepte und Technologien geformt und unterstützt werden.⁴⁷⁶

Bei der Verwendung von I4.0 Ansätzen wird Mitarbeitern durch die technologische Unterstützung vergleichsweise der Druck einer schnellen Problemlösung und unmittelbaren Analyseerkenntnis genommen.⁴⁷⁷ Zusätzlich wird mit der Förderung einer Selbstoptimierung der Produktion durch I4.0 Technologie der Leitgedanke einer stetigen Verbesserung durch reaktive Mitarbeiter angegangen. Die Lean Philosophie des Strebens nach jederzeitigem Wissen über Material und Ort wird in der Industrie 4.0 durch Echtzeitdaten maßgeblich erleichtert.⁴⁷⁸ Durch Datenkorrelationen können Ursachen für Probleme und Abweichungen in dem realen Prozess gefunden werden.⁴⁷⁹ Das schlanke Produktionssystem wird durch die Informationsbereitstellung in Echtzeit über den ganzen Wertstrom hinweg organisatorisch erleichtert und optimiert.⁴⁸⁰ Die Umsetzung der Lean Philosophie einer hohen Produktionsprozessqualität erfolgt mithilfe des hohen Grades an Überwachung durch Sensoren, sowie durch intelligente Produkte und Maschinen.⁴⁸¹

Die Verbindung von Lean und Industrie 4.0 hegt resümierend sehr große Synergiepotenziale⁴⁸² und Produktivitätspotenziale.⁴⁸³ Ergänzende Chancen durch Lean 4.0 sind exemplarisch das optimale Auslasten von Montagelinien, die frühzeitige Erkennung von Engpässen, die Verringerung von Durchlaufzeiten,⁴⁸⁴ ein besserer Informationsfluss und eine hohe Transparenz.⁴⁸⁵ Nachfolgend sind ergänzende Punkte zur Integration und Kombination der beiden Ansätze Lean Management und Industrie 4.0 abgebildet (Abb. 6). Zusätzliche Informationen sind bei Meudt et al. (2018) zu finden.⁴⁸⁶

Eine Lean Management Produktion ist eine notwendige organisatorische Basis für die Einführung von Industrie 4.0.⁴⁸⁷ Ist diese Basis vor der Implementierung von technischen I4.0 Lösungen vorhanden, liegt ein gutes, abgestimmtes, fehlerfreies Prozessgerüst zugrunde. Dadurch wird die Gefahr minimiert, eine problembehaftete Produktion mit I4.0 Lösungen zu überdecken, welche dann nicht wie geplant funktionieren können.⁴⁸⁸ Neben der Ausrichtung der Produktion auf Lean 4.0 ist eine ausgiebige Vernetzung und Transparenz eine Anforderung an die Organisation der zukünftigen Produktion.

⁴⁷⁵vgl. Glück (2015), S. 39f.

⁴⁷⁶vgl. Neuhaus (2018), S. 55f.

⁴⁷⁷vgl. Losch (2016), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁴⁷⁸vgl. Meudt et al. (2018), S. 9.

⁴⁷⁹vgl. Metternich, Müller, Meudt und Schaeede (2017), S. 346.

⁴⁸⁰vgl. Meudt et al. (2018), S. 9.

⁴⁸¹vgl. Kaufmann (2015), S. 27f.

⁴⁸²vgl. Goschy und Metternich (2016), S. 13.

⁴⁸³vgl. Lanza und Nyhuis (2016), S. 25.

⁴⁸⁴vgl. Meudt et al. (2018), S. 14ff.

⁴⁸⁵vgl. ebenda, S. 18f.

⁴⁸⁶Ebenda.

⁴⁸⁷vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 53.

⁴⁸⁸vgl. Jeske et al. (2015), S. 30.

4.3.2. Vernetzung und Transparenz

Die Vernetzung in der industriellen Fertigung steigt stetig an.⁴⁸⁹ Im Kontext der Produktion bezieht sich Vernetzung auf alle wissensbezogenen, organisatorischen und technischen Abläufe zwischen verschiedenen Leistungseinheiten sowie auf eine Kooperation von allen Beteiligten. Die Vernetzung begrenzt sich nicht nur auf interne Bereiche, sondern überschreitet Unternehmensgrenzen.⁴⁹⁰ Partner, Kunden, Lieferanten und Berater fungieren infolge der Vernetzung als interne Unternehmensteile.⁴⁹¹ Der Begriff einer horizontalen Vernetzung wird für die Beschreibung der Vernetzung innerhalb einer Unternehmensebene und über Unternehmensgrenzen hinweg verwendet, während die vertikale Vernetzung die Ebenen übergreifende Vernetzung im Unternehmen definiert.⁴⁹²

Eine prinzipielle Zielsetzung der Vernetzung in der Produktion ist die Installation von kurzen Wegen in Bezug auf physische Bewegungen, Wissen und Information, um zeitnah auf Störungen und Abweichungen jeder Größe zu reagieren.⁴⁹³ Die Vernetzung des gesamtheitlichen Produktionsprozesses ermöglicht eine transparente Darstellung des Produktionszustandes im Sinne eines Echtzeitabbildes. Dank dieser Transparenz ist es möglich, jederzeit in die mit Echtzeitinformationen abgebildete Wertschöpfung einzugreifen und diese zu steuern. Die Durchgängigkeit von IT-Systemen ist eine der Voraussetzungen dafür, dass Produktionsstandorte, Anlagen, Maschinen, Computer und Datenbanken digital vernetzt sein können und miteinander interagieren.⁴⁹⁴ Durch die Verketzung von jeglichen CPS werden eine Vielzahl an Daten gewonnen, sodass im Anschluss intelligente Geräte Informationen für Beschäftigte liefern.⁴⁹⁵ So können mobile Geräte in einer „Smart Factory“ genutzt und zusätzlich in das vernetzte System integriert werden, wodurch beispielsweise auch Mobilfunkgeräte, Laptops oder Tablets ihren Teil zu der umfassenden Vernetzung beitragen. Die verbesserte Transparenz durch die Vernetzung vieler verschiedener Komponenten unterstützt die Mitarbeiter bei ihren Aufgaben in der Produktion. Sie erhalten aktuelle Zustands- und Prozessinformationen, welche es ihnen erlauben, jederzeit unmittelbar zu kommunizieren und operative oder managementbezogene Aktionen einzuleiten.⁴⁹⁶

Transparenz führt dazu, dass zu jeder Zeit Orte und Bewegungen von allen möglichen Dingen (z.B. Mitarbeiter, Teile, Lagerbehälter) in der Produktion verfolgt werden können. Bei einer starken Vernetzung und Transparenz wird der Materialfluss bis außerhalb der Fabrik verfolgt. Es werden Verbrauchsdaten und Prozessparameter gesammelt, analysiert und zuverlässig geplant.⁴⁹⁷ Die durchgängige Lieferung von

⁴⁸⁹vgl. Aßmann (2017), S. 321.

⁴⁹⁰vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 128.

⁴⁹¹vgl. Cole (2017), S. 60.

⁴⁹²vgl. Pawellek und Schirrmann (2017), S. 121.

⁴⁹³vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 131.

⁴⁹⁴vgl. Pawellek und Schirrmann (2017), S. 121.

⁴⁹⁵vgl. Geisberger und Broy (2012), S. 124.

⁴⁹⁶vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 173.

⁴⁹⁷vgl. Hoffmann (2017), S. 58f.



Abbildung 6: Integration der Digitalisierung in den klassischen Lean Ansatz nach Meudt et al. (2018).

Quelle: Meudt et al. (2018), S. 10.

Informationen zu Prozessen dient der Dokumentation und sichert eine transparente Ressourcennutzung.⁴⁹⁸ Zusammenfassend schafft eine Verwendung smarter Komponenten zur Abbildung des gesamten Betriebs und dessen Zustands eine hohe Transparenz und beabsichtigt eine weitläufige Optimierung von Abläufen, Kosten und einzelnen Komponenten der Produktion.⁴⁹⁹ Die Transparenz wird benötigt um Effizienz zu sichern und eine stetige Rückmeldung aus der Produktion zu erhalten. Dadurch wird zudem die Steuerung von Kennzahlen unterstützt.⁵⁰⁰

Ein ergänzender Schwerpunkt von Vernetzung und Transparenz ist es, das gesamte Management der Produktion realitätsnah zu vollziehen. Im Wesentlichen sollen Entscheidungen immer auf Basis der richtigen Informations- und Datengrundlage getroffen werden und somit Verbesserungen bewirken. Ein allumfassendes Systemmonitoring unterstützt zügige Reaktionen auf Störungen und Abweichungen. Zeitraumbesichtigungen fördern in diesem vernetzten, transparenten System die Gewinnung von Erkenntnissen zum Verhalten der Produktion. Somit können Planungen detaillierter ausfallen.⁵⁰¹ Ein weiteres Ziel ist es, Beschäftigte aus unterschiedlichen Qualifikationsebenen lernfördernd zu verbinden.⁵⁰²

Eine umfangreiche Vernetzung und Transparenz kann, wie in diesem Kapitel aufgezeigt, einige positive Wirkungen haben. Schlussendlich ist die vernetzte und transparente Produktion eine bereits länger diskutierte technologische Anforderung, die von Industrie 4.0 affinen Produktionsunternehmen anvisiert werden kann. Dasselbe trifft auch auf die

nächste zur Debatte stehende Anforderung zu. Die Wandlungsfähigkeit der Produktion ist die dritte organisationale Anforderung in der Kategorie „Technologie“.

4.3.3. Wandlungsfähigkeit der Produktion

Die Wandlungsfähigkeit ist das Vermögen einer Fabrik, mit niedrigem Aufwand aktiv strukturelle Veränderungen zu vollziehen, wenn interne und externe Auslöser dies erforderlich machen.⁵⁰³ Eine kontinuierliche Anpassung wird erst durch anpassbare Gegebenheiten, Strukturen und Prozesse ermöglicht.⁵⁰⁴ Der überwiegend automatisierte, schnelle physische Umbau der Fertigung und die Anpassung des Produktionslayouts sind typisch für eine wandlungsfähige Fabrik.⁵⁰⁵ Anpassungsmaßnahmen können beispielsweise Kapazitäten und Produktionsvolumina betreffen,⁵⁰⁶ aber auch die Durchführung veränderter Aufträge und die Herstellung vielfältiger, andersartig konfigurierter Produkte sind eine Stärke der wandlungsfähigen Produktion.⁵⁰⁷

Modularität, Mobilität, Skalierbarkeit, Kompatibilität und die Universalität stellen relevante Elemente zur Beschreibung einer wandlungsfähigen Produktion dar. Durch eine Veränderung dieser als „Wandlungsbefähiger“ bezeichneten Faktoren, lassen sich Flexibilitätskorridore bedarfsweise reaktiv oder proaktiv verschieben. Die Fähigkeit zu dieser Verschiebung ist als Wandlungsfähigkeit einer Fabrik definiert (Abb. 7).⁵⁰⁸

Flexibilität beinhaltet die Erhöhung oder Erniedrigung von Anforderungen innerhalb eines Korridors, beispielsweise

⁴⁹⁸vgl. Wiendahl (2002), S. 123.

⁴⁹⁹vgl. Westkämper (1999), S. 131.

⁵⁰⁰vgl. Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0 (2016), S. 12.

⁵⁰¹vgl. Das (2001), S. 4154.

⁵⁰²vgl. Dobrowolski (2016), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵⁰³vgl. Heinen, Rimpau und Wörm (2008), S. 25ff.

⁴⁹⁸vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 161.

⁴⁹⁹vgl. Lucke, Defranceski und Adolf (2017), S. 81.

⁵⁰⁰vgl. Kletti (2015), S. 3f.

⁵⁰¹vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 170f.

⁵⁰²vgl. Ittermann und Niehaus (2018), S. 52.

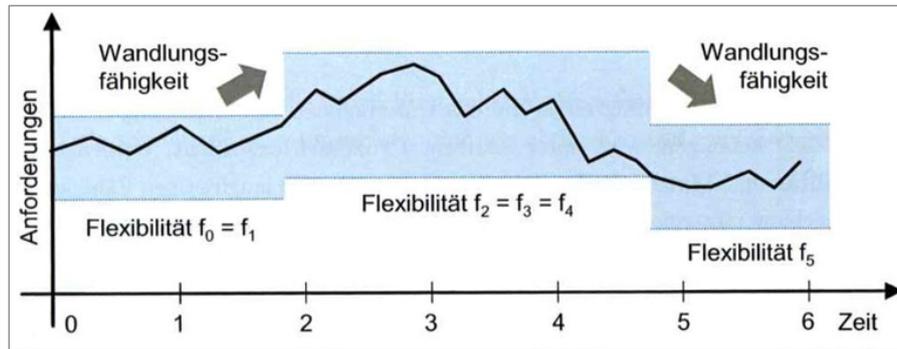


Abbildung 7: Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit (Originalquelle Zäh und Reinhart (2005) adaptiert von Heinen et al. (2008)).

Quellen: Zäh und Reinhart (2005), S. 4 und Heinen et al. (2008), S. 25.

se in Bezug auf Qualität oder Menge. Mithilfe von Wandlungsfähigkeit kann zu bestimmten Zeitpunkten eine Erweiterung oder Schrumpfung dieser Flexibilität anvisiert werden.⁵⁰⁹ Wenn sich Leistungen außerhalb des Flexibilitätskorridors befinden, sind diese allein mit Flexibilität nicht ausreichend zu erfüllen. Bei diesem Zustand ist die Wandlungsfähigkeit eines Produktionssystems gefragt. Jedoch ist diese Wandlungsfähigkeit durch zeitliche und finanzielle Grenzen limitiert.⁵¹⁰ Die Flexibilität stellt sowohl für die wandlungsfähige Produktion als auch für die nächste Stufe der agilen Produktion eine essenzielle Voraussetzung dar (siehe Anh. 4).⁵¹¹ Außerdem greift die Anlagen- und Kapazitätsflexibilität eine flexible Justierung bezüglich Losgrößen, Variantenvielfalt und Prozessschrittreihenfolge auf.⁵¹² Flexibilität ist demnach also ein „Rüstzeug“ der Produktion.⁵¹³ Im Endeffekt ist es ein Ziel, die flexible Anpassung so kostengünstig wie möglich durchzuführen.⁵¹⁴

Die Modularität als Industrie 4.0 Komponente der Wandlungsfähigkeit ist der modulare Aufbau der Produktion mit interoperablen und intelligenten Modulen. Aufgrund von Schnittstellen und einer hohen Kompatibilität der Module sind unterschiedliche Konfigurationen und funktionspezifische Kombinationen verschiedener Anlagen und Maschinen realisierbar.⁵¹⁵ Die separaten Einheiten des Fertigungssystems sind standardisiert und einfach auszuwechseln. Auf der softwaretechnischen Seite ermöglicht die Kompatibilität eine Vernetzung aller Anlagen und Einheiten. Dadurch wird ein verknüpfender Austausch zwischen diesen garantiert. Der Parameter Universalität kennzeichnet, in welchem Maße Anpassungsfähigkeiten von Arbeitern und Maschinen vorliegen.⁵¹⁶ Weitere Elemente sind die Mobilität als unbegrenzte räumliche Bewegbarkeit aller Dinge in der Produktion so-

wie die Skalierbarkeit als das Vermögen von Objekten zur technologischen und räumlichen Erweiterung und Reduzierung.⁵¹⁷

Eine wandlungsfähige Produktion lässt sich einfach und schnell je nach den Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel der Marktsituation und den aktuellen Kundenwünschen, umbauen.⁵¹⁸ Diese Rahmenbedingungen vermögen auch rechtlicher und gesellschaftlicher Natur zu sein.⁵¹⁹ Ein auf solche äußere Faktoren reagierender Umbau der Produktion erfolgt selbstorganisiert und reibungslos.⁵²⁰ Zur Verdeutlichung der Thematik ist es beispielsweise eine konkrete wandlungsfähige Maßnahme einen Maschinenausfall aufzufangen, indem eine selbstentscheidende Umleitung von Materialien auf andere Anlagen stattfindet.⁵²¹ Relevante Zielgrößen, die mit einer wandlungsfähigen Produktion intendiert werden, sind die Erhöhung der Gesamtauslastung der Fertigung und die Steigerung der Lieferfähigkeit.⁵²²

Insgesamt sind bei der Wandlungsfähigkeit menschliche Fähigkeiten mitentscheidend, denn der Mensch prägt den Wandel der Produktion durch seine intelligente Anschauung und Kreativität maßgeblich mit.⁵²³ Wandlungsfähige Systeme stoßen an ihre Grenzen, wenn die Integration und Einbeziehung der Mitarbeiter, die den Wandel vollziehen und sich in den vielzählig veränderten Strukturen orientieren müssen, ausbleibt. Diesbezüglich wird an dieser Stelle auf einen ergänzenden Beitrag in der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb von Heinen, Hirsch und Nyhuis (2009) hingewiesen. Dieser zeigt fortführend auf, inwiefern Wandlungsfähigkeit mit Mitarbeiterkompetenz verknüpft ist.⁵²⁴

Die wandlungsfähige Produktion der Zukunft ist nicht nur flexibel, sie ist zur Selbstoptimierung geeignet, fähig zu

⁵⁰⁹vgl. Zäh und Reinhart (2005), S. 4.

⁵¹⁰vgl. Upton (1994), S. 73f.

⁵¹¹vgl. Wiendahl (2002), S. 126.

⁵¹²vgl. Stief (2018), S. 100.

⁵¹³vgl. Sharma und Ali (2010), S. 210.

⁵¹⁴vgl. Gibson et al. (2008), S. 714.

⁵¹⁵vgl. Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0 (2016), S. 12f.

⁵¹⁶vgl. Heinen et al. (2008), S. 25ff.

⁵¹⁷vgl. Steegmüller und Zürn (2017), S. 29.

⁵¹⁸vgl. Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0 (2016), S. 12.

⁵¹⁹vgl. Westkämper (1999), S. 131f.

⁵²⁰vgl. Dumitrescu und Marquardt (2017), S. 641.

⁵²¹vgl. Stief (2018), S. 80.

⁵²²vgl. Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0 (2016), S. 12f.

⁵²³vgl. Westkämper, Zahn, Balve und Tilebein (2000), S. 25f.

⁵²⁴Heinen et al. (2009).

lernen und passt sich jederzeit dem rasanten technologischen Wandel an.⁵²⁵ Industrie 4.0 Technologien und Lösungen tragen in diesem Szenario dazu bei, die Wandlungsfähigkeit zu verbessern.⁵²⁶ Mit Blick auf den I4.0 Bereich betrifft die Flexibilität als Vorstufe einer wandlungsfähigen Produktion neuartige Komponenten, wie etwa die schnelle und flexible Darstellung von Daten und Informationen auf Datenbrillen, Bildschirmen, Tablets oder sonstigen Wearables.⁵²⁷ Die reale Fabrik wird in eine I4.0 Fabrik transformiert, um die ständige Adaption der Produktion zu begünstigen und zu optimieren.⁵²⁸ Schlussendlich sollen die beschriebenen Aspekte und Bestandteile der Wandlungsfähigkeit durch Industrie 4.0 unterstützt und verbessert werden. Es ist eine Anforderung an die Produktion der Zukunft wandlungsfähig zu sein, doch die Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit ist laut der zugrundeliegenden Literatur eine gleichfalls bedeutsame technisch-organisatorische Anforderung.

4.3.4. Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit

In den vergangenen Jahren hat sich die Nachhaltigkeit in der Produktion zu einer wichtigen Strategie entwickelt. In einer Welt, in der globale Erwärmung, Klimawandel und Umweltverschmutzung stark diskutierte Themen sind, müssen Unternehmen Antworten und Lösungen finden.⁵²⁹ Die Rohstoffverknappung ist ein Faktor der Unternehmen zum Umdenken anleitet,⁵³⁰ da dieser mit Preissteigerungen einher geht.⁵³¹ Nachhaltigkeit wird von Unternehmen angetrieben und in vielen Fällen von Kundenseite gewünscht.⁵³²

Die Nachhaltigkeit im Kontext der Produktion beruht auf mehreren Säulen.⁵³³ Die ökonomische Nachhaltigkeit stellt Finanzaspekte in den Vordergrund. Infrastruktur, Gebäude und Betriebsmittel zählen als finanzielle Ressourcen, bei denen ein kostensparender und nachhaltiger Ansatz verfolgt werden kann.⁵³⁴ Der Auftrag der sozialen Nachhaltigkeit ist es, mitarbeiterbezogene Aspekte nachhaltig auszurichten. Hier geht es beispielsweise um die Erhaltung und Schaffung von Arbeitsplätzen, einen fairen Umgang mit dem Personal und eine soziale Chancengleichheit. Zu dieser Säule gehört zudem die nachhaltige Gestaltung der Produktionsarbeitsplätze.⁵³⁵ Die dritte Säule der Nachhaltigkeit zielt auf ein ökologisch verantwortliches Handeln ab.⁵³⁶ Zu dieser Form der Nachhaltigkeit gehört ein ausschweifender Blick auf die Umwelt,⁵³⁷ zum Beispiel in Form der Verwendung

erneuerbarer Energiequellen und umweltfreundlicher Ressourcen. Eine auf ökologische Nachhaltigkeit achtende Herstellungskette ist komplett umweltfreundlich konzipiert und lässt so wenig Abfall wie möglich zurück.⁵³⁸

Fortführend setzt sich eine nachhaltige Produktion mit der Herkunft, dem Transport, der Verarbeitung und der Entsorgung von Ressourcen auseinander. Anlagen und Maschinen müssen dazu fähig sein möglichst umweltschonend zu arbeiten.⁵³⁹ Innerhalb der Produktionsprozesse sind zu einem großen Anteil Materialspar- und Effizienzpotentiale vorhanden, die genutzt werden können. Wenn Ausschuss und Überproduktion auf einem geringen Niveau sind, deutet dies auf eine effiziente und nachhaltige Produktion hin. Grundlage für die Ressourcenschonung und die effiziente Ressourcennutzung ist der produktive Ressourceneinsatz nach dem Maximalprinzip, bei dem mit gegebenem Input ein möglichst hoher Output realisiert wird. Ressourcenschonung betrifft den sparsamen Umgang mit Ressourcen. Rohstoffe,⁵⁴⁰ Zeit, Personal, Arbeit,⁵⁴¹ Fernwärme, Gas⁵⁴² und Wasser sind beispielhafte Ressourcenarten, deren Einsparung lohnend sein kann.⁵⁴³

Die Energieeffizienz ist ein weiteres wichtiges Merkmal einer nachhaltigen Produktion.⁵⁴⁴ Sämtliche Produktionsanlagen sollen so energieeffizient wie möglich arbeiten.⁵⁴⁵ Industrie 4.0 Anwendungen können bei einer Energiesteuerung assistieren, indem beispielsweise Energiedaten der Produktion gesammelt und ausgelesen werden.⁵⁴⁶ Das Ermitteln von Schwachstellen und Energiesparpotenzialen durch eine vernetzte Steuerungstechnik und Maschinen in Echtzeit ist eine Möglichkeit Einfluss auf die Energieeffizienz zu nehmen.⁵⁴⁷ Die intelligente Nutzung von oftmals ungenutzter Abwärme oder überschüssiger Energie kann den Fabrikbetrieb gleichfalls nachhaltig prägen.⁵⁴⁸ Die „Smart Factory“ der Zukunft besitzt durch eine intelligente Kommunikation mit der ganzen Fabrik und den Gebäuden weiteres Potential zur Einsparung von Energie, wobei die Gebäudesteuerung bezüglich Heizung, Klima und Lüftung sowie der Ausgleich von Energiespitzen Angriffspunkte für eine Energieverbrauchsregelung darstellen.⁵⁴⁹

Anhand dieser Sachverhalte lässt sich erkennen, dass Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit durch gemeinsame Werte prinzipiell eng miteinander verbunden sind. Alle in Kapitel (4.) dargelegten organisationalen Anforderungen an die zukünftige Produktion sind laut des aktuellen Forschungsstandes von Bedeutung. Die Untersuchung der Relevanz

⁵²⁵vgl. Dobrowolski (2016), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵²⁶vgl. Lanza et al. (2018), S. 15.

⁵²⁷vgl. Stief (2018), S. 80f.

⁵²⁸vgl. Riffelmacher, Kluge und Westkämper (2009), S. 30.

⁵²⁹vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 202f.

⁵³⁰vgl. Ramsauer (2013), S. 9.

⁵³¹vgl. ebenda, S. 12.

⁵³²vgl. Stief (2018), S. 79.

⁵³³vgl. Westkämper und Löffler (2016), S. 203.

⁵³⁴vgl. Ramsauer (2013), S. 9.

⁵³⁵vgl. Bimos KG (2020b), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵³⁶vgl. Wiendahl, Reichardt und Nyhuis (2014), S. 148.

⁵³⁷vgl. Stief (2018), S. 79f.

⁵³⁸vgl. Bimos KG (2020b), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵³⁹vgl. ebenda.

⁵⁴⁰vgl. Ramsauer (2013), S. 9f.

⁵⁴¹vgl. Stief (2018), S. 87.

⁵⁴²vgl. Abele und Reinhart (2011), S. 168.

⁵⁴³vgl. Manzei (2016), S. 12.

⁵⁴⁴vgl. Laub (2013), S. 6.

⁵⁴⁵vgl. Abele und Reinhart (2011), S. 168.

⁵⁴⁶vgl. Stief (2018), S. 79.

⁵⁴⁷vgl. Laub (2013), S. 6.

⁵⁴⁸vgl. Abele und Reinhart (2011), S. 168.

⁵⁴⁹vgl. Ramsauer (2013), S. 8.

dieser Produktionsanforderungen aus den Kategorien „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ in der Praxis ist ein Bestandteil der nachfolgenden quantitativen Orientierungsbefragung.

5. Quantitative Orientierungsbefragung zur Ermittlung der Bedeutung von Kennzahlen und organisationalen Anforderungen der zukünftigen Produktion

Die Kapitel (2.) bis (4.) zeigen die aktuelle Situation der Produktionsarbeit und wesentliche vorstellbare Zukunftskonzepte auf. Die vorliegende Studie intendiert ein umfassendes Bild der Wichtigkeit der theoretisch erklärten Steuerungskennzahlen und Produktionsanforderungen abzuzeichnen. Konkret sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden: Welches sind die fünf zentralen Kennzahlen zur Steuerung der zukünftigen Produktion und wie setzt sich die Gruppe der für Unternehmen bedeutsamsten Produktionsanforderungen zusammen? Hierfür erfolgt zunächst die Beschreibung der Studienmethodik und des Vorgehens bei der Durchführung der Datenerhebung, bevor auf wesentliche Inhalte und Erkenntnisse eingegangen wird. Eine konkrete Zielsetzung ist es, dadurch den Forschungsstand zu erweitern und eine Orientierung zu schaffen, in welchen organisatorischen Rahmen Industrie 4.0 eingebettet werden sollte. Es erfolgt auch eine Integration von teilweise technologiebezogenen Kennzahlen und Produktionsanforderungen in die Studie, um einen Vergleich zu den organisations- und menschenbezogenen Komponenten zu gewährleisten.

5.1. Konzeption und Methodik der Studie

Innerhalb dieses Abschnitts werden alle genutzten Methoden zur Findung von Antworten auf die Forschungsfragen mithilfe der Studie reflektiert. Grundsätzlich wird bei einer empirischen Überprüfung von theoretischen Aussagen und Konzepten eine Unterscheidung zwischen quantitativen und qualitativen Verfahren vorgenommen.⁵⁵⁰ Zur Überprüfung der theoretischen Überlegungen wird in dieser Studie eine quantitative Vorgehensweise verwendet,⁵⁵¹ da sich diese Art der Befragung für eine breite Erfassung möglichst vieler Erfahrungen, Meinungen und Einstellungen eignet und eine Darstellung von Zusammenhängen in konkreten Zahlenwerten ermöglicht.⁵⁵² Ergänzend handelt es sich hier aufgrund einer relativ überschaubaren Stichprobengröße und der Zielsetzung eine grundsätzliche Orientierung zu liefern um eine Orientierungsbefragung. Außerdem wurde die quantitative Studie als standardisierte schriftliche Befragung mit einem Papierfragebogen durchgeführt.⁵⁵³ Eine Messung von Einstellungen kann entweder explizit oder implizit erfolgen. Bei der Verwendung von expliziten Einstellungsmaßen werden die Befragten direkt darum gebeten, über ihre Einstellung

nachzudenken und diese im Anschluss zu berichten.⁵⁵⁴ Daher wurde die Einstellung der Probanden zu zukünftig wichtigen Kennzahlen und Anforderungen in dieser Arbeit explizit erhoben.

Beschreibung der Stichprobe: Allgemein bildet eine Stichprobe ein verkleinertes, strukturell ähnliches Abbild einer Grundgesamtheit ab. Im weiteren Verlauf werden die Stichprobenelemente mit „n“ angegeben.⁵⁵⁵ Die Studie erfolgt als Stichprobenziehung, da eine Erfassung der Grundgesamtheit in diesem Fall keineswegs möglich ist. Zudem ist eine Vollerhebung aus zeitlichen, monetären, aufwandstechnischen und organisatorischen Gründen nicht sinnvoll.⁵⁵⁶ Eine Teilerhebung, wie sie hier durchgeführt wurde, hat zudem in vielen Fällen den Vorteil qualitativ besser zu sein.⁵⁵⁷ Die dem Autor zugängliche Umfragestichprobe ist grundsätzlich eine bewusste Auswahl von Personen, die Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich Produktion und Industrie 4.0 besitzen. Die Teilnehmer haben in ihren Funktionen in verschiedenen Unternehmen und Forschungs- oder Bildungseinrichtungen mit diesem Themengebiet zu tun. Die Auswahl der Umfrageteilnehmer erfolgte vorausgewählt über das Firmen- und Kontaktnetzwerk des Fraunhofer IAO. Details hierzu folgen in der Studiendurchführung, jedoch muss an dieser Stelle bereits erwähnt werden, dass die Stichprobenziehung innerhalb dieser Vorauswahl als zufällig beschrieben werden kann. Es fand demnach keine explizite Auswahl nach bestimmten soziodemographischen Merkmalen statt (Quotenauswahl).⁵⁵⁸

In dieser Befragung wurde eine relativ kleine Stichprobe von circa 50 Probanden angestrebt. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Gewinnung von Studienteilnehmern als schwierig herausstellte, ergab sich letztendlich eine niedrigere Zahl an Probanden (n=34). Die tatsächliche Stichprobengröße unterscheidet sich weiterhin leicht in den einzelnen Teilen der Umfrage. Außerdem stammen die Probanden aus 24 in ihrer Größe variierenden Einrichtungen. Die exakte Aufteilung ist in Abbildung 8 dargestellt.

Fast 70 Prozent aller befragten Unternehmen und Institutionen lassen sich der Kategorie der Großunternehmen zuordnen, während 20 Prozent der Probanden in mittelgroßen Einrichtungen arbeiten. Kleine Unternehmen sind die am seltensten angesprochene Größenkategorie (12%). Abbildung 9 veranschaulicht in welchen Branchen die befragten Unternehmen und Institutionen tätig sind. Die Teilnehmergruppe der Befragung ist über einige Branchen gestreut, weshalb ein repräsentatives Bild aus verschiedenen Wertschöpfungsketten vorhanden ist. An dieser Stelle war es nicht möglich Angaben in Prozent zu machen, da viele der Einrichtungen mehreren Branchen zuzuordnen sind.

Die am stärksten vertretenen Gruppen sind die Metall- und Elektroverarbeitung (N=11) und die Branche der produzierenden Unternehmen (N=9). Viele Unternehmen stam-

⁵⁵⁰ vgl. Mayer (2009), S. 15.

⁵⁵¹ vgl. Brosius, Haas und Koschel (2016), S. 1.

⁵⁵² vgl. ebenda, S. 3ff.

⁵⁵³ vgl. Mayer (2009), S. 59.

⁵⁵⁴ vgl. Haddock und Maio (2014), S. 213.

⁵⁵⁵ vgl. Brosius et al. (2016), S. 61.

⁵⁵⁶ vgl. Kromrey, Roose und Strübing (2016), S. 254f.

⁵⁵⁷ vgl. Schumann (2006), S. 82.

⁵⁵⁸ vgl. Brosius et al. (2016), S. 67ff.

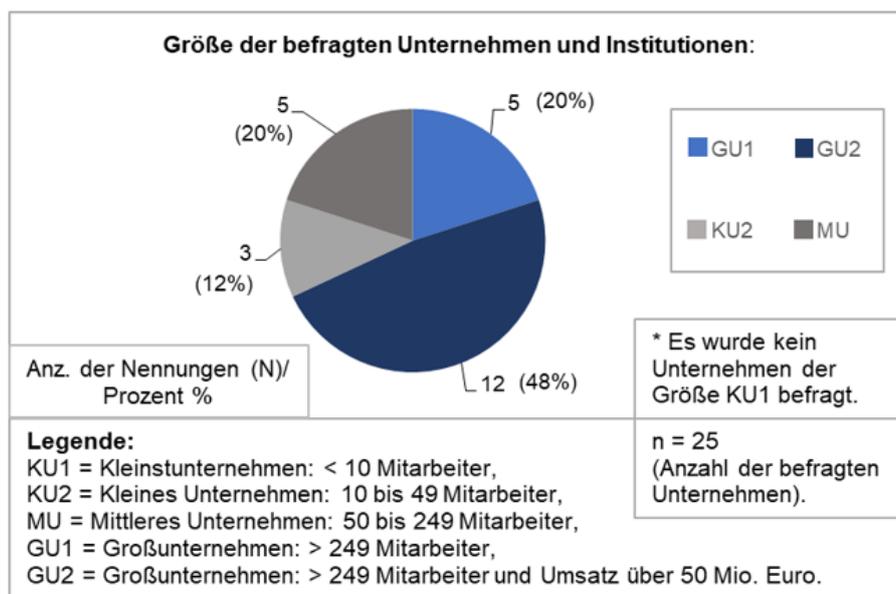


Abbildung 8: Studie - Größe der befragten Unternehmen und Institutionen.

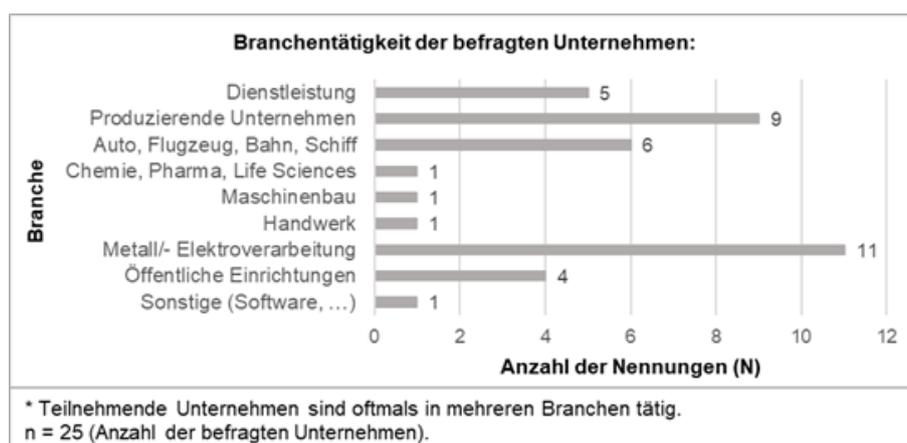


Abbildung 9: Studie - Branchentätigkeit der befragten Unternehmen und Institutionen.

men aus den Bereichen Auto, Flugzeug, Bahn und Schiff (N=6). Die Dienstleistungsbranche (N=5) und der Sektor der öffentlichen Einrichtungen (N=4) sind stark vertreten. Der restliche Anteil verteilt sich gleichmäßig auf sonstige Branchen. Die Stichprobe wird durch den Tätigkeitsbereich der befragten Personen näher beschrieben (Abb. 10).

Anhand von Abbildung 10 ist eine überwiegende Tätigkeit der Probanden in den Bereichen der Produktion und Auftragsabwicklung zu erkennen (N=14). Ein Großteil der Probanden betreibt angewandte Forschung, hat eine Lehrtätigkeit inne, oder bewegt sich in sonstigen nicht explizit aufgelisteten Bereichen (N=8). Ansonsten fällt die Verteilung auf die diversen Tätigkeitsbereiche recht homogen aus. Eine vollständige Beschreibung der Umfrageteilnehmer inklusive aller Umfragedaten ist in tabellarischer Form im Anhang zu finden (Anh. 5). Zugleich muss erwähnt werden, dass bei dieser Studie zur Einholung von Einschätzungen zu zukünftigen

wichtigen Produktionsanforderungen und Kennzahlen ein Querschnittsdesign vorliegt. Dies bedeutet, dass die Messung und Datenerhebung einmalig waren, nicht wiederholt wurden, und anhand einer Stichprobe stattfanden.⁵⁵⁹

Durchführung der Studie: Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über zwei Monate (November und Dezember 2019). Dieser Zeitraum wurde benötigt, um ausreichend Probanden für die Befragung zu rekrutieren. Die Probennahme erfolgte am Fraunhofer IAO in Stuttgart. Hauptsächlich konnten dazu zwei Eventtage genutzt werden. Die Durchführung der Studie an diesen Tagen wurde entsprechend vorbereitet.

Ergänzend wurden Firmen und Experten per E-Mail kontaktiert, die an dem praxisorientierten Forschungsprojekt ARENA2036 mitwirken.⁵⁶⁰ Außerdem konnten bestehen-

⁵⁵⁹vgl. Schirmer, Blinkert und Buchen (2009), S. 172.

⁵⁶⁰vgl. ARENA2036 e.V. (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.



Abbildung 10: Studie - Unternehmenstätigkeitsbereich der Probanden.

de reguläre Meetings im Arbeitsalltag der Betreuerin dieser Arbeit genutzt werden, um entsprechende I4.0 Fachleute Fragebögen ausfüllen zu lassen. Die letzte Quelle von Probanden sind persönliche Kontakte des Autors zu Experten regionaler Großunternehmen. Sie wurden über verschiedene Wege kontaktiert, um hochwertigen Input zu der Zukunft der Produktion zu erhalten.

Der größte Anteil an Teilnehmern konnte über zwei von dem Fraunhofer IAO und dem Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) durchgeführte Veranstaltungen gewonnen werden. Die erste größere Datenerhebung erfolgte am Freitag den 29. November 2019 während des „Open Lab Days“ im Future Work Lab in Stuttgart. An diesem Tag wurden in dem Innovationslabor der Fraunhofer Institute anhand von Demonstratoren Szenarien der Zukunftsproduktion vorgestellt. Seminare, Workshops und Führungen ergänzten die Veranstaltung.⁵⁶¹ Im Laufe dieses Tages konnten einige zufällig ausgewählte Teilnehmer des Events zur Ausfüllung eines Fragebogens gewonnen werden.

Am 12. Dezember 2019 fand ein zweiter, größerer Veranstaltungstag der Stuttgarter Fraunhofer Institute statt. Dieser wurde ebenfalls zur Erhebung der grundlegenden Daten für diese Arbeit genutzt. Die Initiative „Innovationsnetzwerk - Produktionsarbeit 4.0“ ist eine Kooperation, bei der das Fraunhofer IAO den Austausch mit verschiedenen Partnerunternehmen und Institutionen vorantreibt.⁵⁶² Der insgesamt zwölfte Workshop dieses Projektes zur Gestaltung und Implementierung von „Produktionssystemen 4.0“ konnte in gleichem Maße genutzt werden, um Studienteilnehmer zu gewinnen. Die folgenden Wochen bis Anfang 2020 wurden genutzt, um weitere von den beiden größeren Erhebungstagen unabhängige Rückmeldungen einzuholen und ausgefüllte Fragebögen zu bekommen. Generell bearbeiteten die Probanden den Fragebogen selbstständig und wurden mithilfe von textuellen Hinweisen durch die einzelnen Fragen gelei-

tet. Der Fragebogen inklusive aller seiner Bestandteile wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

5.2. Design des Fragebogens, Messinstrumente und Auswertungsmethoden

In diesem Kapitel wird im Detail auf die Konzeptionierung und das Design des verwendeten Fragebogens inklusive der genutzten Messinstrumente eingegangen. Bevor die Kapitel (5.3) bis (5.5) die Auswertung der erhobenen Daten liefern, erfolgt in diesem Abschnitt abschließend die Erklärung der Datenauswertungsmethoden.

Insgesamt wurde bei der Formulierung der einzelnen Teilfragen des Fragebogens darauf geachtet, mehrdeutige Formulierungen zu vermeiden und jegliche Grundsätze der Fragenformulierung einzuhalten.⁵⁶³ Weiterhin sind bei der Gestaltung die Kriterien der Verständlichkeit und Eindeutigkeit berücksichtigt worden.⁵⁶⁴ Als eine grundlegende Basis für den prinzipiellen Aufbau und die Gestaltung des Fragebogens dient das Design einer Studie von Stief (2018) zum Nutzen und zur Akzeptanz von Industrie 4.0 Anwendungen.⁵⁶⁵ Außerdem fand nach einer vorangestellten Literaturrecherche eine mehrstufige iterative Verbesserung des Fragebogens statt.

Der Fragebogen wurde überwiegend mit geschlossenen Fragen konzipiert. So konnten die Probanden inhaltlich geführt und ihre Antworten schnell ausgewertet werden.⁵⁶⁶ Bei solchen Fragen wird eine begrenzte Anzahl an Antwortmöglichkeiten geboten. In Ergänzung dazu gestatten offene Fragen eine beliebige Äußerung zu einem Bereich.⁵⁶⁷ Dieses Frageelement wurde zu einem geringen Anteil ebenfalls in das Fragebogendesign integriert. Der Fragebogen inklusive aller Messbestandteile ist im Anhang einsehbar (siehe Anh. 6).

⁵⁶³vgl. Schumann (2006), S. 62 - 67.

⁵⁶⁴vgl. Brosius et al. (2016), S. 97.

⁵⁶⁵vgl. Stief (2018), S. 49 - 122.

⁵⁶⁶vgl. Brosius et al. (2016), S. 86f.

⁵⁶⁷vgl. ebenda, S. 85.

⁵⁶¹vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation und auboco GmbH (2020), S. 1f, URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵⁶²vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2019), S. 3 - 20, URL siehe Literaturverzeichnis.

Die Befragung gliedert sich grundsätzlich in drei unterschiedliche Teilerhebungen und zwei Themenblöcke. Zu Beginn einer Befragung ist es üblich, zuerst Charakteristika der Teilnehmer zu erfassen.⁵⁶⁸ Dies wurde in dieser Studie übernommen, um grundlegende Informationen über die Stichprobe zu gewinnen. Allerdings wurden nur die relevantesten Merkmale erhoben. Diese Merkmale werden am Fraunhofer IAO üblicherweise für eine Zuordnung von Studienteilnehmern verwendet (siehe Beschreibung der Stichprobe). Für die Einteilung nach Unternehmensgröße dienen die Vorgaben des „Benutzerleitfaden zur Definition von KMU“ der Europäischen Kommission (2015) als ergänzende Vorlage.⁵⁶⁹

Im ersten Themenblock werden im Detail Einschätzungen zu dem Themenbereich der zukünftigen Produktionssteuernungskennzahlen erhoben. Es existieren mehrere Gründe für die Integration exakt dieser 16 in Kapitel (3.) theoretisch dargestellten Kennzahlen in die quantitative Orientierungsbefragung. Erste Denkanstöße zur Auswahl einiger der Kennzahlen lieferte die Studie „Auf dem Weg zum digitalen Shopfloor Management“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) (2018), die somit in diesem Aspekt eine Basisquelle darstellt.⁵⁷⁰ Ein weiterer Grund ist, dass die Erhebung der Einstellungen zu einem Großteil der Kennzahlen explizit von dem Fraunhofer IAO und der Betreuerin dieser Arbeit erwartet wurde. Das Grundgerüst an zu untersuchenden Kennzahlen wurde anschließend durch eine Literaturrecherche zu zukünftig wichtigen Steuerungskennzahlen ergänzt. Eine Klassifizierung in organisations- und technologiebezogene sowie mitarbeiterbezogene Kennzahlen ist aufgrund der Vermeidung einer Beeinflussung der Teilnehmerantworten nicht bereits innerhalb des Fragebogens vorgenommen worden.

Die Probanden wurden zunächst aufgefordert anzugeben, welche Kennzahlen für die Steuerung der Produktion aus ihrer Sicht zukünftig besonders wichtig sind. Es sollten bei dieser ersten Teilerhebung acht Kennzahlen ausgewählt und nach deren Relevanz in eine Rangordnung gebracht werden. Bei diesem Rankingverfahren ist es nicht möglich Plätze mehrfach zu vergeben.⁵⁷¹ Es wurde also von jedem Teilnehmer eine eindeutige Reihenfolge erstellt, wobei der gänzliche Ausschluss der übrigen Kennzahlen erfolgte.

Die Teile zwei und drei der quantitativen Orientierungsumfrage beziehen sich auf den zweiten Themenblock, bei welchem es die übergeordnete Zielsetzung ist, Aussagen zu der Relevanz von Anforderungen an die Produktionsarbeit der Zukunft zu erhalten. Die Auswahl explizit die Einstellungen gegenüber diesen 14 Anforderungen zu erforschen begründet sich zum einen darin, dass sich diese durch die auf Organisation und den Menschen gerichtete Literaturrecherche als wichtig ergeben haben. Zum anderen hat das Fraunhofer IAO eine Überprüfung der Wichtigkeit dieser Produktionsanforderungen in der Praxis als Forschungsziel festgelegt. Die Klassifikation der Anforderungen in die Kategori-

en „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ wurde in die Gestaltung des Fragebogens übernommen. Innerhalb jeder Kategorie werden die jeweiligen Produktionsanforderungen mithilfe von Erklärungstexten vorgestellt. Diese Anforderungen stellen die Items des Messinstrumentes dar. Laut Definition wird mit Fragebogenitems eine Zustimmung oder Ablehnung zu einer Aussage erhoben.⁵⁷² Sie sind ein Bestandteil des hier verwendeten Messinstrumentes einer Ratingskala. Jedes einzelne Item wird anhand dieser Skala stufenmäßig eingeschätzt. Konkret wurde das explizite Einstellungsmaß der Likertskala angewendet.⁵⁷³ Als Ordinalskala ist hier eine Rangbildung möglich und die Reihenfolge der Werte ist interpretierbar.⁵⁷⁴

Bei einer solchen Skala sind generell fünf bis sieben Antwortvorgaben denkbar, da das Differenzierungsvermögen der Befragten innerhalb dieses Rahmens nicht überfordert wird.⁵⁷⁵ Im Detail erfolgt in dieser Studie eine leichte Anpassung der üblichen Likertskala. Die Skala mit den Zahlenwerten von eins bis sieben wird um Extrempunktbeschriftungen ergänzt.⁵⁷⁶ Die Beschriftung der Skala erfolgte verbal und numerisch, da eine rein numerische Beschriftung das Antwortverhalten verzerren kann.⁵⁷⁷ Die Einstufung der Wichtigkeit auf der Likertskala erstreckte sich hier somit nach Vorlage einer in Studien üblichen Einteilung von (1) „weniger wichtig bzw. unwichtig“, über (4) „wichtig“, bis hin zu dem Maximalpunkt (7) „sehr wichtig“.⁵⁷⁸

In dem abschließenden dritten Teil des Fragebogens wurden die Probanden dazu aufgefordert, die von ihnen als relevant eingestuften Anforderungen noch einmal als separate Rangfolge aufzulisten. Alle Anforderungen, die im zweiten Teil der Umfrage eine Skalenbewertung von fünf bis sieben erhalten haben, wurden hier als gültige Antworten berücksichtigt. Diese individuelle Auswahl der Umfrageteilnehmer ist in ihrer Länge beliebig, da jedoch die Einstellungen zu 14 Anforderungen erhoben wurden, konnten auch maximal nur so viele Felder ausgefüllt werden. Worauf dieser Umfrageteil genau abzielt folgt im Zusammenhang mit der Umfrageauswertung in Kapitel (5.5).

Ergänzend zu den geschlossenen Fragen bezüglich der Wichtigkeit von Kennzahlen und zukünftigen Produktionsanforderungen, enthält der Fragebogen zwei leere Textfelder, durch welche die Probanden am Ende die Möglichkeit hatten, Kommentare abzugeben und weitere Produktionsanforderungen konkret zu benennen, um individuelle Meinungen und Bedenken zu äußern.

Ein Pretest eines Fragebogens gibt Aufschluss über die praktische Handhabbarkeit und die Verständlichkeit aller Fragen und Formulierungen. Möglicherweise ist es erforderlich Änderungen vorzunehmen, Fragen und Skalen anzupassen.

⁵⁶⁸vgl. Schumann (2006), S. 52.

⁵⁶⁹vgl. Europäische Kommission (2015), S. 11.

⁵⁷⁰vgl. Lanza et al. (2018), S. 23ff.

⁵⁷¹vgl. Schumann (2006), S. 72.

⁵⁷²vgl. Mayer (2009), S. 79.

⁵⁷³vgl. Haddock und Maio (2014), S. 213.

⁵⁷⁴vgl. Schumann (2006), S. 19ff.

⁵⁷⁵vgl. Nieschlag, Dichtl und Hörschgen (1994), S. 693f.

⁵⁷⁶vgl. Berekhoven, Eckert und Ellenrieder (1999), S. 75.

⁵⁷⁷vgl. Moosbrugger und Kelava (2012), S. 52.

⁵⁷⁸vgl. Spath et al. (2013), S. 50.

sen oder neue Fragen einzubauen.⁵⁷⁹ Er gibt Aufschluss über die fachliche Richtigkeit eines Fragebogens.⁵⁸⁰ Ein solcher detaillierter Pretest wurde aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt, auch weil davon ausgegangen werden konnte, dass für die hier verwendete Stichprobe keine grundlegenden Verständnisschwierigkeiten bestehen. Allgemein gibt es in der quantitativen Forschung zwei Gütekriterien, die für das Erzielen optimaler Forschungsergebnisse von einem Messinstrument erfüllt werden müssen: Die Reliabilität, die beschreibt, wie zuverlässig eine Messung ist, und die Validität, die sicherstellt, dass mit dem Messinstrument das gemessen wird, was gemessen werden soll.⁵⁸¹ Es wurden hierzu keine konkreten Tests mithilfe von Kennwerten durchgeführt,⁵⁸² da sich diese praktischen Nachweise größtenteils ziemlich aufwendig gestalten.⁵⁸³

Die durch die quantitative Orientierungsbefragung erhobenen Daten konnten mithilfe von unterschiedlichen Methoden analysiert und ausgewertet werden. Da nicht immer alle Teile des Fragebogens vollständig und komplett richtig ausgefüllt wurden und verwertbar waren, fand je nach Umfrageteil der Einbezug von 29-34 Ergebnissen in die Analyse statt. Die Dateneingabe und Datenaufbereitung zur Auswertung der ausgefüllten Fragebögen erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL. Die bei dieser Studie verwendete Methode ist eine häufig angewandte Vorgehensweise.⁵⁸⁴ Zur Erläuterung der Ergebnisse werden Grafiken und Tabellen verwendet, welche die erhobenen Daten und gewonnenen Ergebnisse veranschaulichen.⁵⁸⁵ Die Daten werden weiterhin mithilfe von statistischen Größen beschrieben. In allen Umfrageteilen erfolgt eine Angabe von Standardabweichungen. Durch diese Maßzahl werden die Verteilung und Streuung der Werte näher angegeben. Diese Größe ist neben dem arithmetischen Mittel eine Standardform der Wertebeschreibung.⁵⁸⁶ Bei Umfrageteil zwei wird die durchschnittliche Platzierung auf der Likertskala und somit die Angabe der Wichtigkeit der jeweiligen Anforderung durch die Bildung von Durchschnittswerten (M) abgebildet.

Bei den Teilerhebungen eins und drei wurden Rangfolgen gebildet, weshalb sich die Auswertungen hier etwas komplizierter gestalten. Die Platzierungen in den finalen Rangfolgen werden mithilfe von zwei Ordnungskriterien bestimmt. Das erste Ordnungskriterium ist die Anzahl der Nennungen (N). Das zweite Ordnungskriterium der bewerteten Rangposition (BR) spiegelt die durchschnittliche Rangplatzierung wider. Für eine Vergleichbarkeit der Werte müssen die jeweiligen Werte bei einer Mittelwertbildung immer durch dieselbe Summe geteilt werden.⁵⁸⁷ In dem Kennzahlenteil also durch die Summe von 16 und das Anforderungsranking

betreffend durch die Summe von 14. Für eine korrekte statistische Auswertung ist hierbei eine Umpolung der Werte erforderlich, da jeder Kennzahl bzw. Anforderung ein Wert zugesprochen werden muss.⁵⁸⁸ In Teil eins erhalten also acht Kennzahlen einen Rang von eins bis acht. Alle übrigen, nicht gerankten Kennzahlen erhalten einen Rang von null. Damit die am wichtigsten bewertete Kennzahl den höchsten Wert erhält, wurden die Ränge anschließend umgepolt. Ein Rang von eins entspricht somit einer bewerteten Rangposition (BR) von acht, ein Rang von zwei einer bewerteten Rangposition von sieben. Nur durch diese Vorgehensweise war es möglich, Mittelwerte zur Auswertung heranzuziehen. Dasselbe Vorgehen wurde in Umfrageteil drei bei dem Ranking der 14 Anforderungen angewandt. Die bewertete Rangposition (BR) gibt als Messgröße nachfolgend die umgepolte durchschnittliche Rangposition an.

In dem ersten Erhebungsteil kam es vor, dass Probanden nur Kreuze bei den für sie wichtigsten Kennzahlen gesetzt haben. Diese Daten sind bei der Anzahl der Nennungen (N) berücksichtigt worden, nicht aber bei der bewerteten Rangposition (BR). Dadurch unterscheidet sich hier die Stichprobengröße zwischen beiden Ordnungskriterien. Anschließend an diese Erläuterungen zur Studienmethodik, zu dem Fragebogen und zu den Auswertungsmethoden werden alle Ergebnisse der Studie umfassend betrachtet.

5.3. Studiauswertung Teil 1: Kennzahlen zur Steuerung der Produktion

Dieser Abschnitt widmet sich der ersten Frage der durchgeführten Unternehmensbefragung. Als zentrales Ergebnis dieses Kapitels kristallisieren sich die wichtigsten Kennzahlen für die zukünftige Shopfloorsteuerung heraus. Die gegebenen Antworten der Umfrageteilnehmer sind die Grundlage zur Erstellung einer Kennzahlenrangfolge. Eine Aufgabe der Übersicht ist es, die organisations- und technologiebezogenen sowie die mitarbeiterbezogenen Kennzahlen aus Kapitel (3.) nach deren Wichtigkeit einzuordnen und die „Top 5“ Kennzahlen zur Steuerung der zukünftigen I4.0 Produktion zu determinieren. Grundsätzlich erfolgt in den Auswertungen der Umfrage keine Interpretation von Ergebnissen, sondern nur eine Wertebeschreibung. Die Interpretation der Ergebnisse ist Inhalt der abschließenden Diskussion in Kapitel (7.) und benötigt zunächst die Vorstellung diverser I4.0 Lösungen und Anwendungsfälle zur Umsetzung von organisationalen Produktionsanforderungen in Kapitel (6.) als Basis.

An den Ergebnissen der Umfrage zeigt sich, dass für die Steuerung der zukünftigen Produktion mehrere Kennzahlen infrage kommen. Als Ausschlusskriterium für ungeeignete Kennzahlen wird die Anzahl von fünf oder weniger Nennungen (N) definiert. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, fallen von den 16 untersuchten Kennzahlen nur die Logistikkosten (n=5; BR=0,62; SD=1,545) und die Instandhaltungskosten (n=5; BR=0,17; SD=0,468) durch dieses Raster. Die restlichen 14 Kennzahlen sind in I4.0 Kennzahlensystemen integrierbar und als relevant zu beurteilen.

⁵⁷⁹vgl. Brosius et al. (2016), S. 131.

⁵⁸⁰vgl. ebenda, S. 96.

⁵⁸¹vgl. ebenda, S. 51.

⁵⁸²vgl. Schumann (2006), S. 40ff.

⁵⁸³vgl. Mayer (2009), S. 89.

⁵⁸⁴vgl. ebenda, S. 103.

⁵⁸⁵vgl. Brosius et al. (2016), S. 132.

⁵⁸⁶vgl. Schumann (2006), S. 149f.

⁵⁸⁷vgl. ebenda, S. 143.

⁵⁸⁸vgl. Mayer (2009), S. 110.

Tabelle 2: Studie Teil 1 - Gesamttabelle und Rangfolge der Kennzahlen zur Produktionssteuerung.

Rang	Kennzahl	Primäres Ordnungskriterium: Anzahl Nennungen (N)	Sekundäres Ordnungskriterium: Bewertete Rangposition (BR)	Zugehörige Standardabweichung (SD)
1	Qualität: Right First Time/ Fehlerrate	27	5,00	2,878
2	Produktionskosten	26	4,31	3,106
3	Schnelligkeit/ Durchlaufzeit	24	3,00	2,632
4	Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit	22	3,45	2,746
5	Liefertreue	20	3,21	2,944
6	Produktivität/ Produktionsauslastung	19	3,38	3,332
7	Personalproduktivität	17	2,28	2,658
8	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	14	1,97	2,771
9	Mitarbeiterengagement	13	1,52	1,993
10	Gesamtanlageneffektivität (OEE)	12	1,93	2,975
11	Gesundheitsförderlichkeit und Ergonomie	12	1,17	1,891
12	Wandlungsfähigkeit	11	1,62	2,744
13	Energieverbräuche	8	0,93	1,731
14	Bestandshöhen/Reichweiten	7	0,45	1,021
15	Logistikkosten	5	0,62	1,545
16	Instandhaltungskosten	5	0,17	0,468

Insgesamt ist eine sehr deutliche Abstufung in der Anzahl der Nennungen (N) erkennbar. Die bewertete Rangposition (BR) gibt hier die durchschnittliche Position auf einem Rang von eins bis acht an, während, wie in der Methodik beschrieben, die Ränge aufgrund der statistischen Auswertbarkeit umgepolt werden mussten und eine bewertete Rangposition von acht das beste erzielbare Ergebnis ist. Bei einer identischen Anzahl an Nennungen bestimmt die bewertete Rangposition als sekundäres Ordnungskriterium über die finale Einordnung. Die Abbildungen 11 und 12 werden zur detaillierteren Beschreibung der Teilergebnisse herangezogen.

Die Kennzahl Qualität-Right First Time/Fehlerrate ist mit 27 Nennungen (N=27; BR=5,00; SD=2,878) das wichtigste Produktionssteuerungsinstrument. Die Kennzahlen Produktionskosten (N=26; BR=4,31; SD=3,106), Schnelligkeit/Durchlaufzeit (N=24; BR= 3,00; SD=2,632), Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit (N=22; BR=3,45; SD=2,746) und Liefertreue (N=20; BR=3,21; SD=2,944) ergänzen die „Top 5“ der zukünftig essenziellsten Kennzahlen. Auffällig ist, dass die Probanden von den fünf mitarbeiterbezogenen Kennzahlen nur die Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit als sehr wichtig einschätzen. Organisations- und technologiebezogene Kennzahlen sind für die Umfrageteilnehmer von leicht höherer Bedeutung. Außerdem ist in den Auswertungsgraphen erkennbar, dass sich alle mitarbeiterbezogenen Kennzahlen auf einer mittleren Wichtigkeitsstufe befinden (N=12-17). Dadurch zeigt sich die Beachtung beider Kennzahlenkategorien in der Praxis. Die technologiebezogenen Kennzahlen Energieverbräuche (N=8; BR=0,93; SD=1,731) und Bestandshöhen/Reichweiten (N=7; BR=0,45; SD=1,021) bilden die Gruppe der am niedrigsten bewerteten, jedoch noch als Steuerungselemente in

Betracht zu ziehenden, Kennzahlen.

Dieses Kapitel beantwortet die erste Forschungsfrage und zeigt durch Daten aus der Praxis auf, mit welchen Kennzahlen die Produktion vorrangig gesteuert werden sollte. Es ist, wie bereits in Kapitel (3.2) dargelegt, eine Anforderung an die Produktion der Zukunft, die Organisationsstruktur so auszuliegen, dass es möglich ist, wichtige Kennzahlen zu steuern. Im Anschluss wird die Auswertung des Umfrageteils zu den Anforderungen an die zukünftige Produktion geschildert.

5.4. Studiauswertung Teil 2: Organisationale Produktionsanforderungen

Der zweite Teil der quantitativen Orientierungsbefragung setzt sich mit der Fragestellung auseinander, wie die organisationalen Anforderungen an die zukünftige Produktion in der Praxis gesehen werden. Mit den Ergebnissen der Befragung erfolgt an dieser Stelle eine Einstufung der Konzepte aus Kapitel (4.). Es wird weiterhin geklärt, ob diese das Denken der Produktion bereits verändern und worauf Unternehmen ihre Prioritäten setzen.

Mit diesem Teil der Umfrage konnte bewiesen werden, dass alle in dieser Arbeit behandelten Anforderungen an die zukünftige Produktion als wichtig einzuschätzen sind. Des Weiteren zeigt die Untersuchung die grundlegende Bekanntheit der existierenden arbeitsorganisatorischen Konzepte für die Produktion in der Unternehmenspraxis, auch wenn keine Aussage darüber getroffen werden kann, inwiefern diese bereits tatsächlich umgesetzt werden. Die Ergebnisse decken sich somit zu großen Teilen mit den aktuellen Vorstellungen der Forschung. Nachfolgend wird mithilfe von Tabelle 3 eine Erweiterung des Forschungsstandes in Form einer konkreten Wichtigkeitsrangfolge geliefert. Die Tabelle veranschaulicht

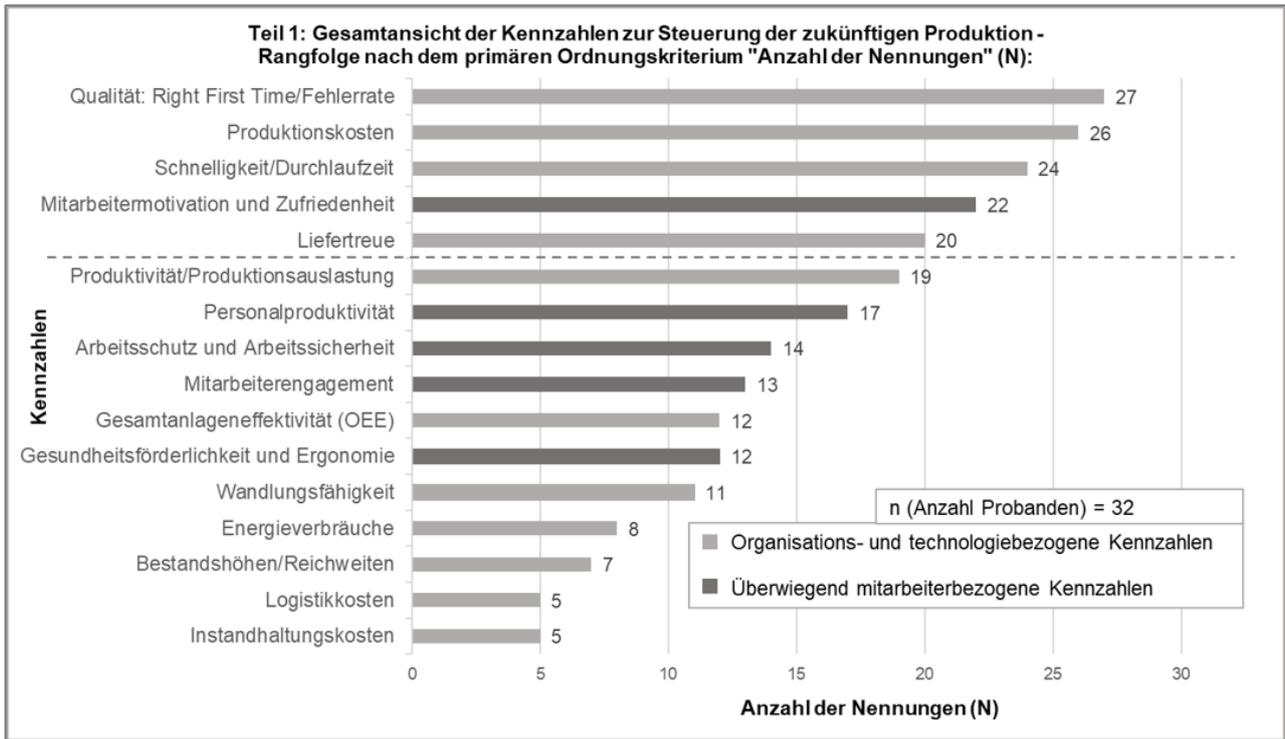


Abbildung 11: Studie Teil 1 - Rangfolge der Steuerungskennzahlen nach dem primären Ordnungskriterium Anzahl der Nennungen (N).

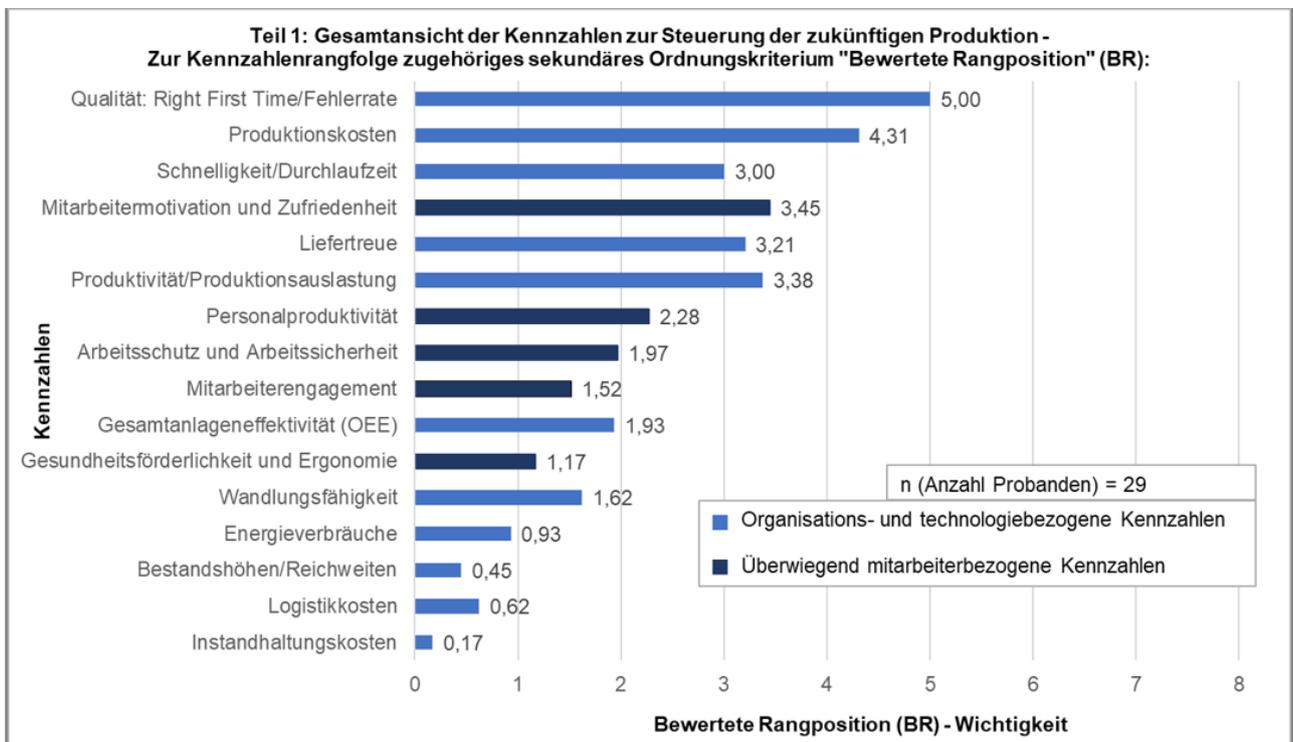


Abbildung 12: Studie Teil 1 - Zur Kennzahlenrangfolge zugehöriges sekundäres Ordnungskriterium bewertete Rangposition (BR).

die Rangpositionen aller Produktionsanforderungen inklusive der zugehörigen Durchschnittswerte (M) und Standardabweichungen (SD).

Im Zuge der Auswertung zu der Bedeutung der Anforderungen, war in diesem Fall keine statistische Umpolung notwendig, weshalb der jeweilige Wert hier tatsächlich den Mittelwert auf der verwendeten Rankingskala von eins bis sieben angibt.

Die Durchschnittswerte der Anforderungen liegen alle zwischen den Bewertungsstufen fünf und sechs. Es sind keine besonders auffälligen Standardabweichungen vorhanden. Die Anforderung einer verbesserten Kommunikation und Abstimmung (M=6,00; SD=1,267) erhält die höchste Wichtigkeitseinstufung, während die Selbstorganisation der Teams (M=5,18; SD=1,547) von den Probanden im Vergleich zu den anderen Anforderungen als eindeutig unwichtiger eingeschätzt wird. Als zweitwichtigste Anforderung ergibt sich die umfassende Vernetzung und Transparenz (M=5,91; SD=0,9) in der Produktion. Eine Ausrichtung der Produktion auf Lean Management 4.0 (M=5,88; SD=0,844) ist ebenso wie die konsequente Mitarbeiterqualifikation (M=5,82; SD=1,058) und die Wandlungsfähigkeit der Produktion (M=5,76; SD=1,393) Bestandteil der fünf wichtigsten Anforderungen an die zukünftige Produktion. Folglich sollte der praktischen Umsetzung dieser Anforderungen zukünftig eine hohe Bedeutung beigemessen werden. Abbildung 13 bietet durch die kategorisierte Zuteilung der Anforderungen eine erweiternde Ansicht der Rangfolge.

In der Gruppe der fünf Anforderungen mit den größten Durchschnittswerten und der höchsten Wichtigkeitseinstufung lassen sich drei der Kategorie „Technologie“ zuordnen, obwohl sich in den insgesamt 14 Anforderungen nur vier technische Produktionsanforderungen finden lassen. Die Mehrzahl der untersuchten Anforderungen (10) bezieht sich vorwiegend auf organisatorische und menschliche Aspekte. Von diesen Anforderungen sind allerdings nur zwei in den „Top 5“ der wichtigsten Anforderungen wieder zu finden. Die Grafik verdeutlicht die Bewertung der Umfrageteilnehmer, dass organisations- und menschenbezogene Anforderungen in der Praxis bisher größtenteils weniger Aufmerksamkeit entgegengebracht wird, als rein technologischen I4.0 Produktionsanforderungen. Der nachfolgende letzte Teil der Unternehmensbefragung zielt darauf ab, diese gewonnenen Erkenntnisse zu spezifizieren.

5.5. Studienauswertung Teil 3: Vergleichendes Ranking der Anforderungen und ergänzende Teilnehmerkommentare

In diesem Kapitel wird der dritte Teil der durchgeführten Studie ausgewertet und diskutiert. In dem abschließenden Teil des Fragebogens wurden die Probanden dazu aufgefordert, die von ihnen als relevant eingestuften Anforderungen noch einmal als separate Rangfolge aufzulisten. Sinn hinter diesem Vorgehen ist es, eine detailliertere Wichtigkeitsabstufung der im zweiten Umfrageteil bewerteten Anforderungen an die zukünftige Produktion zu erhalten. Die Rangpositionen reichen in diesem Umfrageteil bis zu einem Maximum

von 14. Wie in der Methodik ersichtlich, ist aufgrund der Auswertbarkeit an dieser Stelle erneut eine Umpolung der Werte erforderlich. Je höher die bewertete Rangposition (BR), desto höher wurde die Anforderung demnach eingestuft (siehe hierzu Messinstrument in Anh. 6).

Die Ergebnisse dieses Umfrageteils sind in Tabelle 4 abgebildet. Der wesentlichste festzustellende Punkt ist die Bestätigung der Wichtigkeit drei der „Top 5“ Anforderungen.

Die Anforderungen einer verbesserten Kommunikation und Abstimmung (N=23; BR=8,35; SD=5,574), einer wandlungsfähigen Produktion (N=19; BR=6,16; SD=5,514) und einer konsequenten Mitarbeiterqualifikation (N=18; BR=6,26; SD=5,597) sind somit definitiv fundamental für die Gestaltung der zukünftigen Produktion.

Die Abbildungen 14 und 15 differenzieren die Anforderungen weiterführend in die drei grundlegenden Kategorien. Anhand der Daten ist zu erkennen, dass die Probanden die Anforderungen der Kategorie „Technologie“ hier insgesamt niedriger bewerten als im zweiten Studienteil. Die extremsten Unterschiede im Vergleich zur vorangestellten Datenerhebung zeigen sich bei der Anforderung einer vernetzten und transparenten Produktion (N=14; BR=4,84; SD=5,854) und einer auf Lean Management 4.0 ausgerichteten Produktion (N=14; BR=4,32; SD=5,281). Die hohe Bedeutung dieser Anforderungen konnte in diesem Umfrageteil nicht bestätigt werden. Eine ergänzende Feststellung ist, dass die Transparenz in der Organisation (N=21; BR=6,39; SD=5,487) genauso wie die Förderung der Mitarbeitermotivation (N=20; BR=6,48; SD=5,353) in dieser Rangfolge einen Platz in der Gruppe der fünf wichtigsten Anforderungen an die zukünftige Produktion einnimmt.

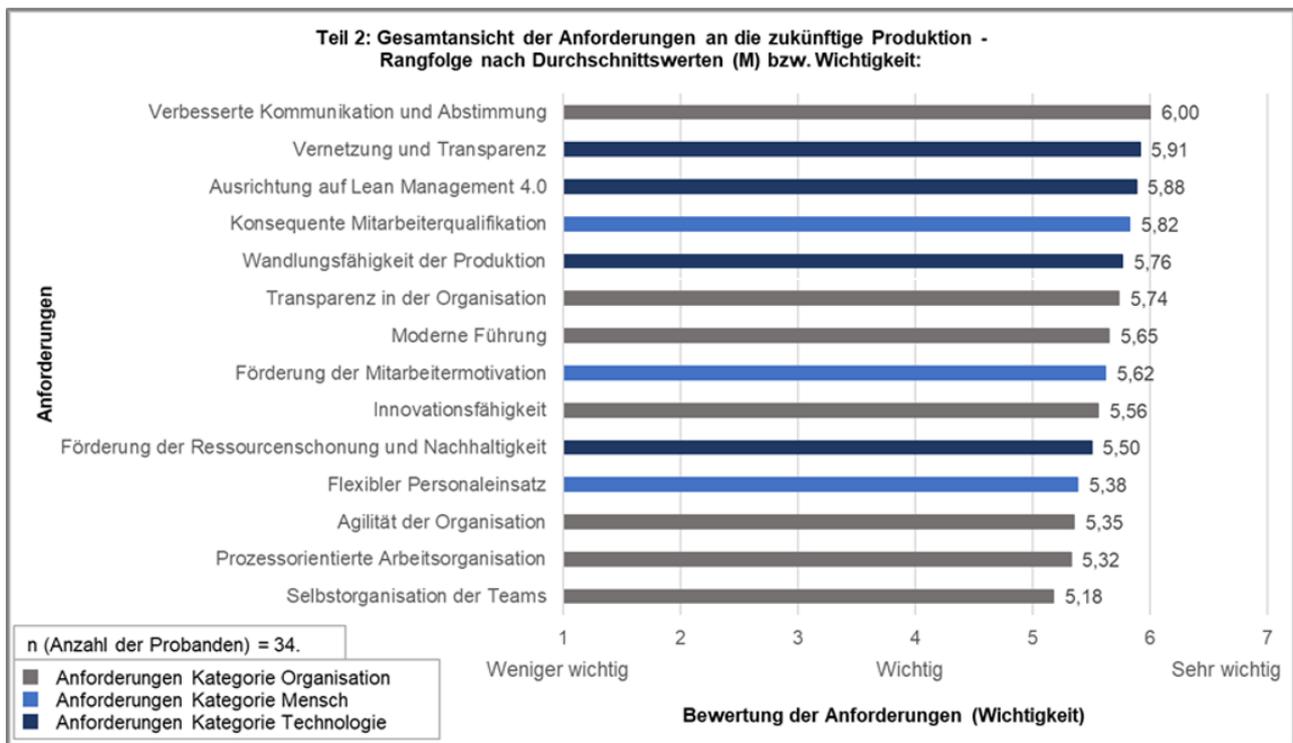
Aufgrund der Gegebenheit, dass dieser Umfrageteil grundsätzlich von weniger Probanden beantwortet wurde (n=31) und nur als Ergänzung für eine weitere Differenzierung dient, wird der zweite Umfrageteil als maßgebliche Quelle zur Bestimmung der Bedeutung der Anforderungen herangezogen. Aufgrund dieser Vorgehensweise ergibt sich durch die Ergebnisse des dritten Umfrageteils eine Erweiterung der Sammlung der fünf wichtigsten Anforderungen an die zukünftige Produktion aus Umfrageteil zwei.

Als konkludierende Erkenntnis der gesamten Studie ergibt sich deshalb neben den fünf wichtigsten Kennzahlen zur Steuerung der zukünftigen Produktion eine Sammlung von sieben Anforderungen, welche die Industrie aktuell und in Zukunft für bedeutsam erachtet. Die Anforderungen sind deshalb in der nachfolgenden Rangfolge und Wichtigkeitseinstufung angeordnet: (1) Verbesserte Kommunikation und Abstimmung, (2) Vernetzung und Transparenz, (3) Ausrichtung auf Lean Management 4.0, (4) Konsequente Mitarbeiterqualifikation, (5) Wandlungsfähigkeit der Produktion, (6) Transparenz in der Organisation und (7) Förderung der Mitarbeitermotivation. Somit wird die „Top 5“ der wichtigsten Anforderungen an die zukünftige Produktion um jeweils eine Anforderung aus der Kategorie „Organisation“ und „Mensch“ ergänzt.

Insgesamt ist festzuhalten, dass durch eine Spanne der Anzahl der Nennungen von (n=12) bis (n=23) alle Anforde-

Tabelle 3: Studie Teil 2 - Gesamttabelle und Rangfolge der Anforderungen an die zukünftige Produktion.

Rang	Anforderung	Durchschnittswert - (M) Wichtigkeit der Anforderung	Zugehörige Standardabweichung (SD)
1	Verbesserte Kommunikation und Abstimmung	6,00	1,267
2	Vernetzung und Transparenz	5,91	0,900
3	Ausrichtung auf Lean Management 4.0	5,88	0,844
4	Konsequente Mitarbeiterqualifikation	5,82	1,058
5	Wandlungsfähigkeit der Produktion	5,76	1,393
6	Transparenz in der Organisation	5,74	1,238
7	Moderne Führung	5,65	1,228
8	Förderung der Mitarbeitermotivation	5,62	1,155
9	Innovationsfähigkeit	5,56	1,501
10	Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	5,50	1,330
11	Flexibler Personaleinsatz	5,38	1,074
12	Agilität der Organisation	5,35	1,323
13	Prozessorientierte Arbeitsorganisation	5,32	1,583
14	Selbstorganisation der Teams	5,18	1,547

**Abbildung 13:** Studie Teil 2 - Rangfolge der Anforderungen an die zukünftige Produktion nach Durchschnittswerten (M) bzw. Wichtigkeit.

ungen in diesem Umfrageteil recht nah aneinander liegen. Hierdurch bestätigt sich, dass alle untersuchten arbeitsorganisatorischen Produktionsgestaltungskonzepte grundsätzlich wichtig für die Zukunft sind. Als weitere Schlussfolgerung stellt sich deckend zu Umfrageteil zwei heraus, dass die Selbstorganisation der Teams (n=12; BR=3,71; SD=5,008) insgesamt das für am unwichtigsten gehaltene organisatorische Konzept ist. Zudem bestätigt sich die Einordnung

der Anforderung einer modernen Führung als drittwichtigstes Element der zukünftigen Produktion (n=18; BR=6,06; SD=5,591) aus der Kategorie „Organisation“.

Abschließend sind nachfolgender Tabelle ergänzende Kommentare und weitere genannte Anforderungen der Umfrageteilnehmer zu entnehmen (Tab. 5). Diese zusätzlichen Einschätzungen bieten eine Erweiterung der Umfrage und verdeutlichen explizit die Wichtigkeit von Lean Management,

Tabelle 4: Studie Teil 3 - Gesamttabelle zum vergleichenden Ranking der Produktionsanforderungen.

Rang	Kennzahl	Primäres Ordnungskriterium: Anzahl Nennungen (N)	Sekundäres Ordnungskriterium: Bewertete Rangposition (BR)	Zugehörige Standardabweichung (SD)
1	Verbesserte Kommunikation und Abstimmung	23	8,35	5,574
2	Transparenz in der Organisation	21	6,39	5,487
3	Förderung der Mitarbeitermotivation	20	6,48	5,353
4	Wandlungsfähigkeit der Produktion	19	6,16	5,514
5	Konsequente Mitarbeiterqualifikation	18	6,26	5,597
6	Moderne Führung	18	6,06	5,591
7	Prozessorientierte Arbeitsorganisation	16	4,94	5,537
8	Innovationsfähigkeit	15	5,35	5,975
9	Agilität der Organisation	15	4,90	5,688
10	Flexibler Personaleinsatz	15	4,42	5,265
11	Vernetzung und Transparenz	14	4,84	5,854
12	Ausrichtung auf Lean Management 4.0	14	4,32	5,281
13	Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	12	3,74	5,234
14	Selbstorganisation der Teams	12	3,71	5,008

**Abbildung 14:** Studie Teil 3 - Vergleichendes Ranking der Produktionsanforderungen nach dem primären Ordnungskriterium Anzahl der Nennungen (N).

(digitalen) Prozessoptimierungen, Wandlungsfähigkeit, Agilität und Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit I4.0. Der Umgang mit Daten und die Visualisierung von Informationen werden ebenfalls hervorgehoben.

Eine übergeordnete Interpretation der Ergebnisse der

Studie und der Teilnehmerkommentare erfolgt in der Diskussion als abschließende Betrachtung zu dieser Arbeit (Kapitel 7.2). Als Erweiterung der quantitativen Orientierungsbefragung stellt das nachfolgende Kapitel I4.0 Anwendungsfälle zur Verfügung, welche die organisationalen Produktionsan-

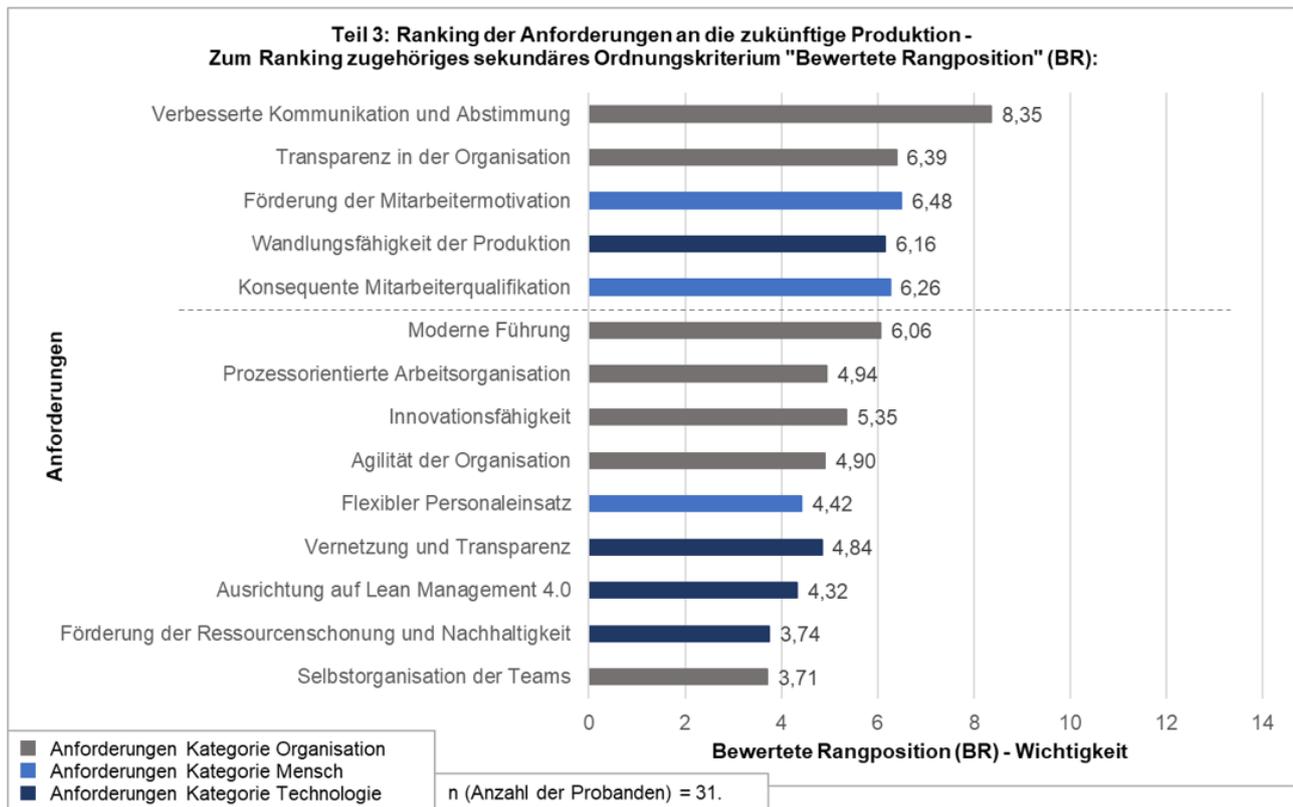


Abbildung 15: Studie Teil 3 - Vergleichendes Ranking der Produktionsanforderungen nach dem sekundären Ordnungskriterium bewertete Rangposition (BR).

Tabelle 5: Studie Teil 3 - Ergänzende Teilnehmerkommentare und weitere Anforderungen.

Unternehmen	Hierarchie/Managementebene/Funktion im Unternehmen	Weitere genannte Anforderungen an die zukünftige Produktion und Kommentare
Daimler AG	Teamleiter	Anforderung: Digitale Wertschöpfungsorientierung: Konsequenter Übertrag des Lean Managements auf Digitale Wertströme. Wo findet Wertschöpfung an Daten statt? Wo existiert Verschwendung in digitalen Prozessen? z.B. Einsatz von Process Mining (Einstufung Skalawert 7). Kommentar: Nicht alles, was mit I4.0 möglich ist, ist auch sinnvoll. Zu Anfang steht immer eine Analyse der Plain Points und eine gezielte Maßnahmenauswahl muss vorgenommen werden
Daimler AG	Teamleiter Digitale Fabrikplanung/ Produktionsplanung	Kommentar: Wandlungsfähigkeit ist für die Automobilindustrie für die nächsten Jahre überlebenswichtig. Agilität ist dafür entscheidend. Eine konsequente Ausrichtung auf schlanke, vollständig digital abgebildete Prozesse in den Administrationsbereichen ist dafür entscheidend. Alle weiteren Anforderungen dienen diesem Ziel. Die zweite Säule ist die Nachhaltigkeit. Nur eine nachhaltige Produktion ermöglicht eine individuelle Mobilität wie wir sie heute kennen.
ELABO GmbH / euromicron AG	Senior Advisor	Anforderung: Umfangreicher Ausbau von EDV und Netzwerktechnik (Einstufung Skalawert 6)
Mann+Hummel GmbH	Strategischer Einkauf - globale Leitung Materialgruppe Metallteile	Anforderung: Kosteneffizienzsteigerungen im Hinblick auf den Gesamtprozess, nicht nur Einzelschrittoptimierungen (Einstufung Skalawert 6).
PTE Inc.	Business Developer	Anforderung: Visualisierung: Darstellung relevanter Informationen, Abläufe via Social Augmented Reality & personalisiertem Dashboard. Moderne, einfach zu verwertende Darstellung von Informationen. (Einstufung Skalawert 7).

forderungen konkret umsetzen.

6. Anwendungsfälle zur Umsetzung von zukünftigen organisationalen Anforderungen an die Produktion (Technologielösungsatlas)

In den vorangestellten Teilen dieser Arbeit werden verschiedene Kennzahlen und Anforderungen der zukünftigen Produktion behandelt. Die quantitative Unternehmensbefragung liefert entsprechende Wichtigkeitsrangfolgen für diese Thematiken. Das Ziel dieses Kapitels ist es, eine Verknüpfung von Theorie und Praxis herzustellen, um festzustellen wie organisatorische I4.0 Konzepte bereits gelebt werden. Der eigens erstellte Technologielösungsatlas für innovative Organisationsformen verdeutlicht die beispielhafte Realisierung von Industrie 4.0 mit unterschiedlichen Anwendungen und technischen Lösungen.

Die Inhalte des Technologielösungsatlases sind aus mehreren Recherchequellen zusammengetragen. Die Plattform Industrie 4.0 stellt auf der stets online aktualisierten, deutschlandweiten „Landkarte Industrie 4.0“ eine umfangreiche Sammlung von Industrie 4.0 Praxisbeispielen zur Verfügung. Die Einträge zeigen Orte von I4.0 Forschungseinrichtungen und Unternehmen, welche unterschiedliche I4.0 Konzepte umgesetzt und genutzt haben.⁵⁸⁹ In Ergänzung dazu dient die regionale Landkarte „100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg“ als weitere Basisquelle.⁵⁹⁰ Zudem erwiesen sich einige Veröffentlichungen des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. als hilfreich.⁵⁹¹ Wie den Kapiteln (6.2) und (6.3) zu entnehmen ist, dienen mehrere Fraunhofer-Institute als weitere grundlegende Bezugs- und Informationsquellen.

Bei der Lösungskollektion war es problematisch, dass ein Großteil der existierenden I4.0 Lösungen auf technische Aspekte und eher weniger auf die Organisation und den Menschen abzielen. Insgesamt konnten 20 innovative, organisationsbezogene Lösungen zur Unterstützung und Optimierung arbeitsorganisatorischer Abläufe und einer agilen Shopfloor Organisation herausgefiltert werden. Im ersten Teil des Technologielösungsatlases erfolgt die Präsentation der „Top 5“ Lösungen zur Umsetzung der Anforderungen an die zukünftige Produktion. Daraufhin werden ergänzende, prioritätstechnisch leicht niedriger eingeordnete, I4.0 Lösungen vorgestellt. Diese setzen verschiedene Produktionsanforderungen in der Praxis um, jedoch nicht in dem hohen Maße, wie es die „Top 5“ der Lösungen bewerkstelligen. Zunächst werden die verschiedenen I4.0 Lösungen geclustert und eingeordnet.

⁵⁸⁹ vgl. Plattform Industrie 4.0 (2018b), S. 1f, URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵⁹⁰ Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵⁹¹ Forum Industrie 4.0 des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) und Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM) (2017); Forum Industrie 4.0 des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (2017); Forum Industrie 4.0 des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (2018).

6.1. Clusterung der Industrie 4.0 Lösungen

In diesem Teilkapitel werden alle selektierten I4.0 Lösungen übersichtlich dargestellt und den Produktionsanforderungen zugeordnet, die sie betreffen und umsetzen. Die Grundlage für die ausgewählte Darstellungsform der Zuordnung als Ergebnismatrix inklusive deren Gestaltung liefern zwei Veröffentlichungen der Plattform Industrie 4.0, in denen ebenfalls I4.0 Anwendungsszenarien diskutiert werden.⁵⁹² In der Ergebnismatrix (Abb. 16) wird veranschaulicht, wie stark eine jeweilige organisatorische I4.0 Lösung eines Unternehmens (Zeile), eine Anforderung an die zukünftige Produktion (Spalte) beeinflusst und realisiert. Als Maßstab zur Bewertung der Einflussstärke wird eine farbliche Abstufung (Ampelsystem) genutzt. Enthält ein Feld eine grüne Markierung, so ist ein starker Einfluss vorhanden. Eine gelbe Markierung kennzeichnet einen mittleren Einfluss der I4.0 Lösung auf die Produktionsanforderung. Ist ein Feld unausgefüllt (weiß), zeigt dies, dass kein Einfluss existent ist. Die Produktionssteuerung mithilfe von Kennzahlen wird in diesem Kapitel als fünfzehnte Anforderung an die Produktion gelistet.

Die einzelnen I4.0 Lösungen werden mit eigens erstellten Abbildungen erläutert, um die wesentlichsten Inhalte prägnant zusammenzufassen. Zur Erklärung dienen die einzelnen Inhaltsfelder „Unternehmen“, „Lösung“, „Eingesetzte Technologien“ und „Beschreibung der Lösung“. Die Felder „Nutzen und Verbesserungen“, „Veränderungen in der Organisation“ und „Kategorisierung/Zuordnung zur Tabelle“ sind zur Verdeutlichung der Bedeutung der Lösungen für den Kontext dieser Arbeit maßgeblich. Sie stellen den nötigen verknüpfenden Kontext her. Ist bei der Kategorisierung eine Anforderung kursiv geschrieben, steht dies für einen mittleren Einfluss (gelbes Matrixfeld). Es folgen im ersten Teil der Sammlung die wichtigsten I4.0 Lösungen.

6.2. Technologielösungsatlas - „Top 5“ organisatorische Industrie 4.0 Lösungen

Alle in diesem Teilkapitel präsentierten praktischen I4.0 Anwendungen erhalten eine Platzierung in der Auswahl der fünf geeignetsten Lösungen, da sie entweder generell eine Vielzahl der Produktionsanforderungen umsetzen, oder explizit und detailliert einzelne der dedizierten „Top 7“ Anforderungen der zukünftigen Produktion ansprechen. Diese fünf, zur Umsetzung der organisationalen Produktionsanforderungen am besten geeigneten, I4.0 Lösungen werden nachfolgend durch 15 weitere Anwendungen ergänzt.

⁵⁹² vgl. Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0 (2016), S. 36 und Fay, Gausemeier und ten Hompel (2018), S. 10.

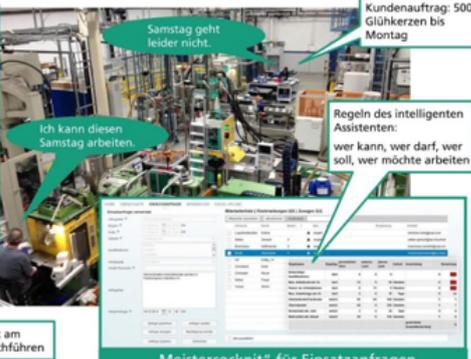
Firmen/Lösungen und Anforderungen																
		Selbstorganisation der Teams	Prozessorientierte Arbeitsorganisation	Agilität der Organisation	Innovationsfähigkeit	Moderne Führung	Transparenz in der Organisation	Verbesserte Kommunikation und Abstimmung	Flexibler Personaleinsatz	Förderung der Mitarbeitermotivation	Konsequente Mitarbeiterqualifikation	Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit (RS und NH)	Wandlungsfähigkeit der Produktion	Ausrichtung auf Lean Management 4.0	Vernetzung und Transparenz	Kennzahlen
Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Fraunhofer IAO, „KapaflexCy“ - Selbstorganisierte Personalkapazitätsflexibilität für die I4.0															
2	Fraunhofer IPK, „IWEPRO“ - Intelligente selbstorganisierte Werkstattproduktion															
3	Crevis, Personalqualifikation															
4	BLG LOGISTICS/Engelbert Strauß, Industrie 4.0 Hallenlogistiksystem															
5	Technotrans, Visuelle Kommunikation über Ampelsystem															
6	Peakboard, Visualisierungsboard															
7	FESTOOL, Digitales Lean Shopfloor Management															
8	Rota Yokogawa, Digitaler Echtzeit-Produktionsüberblick.															
9	MAN Energy Solutions, Kommissionierung mit Industrie 4.0 Technologien															
10	ESTA Apparatebau, Hallenlüftungssysteme 4.0															
11	KINEMIC, Gestensteuerung mit Wearables															
12	Fraunhofer IAO/aucobo, Mehrmaschinen- Bedienung mit Smartwatches															
13	Picavi, Pick-by-Vision und Kommissionierung mit Datenbrillen															
14	BMW Group, Datenbrille in der Qualitätssicherung															
15	Fraunhofer IAO, KPI Dashboard															
16	Phoenix Contact, Wandlungsfähige Fertigung															
17	.steute, Intelligentes Qualifikations- und Assistenzsystem															
18	TEKA, Intelligentes Raumüberwachungssystem „AIRTRACKER“															
19	Fraunhofer IAO, Qualifizierung am Arbeitsplatz															
20	Schaeffler, Instandhaltung 4.0 „SmartCheck“															

Abbildung 16: Eigene Darstellung - Clusterung und Zuordnung der Industrie 4.0 Anwendungen des Technologielösungsatlasses.

Unternehmen:	Fraunhofer IAO/BorgWarner Ludwigsburg GmbH
Lösung:	„KapaflexCy“ - Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität für die I4.0
Eingesetzte Technologien:	Echtzeit CPS-Daten, Mobilgeräte und Web 2.0-Technologien, Softwarelösungen
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> Starke Vereinfachung, Verbesserung und Beschleunigung der Schichtplanung. Benötigte Kapazitäten werden anhand aktueller Bedarfe berechnet und bewertet. Mitarbeiter werden bezüglich Einsätzen angefragt: „KapaflexCy“ Plattform zur Kapazitätsabstimmung mit Echtzeitdaten. Hochflexibler Personaleinsatz wird mittels App und der Plattform Doodle gesteuert. → Schnittstellen zu sämtlichen wichtige IT-Systemen. Mitarbeiter koordinieren ihre Arbeitszeiten und stimmen kurzfristig, eigenmächtig und selbstverantwortlich über Schichtbelegungen ab. → Mobile Geräte (z.B. Smartphones) kommen zum Einsatz. Nutzung einer intelligenten I4.0 Stechuhr in der Fabrikhalle, wenn Mitarbeitern kein Smartphone zur Verfügung steht. Schichtplaner versendet bedarfsweise weitere, von der Regelarbeitszeit abweichende, online Arbeitseinsatzanfragen mit Zeitpunkten sowie benötigten Mitarbeiteranzahlen und Qualifikationen. → z.B. bei Zusatzschichten. → Im Bereich arbeitende Produktionsmitarbeiter werden online benachrichtigt. → Betriebsrat ist digital eingebunden (z.B. Genehmigung von Sonderschichten). Aktive Steuerung der „Heimgehpotenziale“ für Mitarbeiter.
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	<ul style="list-style-type: none"> Herkömmliche, aufwendigere Arbeitszeitsteuerungsinstrumente fallen komplett weg. Planungsaufwand wird durch Wegfall langwieriger Abstimmungsprozesse und Informationsbeschaffungsmaßnahmen deutlich minimiert. Bessere Informationsbereitstellung. → Transparenzerhöhung in der Personaleinsatzplanung und in der Organisation für alle Mitarbeiter. Reduktion der Arbeitsbelastung für Produktionsarbeiter. → Produktivitätssteigerung und effizientere Prozesse durch Einsatz des Tools. Starke Förderung von Eigenverantwortung und Selbstbestimmung der Mitarbeiter. Neue Chancen für Mitarbeiter: Je nach persönlicher Situation kann mehr oder weniger gearbeitet werden. Es bietet sich die Möglichkeit Arbeitsangebote individuell anzunehmen (z.B. besonders lukrative Angebote oder zeitlich optimal passende).
Veränderungen in der Organisation:	<ul style="list-style-type: none"> Motivationssteigerung durch optimierten Ausgleich zwischen Arbeit, Familie und Freizeit. Sehr starke organisatorische Einbindung der Mitarbeiter. Einfache Steuerung standortübergreifender und unternehmensübergreifender Kapazitätsplanungen. Einsatz der Ressource Personal deutlich optimiert. → Ressourcenschonung. Schnelle und flexible Reaktion auf Kundennachfragen möglich. → Personalseitiger Ausgleich kurzfristiger Schwankungen.



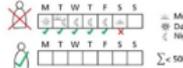
Einsatzanfrage auf Smartphone



„Meistercockpit“ für Einsatzanfragen

„KapaflexCy“ - Umsetzung des „SchichtDoodle“ Assistenten.
→ Einsatzanfragen erscheinen auf den mobilen Endgeräten der Mitarbeiter.

„KapaflexCy“ - Prioritätsregeln des intelligenten „SchichtDoodle“ Assistenten.

Wer kann? Erforderliche Kompetenzen		Ausschluss nicht qualifizierter Mitarbeiter
Wer darf? Rechtliche, tarifliche Randbedingungen	 <small>Morning Shift Day Shift Night Shift</small>	Auf Einhaltung der Vorgaben hinweisen
Wer soll? Tendenz und Stand Flexikonto	 <small>0 - ++</small>	Prioritäten berechnen
Wer möchte? Persönliche Präferenzen		Beziehungsregeln auswerten

Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:

<ul style="list-style-type: none"> Selbstorganisation der Teams Prozessorientierte Arbeitsorganisation Agilität der Organisation Moderne Führung Verb. Kommunikation und Abstimmung Flexibler Personaleinsatz Förd. der Mitarbeitermotivation 	<ul style="list-style-type: none"> Wandlungsfähigkeit der Produktion Ausrichtung auf Lean Management 4.0 Vernetzung und Transparenz Förderung der RS und NH Transparenz in der Organisation
--	--

Abbildung 17: Top 5: Eigene Darstellung Technologiөлösungsatlas Nr.1 - Fraunhofer IAO/BorgWarner, Flexibler und selbstorganisierter Personaleinsatz mit „KapaflexCy“.

Quellen: Vgl. Plattform Industrie 4.0 und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020), URL siehe Literaturverzeichnis, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020c), S. 1f., URL siehe Literaturverzeichnis, Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg und BorgWarner Ludwigsburg GmbH (2020), URL siehe Literaturverzeichnis und Heller (2015), S. 34f.

<p>Unternehmen: Fraunhofer Institut Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)</p> <p>Lösung: „IWEPRO“ - Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion</p> <p>Eingesetzte Technologien: Feinplanungs-Tool „Job Shop Scheduler“</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austausch von Auftrags- und Fertigungsinformationen zwischen intelligent vernetzten Produkten, Transportsystemen, Produktionsmaschinen und Fertigungsressourcen. → Kooperieren aufgaben- und situationsorientiert mit den Werkern. • Software erstellt für die anstehenden Fertigungsaufträge detaillierte Produktionspläne. → Darstellung in Diagrammen. • Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen für Shopfloor-Mitarbeiter durch Agentensystem. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung des Produktionsplans an die Mitarbeiter erfolgt direkter als bisher. • Vernetzung ermöglicht Mitarbeiterspezifische Bereitstellung relevanter Informationen direkt am Arbeitsplatz. • Reduzierung des Zeitaufwands für Einsatzbesprechungen. • Absprache und Kommunikation zwischen Maschinen und folgenden Bearbeitungsstationen zur Bearbeitung und Übernahme von Arbeitsschritten. • Maschinen liefern unter anderem Verfügbarkeit und Kosten zurück. • Fertigungsstruktur liefert Methoden zur zuverlässigen, termingerechten und kostenoptimalen Durchführung. → Sicherstellung der Aufträge. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jede Ressource und jeder Fertigungsauftrag wird durch einen Agenten (CPS) repräsentiert. Die Agenten kommunizieren und verhandeln miteinander und legen die beste Herstellungslösung fest. • Es ergibt sich eine komplett neuartige Arbeitsorganisation. • Werkstattfertigung anstatt Linienfertigung. • Der anstehende Fertigungsprozess beeinflusst direkt die Arbeitsorganisation. <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selbstorganisation der Teams • Prozessorientierte Arbeitsorganisation • Förderung der Mitarbeitermotivation • Wandlungsfähigkeit der Produktion • Verb. Kommunikation und Abstimmung • Innovationsfähigkeit 	<p>IWEPRO - Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion</p> <p>Zusammenspiel von Werker, Steuerung und Produktionsmittel als eine Einheit.</p> <p>Kooperierende Einheiten systemisch dargestellt.</p>
--	--

Abbildung 18: Top 5: Eigene Darstellung Technologiелösungsatlas Nr.2 - Fraunhofer IPK, Intelligente selbstorganisierte Werkstattproduktion „IWEPRO“.

Quellen: Vgl. Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) und Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM) (2017), S. 65, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (2020), S. 1f, URL siehe Literaturverzeichnis und Krüger (2013), S. 10f.

<p>Unternehmen: Crevis GmbH</p> <p>Lösung: Personalqualifikation im Zeitalter von Industrie 4.0</p> <p>Eingesetzte Technologien: Elektronische, multimediale und Virtual Reality (VR) Lern- und Visualisierungsanwendungen</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplatz wird cyber-physisch erfasst und digital dargestellt. → Arbeitsabläufe werden am Beispiel einer Computermontage frühzeitig vermittelt. • Mithilfe der Verwendung von Bild-, Text- und Videomaterial werden der persönliche Montagearbeitsplatz, der Gesamtprozessablauf und die Arbeitsschritte vorgestellt. • Einsatz von Assistenz-Systemen: Interaktive Animationen, 3D-PDF und VR. • Online Feedbackmöglichkeiten. • Tests und Befragungen zur Überprüfung des Lernfortschritts. • Lückenlose Dokumentation des Lernerfolgs durch eine automatische Zertifizierung. • Wiederholung der Zertifizierung zeitgesteuert einrichtbar. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompetenz der Mitarbeiter wird durch die Verwendung von digitalen Lern- und Visualisierungsmedien erhalten und gefördert. • Lerninhalte werden zeitgenau, im richtigen Umfang und am richtigen Ort zur Verfügung gestellt. → Lerngeschwindigkeit variierbar. • Aufbereitung und Darstellung von Informationen je nach individuellem Kenntnisstand. • Nutzung von 3D-CAD Daten aus der Produktentwicklung und der Fabrikplanung bei der Lernmedienerstellung. → Frühzeitige Verknüpfung zwischen Bereichen. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orts- und Zeitunabhängige, komfortable Wissensvermittlung und Schulung durch Lernmedien. → Am Arbeitsplatz im Unternehmen oder Zuhause am PC/Tablet etc. • Mitarbeiterqualifikation kann je nach Organisationsvoraussetzungen angepasst erfolgen. Insgesamt entsteht eine neue Bildungsorganisation. • Planung der Abläufe weit vor der physischen Verfügbarkeit der Anlagen möglich. • Frühe Einführung in Abläufe und Arbeitsvorbereitung der Mitarbeiter. • Wegfall herkömmlicher Schulungsunterlagen und Schulungseinrichtungen. • Zeitlich frühere Terminierung der Schulungsmaßnahmen und der Qualifizierung. <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Mitarbeitermotivation • Konsequente Mitarbeiterqualifikation • Moderne Führung 	<p>Arbeitsstation im realen Aufbau (oben) / in der virtuellen Welt als 3D Darstellung (unten).</p> <p>VR kommt als Assistenzsystem zum Einsatz.</p>
---	---

Abbildung 19: Top 5: Eigene Darstellung Technologiелösungsatlas Nr.3 - Crevis, Personalqualifikation.

Quelle: Vgl. Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

<p>Unternehmen: BLG LOGISTICS/Engelbert Strauß</p> <p>Lösung: Industrie 4.0 Logistiksystem für Lager/Produktionshallen</p> <p>Eingesetzte Technologien: Selbstfahrende Transportroboter, Stargates (voll digitalisierte Kommissionierplätze/Verpackungsstationen), Warenhausmanagementsystem WMS X</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Transportrobotern. • An den Stargates lagern Mitarbeiter Waren in Regale ein oder aus. • Verwendung von „Pick-by-Light“. → Lämpchen für Entnahmeort und Ablageort. • Menschen arbeiten fest an diesen Stationen. → Absolvieren keine langen Laufwege durch die Halle. → Aufgabe Roboter: Ware/Regale zu Stargates/Personen bringen. • Roboter fahren entweder mit gefüllten Regalen zu Entnahme vor oder bringen leere Regale zur Befüllung vorbei. • Automatisches Drucken von Versandetiketten. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine Zeitverschwendung bei langer Warensuche durch Mitarbeiter mehr. • WMS X steuert die komplette Anlage, behält jederzeit den Überblick über den kompletten Bestand und kennt Wareninformationen, Zielorte und Standorte. • Lager/Halle und Standorte der Roboter sind vollständig digital abgebildet. → Abbild über System und Statusbildschirme abrufbar. • Effizienzsteigerung, effizientes Gesamtsystem. • Roboter und Menschen können zusammen sehr große Mengen abwickeln. • Einsatz der verschiedenen Technologien erhöht Flexibilität und senkt Kosten. • Fehler sind nahezu ausgeschlossen. • Ergonomie für Mitarbeiter steigt u.a. durch ortsfeste Arbeitsplätze. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antwort auf demografischen Wandel. → Auch Mitarbeiter ohne perfekte Sprachkenntnisse/spezifische Ausbildung für Kommissionierung geeignet. • Schneller Umbau möglich. → Flexible und laufende Mengenanpassung möglich. • Die Organisationsstrukturen liefern Mitarbeiterunterstützung und Entlastung. • Arbeitsorganisation total umgewandelt: Wenig Bewegung des Menschen, IT Technik bringt die Ware zum Mitarbeiter, der digital geführt die Artikel weiter verteilt. <table border="0"> <tr> <td>• <i>Prozessorientierte Arbeitsorganisation</i></td> <td>• Wandlungsfähigkeit der Produktion</td> <td>• Ausrichtung auf Lean Management 4.0</td> </tr> <tr> <td>• <i>Flexibler Personaleinsatz</i></td> <td>• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit</td> <td>• Vernetzung und Transparenz</td> </tr> <tr> <td>• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	• <i>Prozessorientierte Arbeitsorganisation</i>	• Wandlungsfähigkeit der Produktion	• Ausrichtung auf Lean Management 4.0	• <i>Flexibler Personaleinsatz</i>	• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	• Vernetzung und Transparenz	• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i>			 <p>Regale werden von den Robotern angehoben und durch das Retouren Lager befördert.</p>  <p>Eindeutige Anweisungen für die Mitarbeiter an den Stargates.</p> <p style="text-align: center;">← Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p>
• <i>Prozessorientierte Arbeitsorganisation</i>	• Wandlungsfähigkeit der Produktion	• Ausrichtung auf Lean Management 4.0								
• <i>Flexibler Personaleinsatz</i>	• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	• Vernetzung und Transparenz								
• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i>										

Abbildung 20: Top 5: Eigene Darstellung Technologiөлösungsatlas Nr.4 - BLG LOGISTICS/Engelbert Strauß, I4.0 Hallenlogistiksystem.
Quelle: Vgl. Raveling (2016), URL siehe Literaturverzeichnis.

<p>Unternehmen: Technotrans AG</p> <p>Lösung: Kommunizieren - schnell und visuell</p> <p>Eingesetzte Technologien: Vorhandene PC Terminals, zentral einsehbare Monitore, LED-Ampeln über Produktionslinie</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Information über Kommunikationsbedarf. <ul style="list-style-type: none"> • Rotes Signal → Bedarf hoch, innerhalb 15 Minuten. • Gelbes Signal → Bedarf vorhanden, innerhalb 45 Minuten. • Grünes Signal → kein Kommunikationsbedarf. • Die Zustände werden auf allen PCs einer bestimmten Abteilung / Gruppe angezeigt. • Annahme der Aufgabe bzw. des Problems durch einen Mitarbeiter. → Anzeigen auf allen anderen Medien verschwinden und Ampelsystem schaltet um. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Direktes Anmelden eines Kommunikationsbedarfes durch Visualisierung. • Priorisierung des Kommunikationsbedarfes. • Selbstorganisation des Teams durch weisungsunabhängige Kommunikations- und Aufgabenannahme. • Durch Darstellung auf zentralem Monitor sind alle Produktionsarbeiter informiert. • Durch Ampel über der Produktionslinie wird der Kommunikationsbedarf verortet. • Führung kann sehen was in jeweiligem Zuständigkeitsbereich anfällt. • Minimales Investment durch Mitarbeiteraktivierung. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Langwieriges Suchen eines Kommunikationspartners entfällt. • Verbesserte organisatorische Zusammenarbeit. • Aktivierung von verborgenen Kenntnissen in der Belegschaft. → Fähigkeiten fördern. → Persönliche Stärken und Kompetenzen werden für das Unternehmen verfügbar gemacht. • Umfangreiche Organisationsverbesserungen in vielen Hinsichten (→ Kategorisierung). 	 <p>Hier zeigt die Ampel an der Produktionslinie grün und kommuniziert: Alles in Ordnung.</p> <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <table border="0"> <tr> <td>• <i>Moderne Führung</i></td> <td>• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit</td> </tr> <tr> <td>• <i>Verbesserte Kommunikation und Abstimmung</i></td> <td>• Vernetzung und Transparenz</td> </tr> <tr> <td>• <i>Agilität der Organisation</i></td> <td>• Selbstorganisation der Teams</td> </tr> <tr> <td>• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• <i>Konsequente Mitarbeiterqualifikation</i></td> <td></td> </tr> </table>	• <i>Moderne Führung</i>	• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit	• <i>Verbesserte Kommunikation und Abstimmung</i>	• Vernetzung und Transparenz	• <i>Agilität der Organisation</i>	• Selbstorganisation der Teams	• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i>		• <i>Konsequente Mitarbeiterqualifikation</i>	
• <i>Moderne Führung</i>	• Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit										
• <i>Verbesserte Kommunikation und Abstimmung</i>	• Vernetzung und Transparenz										
• <i>Agilität der Organisation</i>	• Selbstorganisation der Teams										
• <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i>											
• <i>Konsequente Mitarbeiterqualifikation</i>											

Abbildung 21: Top 5: Eigene Darstellung Technologiөлösungsatlas Nr.5 - Technotrans, Visuelle Kommunikation über Ampelsystem.
Quelle: Vgl. Meudt et al. (2018), S. 33.

6.3. Technologielösungsatlas – Weitere organisatorische Industrie 4.0 Lösungen

Zusammenfassend stellt der zweiteilige Technologielösungsatlas eine grundlegende Sammlung organisatorische Aspekte verbessernder Industrie 4.0 Lösungen dar. Das Hauptziel der Aufstellung ist die Verdeutlichung, in welche Richtung die Gestaltung der Organisation der Produktion aktuell und in Zukunft verlaufen kann. Einige der vorgestellten Technologien wurden schon vor längerer Zeit als Pilotprojekte durchgeführt und bereits in Unternehmen implementiert, während die Verwendung anderer aufgeführter Lösungen noch eine Zukunftsvision und Leitidee darstellt.

Grundsätzlich ist bei der Implementierung und Nutzung von I4.0 Anwendungen aller Art immer eine konkrete Überprüfung der Ausgangssituation und der individuellen unternehmerischen Rahmenbedingungen zu vollziehen. In jedem Fall sollte ein Sinn zur Einführung und Verwendung einer bestimmten Industrie 4.0 Lösung vorhanden sein, da andernfalls eine Ausnutzung der weitreichenden positiven Wirkungen nicht geschehen kann. Nur wenn der Einsatz von I4.0 Anwendungen analysiert und hinterfragt wird, können Schwachpunkte der bestehenden Produktion tatsächlich ausgemerzt werden und Verbesserungen resultieren.⁵⁹³ Die wesentlichste zu bewältigende Aufgabe für Unternehmen besteht schlussendlich darin, bei der Auswahl von I4.0 Lösungen überlegt vorzugehen und die optimal passenden Anwendungen zu identifizieren.⁵⁹⁴ In der abschließenden Betrachtung werden die in dieser Arbeit behandelten Inhalte diskutiert, erweitert und rekapituliert. Zunächst dient die Vorstellung einer idealtypischen arbeitsorganisatorischen Ablauforganisation der zukünftigen Produktion dazu, Verknüpfungen zwischen den vorangestellten Kapiteln und Erkenntnissen herzustellen.

Hinweis: Aufgrund der besseren Lesbarkeit im Publikationslayout von Junior Management Science, werden zuerst die Abbildungen 22 bis 36 auf den folgenden Seiten dargestellt.

⁵⁹³vgl. Dobrowolski (2016), URL siehe Literaturverzeichnis.

⁵⁹⁴vgl. Stief (2018), S. 245.

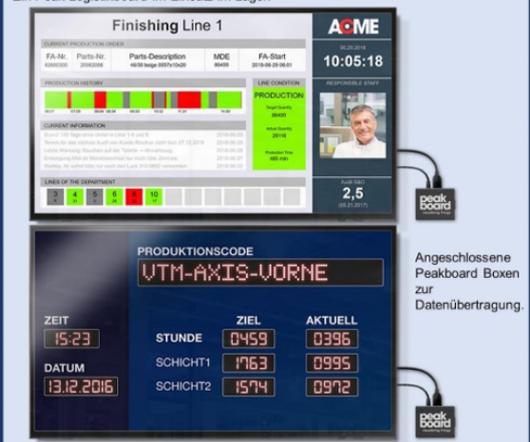
Unternehmen:	Lösung:	
Peakboard GmbH	Peakboard - visualizing things	
Eingesetzte Technologien:	Displays, Data-Lake, Peakboard Verbindungsbox	
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> Einfache und effiziente Visualisierung komplexer Daten, Kennzahlen und Prozesse in Echtzeit. → Auf Displays in Produktion, Logistik, Verwaltung und am Point of Sale. Peakboard stattet jeden Industriearbeitsplatz mit eigener Intelligenz und Logik aus. Datenquellen werden vernetzt und visualisiert. Hohe Benutzerfreundlichkeit durch selbsterklärendes und intuitives Interface für alle Anwender. Einfache Integrierbarkeit in bestehende Systemwelten. Die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ist eng auf die jeweiligen Aufgaben abgestimmt. → schafft Effizienz und Übersichtlichkeit, standardisiert Prozesse und verringert die Fehlerquote. 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:		
<ul style="list-style-type: none"> Peakboard kombiniert die Einfachheit und Flexibilität einer „Digital-Signage-Anwendung“ mit der Komplexität von geschäftlichen Prozessdaten und Kennzahlen. Nutzung für unterschiedlichste Zwecke (Prozessboard, Logistik-Board, IT-Board ...). Wegfall manueller Datenerhebung und Datenaktualisierung. Wegfall IT-Support. Prozesse können ad-hoc gesteuert werden. 		
Veränderungen in der Organisation:		
<ul style="list-style-type: none"> Zeiteinsparung durch organisierte und effiziente Visualisierungen. Eingesparte Ressourcen und Kapazitäten für anderen Stellen verfügbar. Lösung unterstützt flexible und agile Reaktion auf Änderungen. Direkte Steuerung und Kontrolle der Produktionsorganisation. 		
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:		<p>Ein Peak-Logistikboard im Einsatz im Lager.</p> <p>Angeschlossene Peakboard Boxen zur Datenübertragung.</p> <p>Zwei weitere Anwendungsgebiete: Infos zur Finishing Line und ein Board zur Prozessoptimierung.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Prozessorientierte Arbeitsorganisation Transparenz in der Organisation Vernetzung und Transparenz Verb. Kommunikation und Abstimmung Kennzahlen 		
<ul style="list-style-type: none"> Agilität der Organisation Förderung der Ressourcenschonung Nachhaltigkeit 		
<ul style="list-style-type: none"> Agilität der Organisation Förderung der Ressourcenschonung Nachhaltigkeit 		

Abbildung 22: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.6 - Peakboard, Visualisierungsboard.

Quelle: Vgl. Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	FESTOOL GmbH	
Lösung:	Lean Kultur im digitalen Wandel	
Eingesetzte Technologie:	Shopfloor Management mit digitalen Anzeigen und Softwareeinsatz	
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> Zur LEAN-Unternehmenskultur passende digitale Möglichkeiten werden abgewogen, getestet, standardisiert und verwendet, wenn der Einsatz sinnvoll ist. Alle relevanten Informationen werden digital dargestellt. Aufzeichnen der Prozesse und Analyse des Informationsflusses. Analoge Medien in der Produktion werden durch digitale ersetzt. Es ergibt sich ein digitaler Überblick über die Lean Produktion. Morgendliche Abstimmung und Diskussionsrunde (Shopfloor Meeting) findet in Zusammenspiel aus Microsoft Excel, SAP und anderer Software statt. 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:		<p>Digitale Übersicht aktueller Zustände in Echtzeit.</p> <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> Transparenz in der Organisation Verbesserte Kommunikation und Abstimmung Vernetzung und Transparenz Kennzahlen Ausrichtung auf Lean Management 4.0 Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit
<ul style="list-style-type: none"> Fokus wird auf wirklich relevante Informationen gesetzt. Informationen werden dort dargestellt, wo sie wirklich gebraucht werden. Permanente Verfügbarkeit der Informationen auf verschiedenen Medien. → Auch außerhalb des Shopfloors. Standardisierung von Prozessen und IT-Lösungen. → Zeitreduzierung bei Shopfloor Management und Besprechungsterminen. Langfristiger Zugriff auf Informationen sowie auf Ergebnisse von Besprechungen, beispielsweise in Form von digitalen Auswertungen, Graphen und Statistiken. Wirtschaftliches Produktionssystem mit dem Ziel mehr Wert für den Kunden zu schaffen. 		
Veränderungen in der Organisation:		
<ul style="list-style-type: none"> Mitarbeiter müssen sich mit neuer Technologie vertraut machen. Schaffung von Transparenz. Ausrichtung auf Lean-Unternehmenskultur. Ergebnis: Schnelle Reaktionszeit. Steigerung der Produktivität durch das Reduzieren von Informationstransportzeiten und die Einbindung aller Mitarbeiter. Gesamtorganisation der Produktion strukturiert überwachbar und kontrollierbar. Shopfloor Management wird unterstützt und vereinfacht. 		

Abbildung 23: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.7 - FESTOOL, Digitales Lean Shopfloor Management.

Quelle: Vgl. Meudt et al. (2018), S. 35.

Unternehmen:	Rota Yokogawa GmbH & Co. KG
Lösung:	Digitaler Echtzeit-Produktionsüberblick und termingerechte Versandsteuerung mittels digitalem Pull-System
Eingesetzte Technologien:	Visualisierung auf Großbildschirm oder Arbeitsplatzbildschirm Auswertungsprogramm von Echtzeitdaten
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von variantenreichen Durchflussmessgeräten („ROTAMASS“). • Produktion, Logistik und Versand sorgen unter Verwendung von Echtzeitdaten gemeinsam für Feinsteuerung von Aufträgen und termingerechte Auslieferung. • Versand: Generell ist je nach Größe des produzierten Gutes eine unterschiedliche Packdauer und ein anderer Platzbedarf für die Verpackungsarbeiten notwendig. → Die I4.0 Lösung zeigt alle sich in den letzten 7 Produktionsschritten befindlichen Güter mit deren Größe und aktuellem Standort. • Produktionssituation kann digital eingesehen und gesteuert werden.
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Planung der Mitarbeiterauslastung und der personellen Kapazitäten im Versand, an der Produktionslinie und in der Logistik. • Flächenbedarf im Versand wird durch optimalere Nutzung der vorhandenen Verpackungs- und Lagerflächen deutlich reduziert. • Zielgerichteter Personalressourceneinsatz. → Größere Produkte - mehr Mitarbeiter. • Fehlerrate von Montagetätigkeiten verringert. → Qualität nachhaltig verbessert. • Detailplanung der Prozesse (des Versands) möglich.
Veränderungen in der Organisation:	<ul style="list-style-type: none"> • System prüft, ob der Werker berechtigt ist an einem Arbeitsplatz zu arbeiten. → Es meldet dem berechtigten Mitarbeiter sofort, wenn sich eine Änderung der Vorschriften bzw. des Arbeitsprozesses am Arbeitsplatz ergeben hat. → Einleitung von Kurzeinweisungen über System bei Bedarf (Mitarbeiterschulung). • (Online) Schulungen der Mitarbeiter sind an ständig ändernde Arbeitsschritte angepasst. • Umfangreiche, bereichsübergreifende Prozessoptimierung. • Effizientere Verknüpfung von Logistik und Produktion. • Mitarbeiterunterstützung in der gesamten Organisation. • Schaffung von Transparenz und Kontrolle z.B. über Zeitpunkte. → Prognosen möglich.



Digitale Transparenz für die Mitarbeiter:
Alle Aufträge in der Produktion sind zu jedem Zeitpunkt einsehbar.

Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstorganisation der Teams • Agilität der Organisation • Transparenz in der Organisation • Verbesserte Kommunikation und Abstimmung • Ausrichtung auf Lean Management 4.0 • Vernetzung und Transparenz
--	---

Abbildung 24: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.8 - Rota Yokogawa, Digitaler Echtzeit-Produktionsüberblick. Quellen: Vgl. Picavi GmbH (2020c), URL siehe Literaturverzeichnis und Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg und Rota Yokogawa GmbH & Co. KG (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	MAN Energy Solutions SE
Lösung:	Einsatz von Datenbrillen im Lager für Kommissionierung und Ansteuerung Maschinen
Eingesetzte Technologien:	Datenbrillen, Datenhandschuh mit integriertem Scanner
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> • Mit Datenbrillen unterstützte Kommissionierung am automatischen Kleinteilelager. • Kommunikation der Brille über eine implementierte App mit SAP-System. • Auf der Datenbrille werden Ein- und Auslagervorgänge und Aufgaben angezeigt. • Zudem sind Fahrbefehle für die „Lean-Lifte“ zum Warentransport stets sichtbar. • Die Lagergeräte sind direkt über die Datenbrille ansteuerbar (z.B. Lagerlifte). • Modernes Bedienkonzept enthält auch Datenhandschuh mit integriertem Scanner. • Daten des mobilen Scanners werden in Echtzeit an das SAP übertragen.
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeiter haben immer beide Hände zum Kommissionieren der Teile frei. • Bei Projektimplementierung wurden Arbeitsprozesse hinterfragt und konsequent nach Lean Prinzipien ausgerichtet. • Generelle Reduzierung der Anzahl von Eingabegeräten in Produktion und Logistik durch Harmonisierung von Arbeitssystem, Hardware und Software bei dieser Lösung. • Optimierung intuitiver Arbeitsprozesse mit Wearables. → Auch durch die Nutzung der entwickelten SAP-App.
Veränderungen in der Organisation:	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr produktive Arbeit durch Beseitigung zeitraubender Organisationsprozesse und durch Übernahme von Aufgaben durch Datenbrille, Scanner und Software. • Massive Zeiteinsparungen. • Organisatorische und arbeitstechnische Unterstützung für die Mitarbeiter. • Mitarbeiter wurden bei Planung, Prozessgestaltung und technologischer Umsetzung explizit eingebunden. → Förderung von Innovationsfähigkeit und innovativem Denken. • Arbeitsabläufe werden tiefgreifend verbessert. → Grund: Die Wearables für Produktion und Logistik bieten viele Potentiale, um Arbeitsabläufe zu optimieren und digital zu gestalten.
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationsfähigkeit • Ausrichtung auf Lean Management 4.0 • Vernetzung und Transparenz • Prozessorientierte Arbeitsorganisation



Mitarbeiter aus der Logistik mit Datenbrille.



Mitarbeiter aus der Logistik bei der Einlagerung.

Abbildung 25: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.9 - MAN Energy Solutions, Kommissionierung mit I4.0 Technologien. Quelle: Vgl. Picavi GmbH (2020c), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	Lösung:	
ESTA Apparatebau GmbH & Co. KG	Hallenlüftungssysteme / Filterturm 4.0	
Eingesetzte Technologien:		
Netzwerkfunktionalität gekoppelt mit modernster Sensorik und Steuerungstechnik		
Beschreibung der Lösung:		
<ul style="list-style-type: none"> • Absauganlagen und Hallenlüftungssystem für Schweißrauch, Staub und Ölnebel etc. → Energiesparender, regelbarer, zuverlässiger Anlagenbetrieb möglich. • Einsatz und Datenerfassung vor Allem bei Arbeiten an großen/komplexen Werkteilen. • Ansaugung verschmutzter Luft, Reinigung in speziellen Filtersystemen und Abgabe von sauberer Luft in die Umgebung. • Automatisierte Überwachung und Reinigung der Filter. • Filtertürme an unternehmensindividuelle Netzwerkinfrastruktur koppelbar. 		
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:		
<ul style="list-style-type: none"> • Absaugung ohne Installation von Rohrleitungen, flexibel aufstell- und einsetzbar. • Informationen wie Betriebsstatus, Filterstatus oder aktuelle Luftleistung können ortsunabhängig mit mobilen Endgeräten abgerufen und gesteuert werden. • Protokollierung aller Daten. • Reduzierung externer Wartungseinsätze und der verbundenen Kosten. • Erhöhte Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung (Stromverbrauch, Heizkosten) • Handlungsempfehlungen und Kundensupport aus der Ferne verringern mögliche Ausfallrisiken. → Betriebssicherung und Fehleridentifikation. 		
Veränderungen in der Organisation:		
<ul style="list-style-type: none"> • Fernzugriff durch ESTA Spezialisten reduziert internes Wartungspersonal. • Planungskapazitäten für Rohrleitungssysteme können anderweitig eingesetzt werden. • Veränderung der Arbeitswelt: Anstatt vor Ort Techniker DV affine Mitarbeiter nötig. • Absaugprozess durchgehend überwachbar. → Schafft Organisationsrahmen für Prozesssicherung. • Ausbildung von Spezialisten im I4.0 Bereich notwendig. • Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit durch gezielt sauberes Arbeitsumfeld. 		
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:		<p>Daten des Filterturms 4.0 stehen online zur Verfügung. Sie können leicht überprüft werden. Einstellungsänderungen sind schnell vorgenommen.</p> <p>Der Filterturm 4.0 lässt sich bedarfsweise an vielen Orten in der Produktion aufstellen und ist funktioniert ohne aufwendige Deckeninstallationen.</p> <p>Das Kontrollpanel zeigt alle wichtigen Daten.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit • Innovationsfähigkeit • <i>Vernetzung und Transparenz</i> 		

Abbildung 26: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.10 - ESTA Apparatebau, Hallenlüftungssysteme 4.0.

Quellen: Vgl. Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (2017), S. 20f. und ESTA Apparatebau GmbH & Co. KG (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	KINEMIC GmbH	
Lösung:		
Gestensteuerungstechnologien und Systeme für Zustandsüberwachung, Wartungsarbeiten oder Bedienung digitaler Systeme in Produktionsprozessen.		
Eingesetzte Technologien:		
Wearables (SmartGlass/Smartwatch Bedienung), Software		
Beschreibung der Lösung:		
<ul style="list-style-type: none"> • Intuitive Gestensteuerung für industrielle Anwendungen. • Schritt für Schritt Bearbeitung von Workflows mit Gestensteuerungstechnologien. → Bedienung ohne weitere Hilfsmittel möglich. • Zusätzliche Maintenance Assistance Software. • „KINEMIC“ Armband/Smartwatch zur zuverlässigen Erkennung von Navigations- und Bestätigungsgesten. → Einfache Bedienung digitaler Geräte per Wischen in der Luft. • Verwendung der Gestensteuerung für andere Smart Devices (SmartGlass) in der Produktion möglich. 		
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:		<p>Techniker der Deutschen Bahn bei der Nutzung von Gestensteuerungstechnologien. Links oben: Workflow und Aufgaben werden angezeigt.</p> <p>„KINEMIC“ Armband zur Gestensteuerung.</p> <p>Bedienung einer SmartGlass mit Gestensteuerung.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Bedienung im Vergleich zu Tastatur/Maus/Touchscreen/Papierchecklisten ist natürlicher, intuitiver, schneller, ortsunabhängiger und berührungslos. • → Geringere Wegezeit zur Bedienung und keine „fummelige“, langwierige Eingabe. • Unabhängigkeit von Umgebungsfaktoren. → z.B. Umgebungsgeräusche bei Spracherkennung oder Lichteinfall bei Kamerasystemen. • Nahezu uneingeschränkte Mobilität der Mitarbeiter. 		
Veränderungen in der Organisation:		
<ul style="list-style-type: none"> • Leitung durch den Arbeitsprozess mithilfe von System. → Unterstützung. • Aber: Mitarbeiter müssen zur Verwendung Industrie 4.0 Qualifikationen aufweisen. • Prozessänderungen können ad-hoc verteilt und eingesetzt werden. • Wandel vom personenbezogenen hin zum prozessualen Arbeiten nach vorgegebenen Regeln mit optimaler Unterstützung. • Flexibler Personaleinsatz möglich. • Optimierung und Vereinfachung von Arbeitsprozessen, erhöhte Prozessqualität. • Komfortabilität für Mitarbeiter. 		
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:		<p>TP 79126 - Zählerstand erfassen</p> <p>Bedienstatus überprüfen</p> <p>Sicherungen überprüfen</p> <p>Zählerstand erfassen</p> <p>Schaltpläne</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Verb. Kommunikation und Abstimmung • <i>Flexibler Personaleinsatz</i> • Prozessorientierte Arbeitsorganisation • <i>Konsequente Mitarbeiterqualifikation</i> 		

Abbildung 27: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.11 - KINEMIC, Gestensteuerung mit Wearables.

Quellen: Vgl. Picavi GmbH (2020b), URL siehe Literaturverzeichnis, Kinemic GmbH (2020a), URL siehe Literaturverzeichnis und Kinemic GmbH (2020b), URL siehe Literaturverzeichnis.

<p>Unternehmen: Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)/aucobo GmbH</p> <p>Lösung: Eingesetzte Technologien: Mobile Mehrmaschinen-Bedienung Smartwatches</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenmanagement und Austausch über Smartwatches oder andere denkbare mobile Endgeräte. • Kommunikation zwischen mobilen Mitarbeitern wird ermöglicht. • Verbindung von Live-Maschinendaten mit dem Arbeiter. • System meldet Bedarf einer Maschinenbedienung über die Smartwatch. → Arbeiter erledigt Bedarf ad-hoc oder gibt den Aufruf an eine Gruppe oder einen Kollegen per Watch weiter. • Annahme der Aufgabe von Mitarbeiter(n) durch Quittieren. • In Echtzeit erfasster Kontext aus der Produktion wird zur Anpassung und Optimierung von Produktionsprozessen genutzt. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einfache Smartwatch Konfiguration ermöglicht eigenständige Prozessoptimierung. • Starke Eliminierung von Mitarbeiterwartezeiten und Stillstandzeiten der Maschinen. • Fehler können schneller erkannt werden. • Höhere Mitgestaltungsmöglichkeiten durch Mitarbeiter und einfachere Umsetzung von Erfahrungen. • Effizienzsteigerungen und geringere Kosten. • Vereinfachte Kollaboration von Mitarbeitern, da Informationen auf Mitarbeiter angepasst verteilt werden können. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Werker, Planer und Meister können in Absprache selbst Automatisierungen vornehmen und flexibel reagieren. • Steigerung der Motivation der Mitarbeiter durch hohes Maß an Selbstbestimmung. • Erhebliche Abstimmungsvereinfachung. • Bessere Planung, Steuerung und Aufgabenverteilung vorteilhaft für die Organisation. • Große Auswirkungen auf die Organisation (siehe Kategorisierung). <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selbstorganisation der Teams • Agilität der Organisation • Verb. Kommunikation und Abstimmung • Flexibler Personaleinsatz • Vernetzung und Transparenz • <i>Transparenz in der Organisation</i> 	 <p>Die Smartwatch als zentraler Aufgabenmanager.</p> <p>© Bildausschnitte aus Video.</p>  <p>Auf der Smartwatch erscheinen die Bedienungshinweise zur Maschine mit allen notwendigen Parametern und sonstigen Angaben.</p>
---	---

Abbildung 28: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.12 - Fraunhofer IAO/aucobo, Mobile Mehrmaschinen-Bedienung mit Smartwatches.

Quellen: Vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020e), S. 1, URL siehe Literaturverzeichnis und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2019), URL siehe Literaturverzeichnis.

<p>Unternehmen: Lösung: Picavi GmbH Pick-by-Vision, Augmented Reality unterstützte Kommissionierung</p> <p>Eingesetzte Technologien: Verschiedene Datenbrillen mit zugehöriger Software</p> <p>Beschreibung der Lösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mit Datenbrillen unterstützte Kommissionierung. • Scanner, Kameras und Mikrofon in Datenbrille integriert. • Brille kommuniziert mit Lager- und ERP-System. • Papiergebundene Pickliste wird ersetzt durch Display-to-go. • Datenbrillen scannen alle 1D- und 2D-Barcodes. → kein händischer Scan mehr nötig. • Optimierter Workflow wird durch angeschlossene Systeme sichergestellt. → Software und Datenbrillen sind aufeinander abgestimmt. • Produktions- / Logistikarbeitern wird beim Picking umfangreich assistiert. • Zusätzliche Serviceberatung und Problemanalyse als Dienstleistung. <p>Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schneller und zuverlässiger Materialfluss. • Vorteile des Kommissioniersystems: → Flexibel einsetzbar, intuitive Bedienung, ortsunabhängig, Echtzeitvorgänge. • Arbeiter haben immer beide Hände zur Teilekommissionierung frei. • Steigerung der Produktivität und ca. 30% Zeitersparnis. • Starke Fehlerreduktion durch Gewährleistung eines fehlerfreien Pickings. • Mitarbeiterschonung: Das schwere Erreichen von Barcodes und die verbundene Anstrengung werden beseitigt. → Visueller Datenbrillenscan erreicht alle Stellen. <p>Veränderungen in der Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kürzere Einsatzzeiten pro Aufgabe. → Schnellere Erledigung möglich. • Wegfall langer Schulungsreihen. → Sehr kurze Eingewöhnung für Mitarbeiter. • Kommissionieren mit freien Händen → Effektivere Arbeit. • Schlankere Prozesse. • Optimierung der gesamten Intralogistik. → Organisation wird vereinfacht. • Einfaches Handling führt zu hoher Akzeptanz und steigert die Mitarbeiterzufriedenheit. 	 <p>Der nächste Pick wird angezeigt, immer zwei freie Hände.</p> <p>Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innovationsfähigkeit • Ausrichtung auf Lean Management 4.0 • Vernetzung und Transparenz • Förderung der Mitarbeitermotivation
---	--

Abbildung 29: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.13 - Picavi, Pick-by-Vision und Kommissionierung mit Datenbrillen.

Quelle: Vgl. Picavi GmbH (2020a), URL siehe Literaturverzeichnis, Kinemic GmbH (2020a), URL siehe Literaturverzeichnis und Picavi GmbH (2020c), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	BMW Group
Lösung:	Datenbrille für die Qualitätssicherung in der Produktion
Eingesetzte Technologie:	Datenbrille mit Kamera und Display für Fotografie, Video oder Videotelefonie
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> • Aufzeichnen von Testreihen an Fahrzeugen per Google Glass durch Mitarbeiter. • Abweichungen werden wahlweise per Foto, Video oder Live-Film dokumentiert. • Die Prüfaufgaben an Fahrzeugen werden mit der Datenbrille abgearbeitet. • Mitarbeiter können am Fahrzeug bleiben, Prüfpläne auf integriertem Display ansehen und diese per Sprachsteuerung durchgehen und abhaken. • Über eine zentrale Leitstelle werden Qualitätsprüfungen an verschiedensten Standorten koordiniert. → Weniger Vor-Ort Präsenz und Live Chats.
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Zurücklegen von Wegen zwischen Arbeitsstation und Fahrzeugen mehr. • Die Verfahren der Qualitätssicherung werden beschleunigt und verbessert. • Verbesserung der Kommunikation zwischen den Qualitätsprüfern im Analysezentrum, den Produktionsmitarbeitern und den Ingenieuren in der Entwicklung. • Deutlich verbesserte Möglichkeiten der Analyse und schnellere Fehlerbehebung. • Sehr detaillierte, lückenlose Berichte durch die Dokumentationserweiterung mit Fotos und Filmsequenzen. • Mehr Klarheit über Zustände und weniger Rückfragen. • Beide Hände sind für Prüfungen verfügbar. → Effektivere, leichtere Arbeit.
Veränderungen in der Organisation:	<ul style="list-style-type: none"> • Organisationsübergreifende Abstimmung und Zusammenarbeit. → Beanstandungen werden unmittelbar und direkt am Fahrzeug mit allen betroffenen Bereichen abgeklärt. • Optimale Unterstützung der Mitarbeiter in der Produktion und in den produktionsvorbereitenden Bereichen. • Weitreichende Technologievernetzung. • Mitarbeiter werden qualifiziert und können Aufgaben besser und schneller erledigen. • Organisatorischer Vorgehensprozess im Vergleich zu einer Qualitätsprüfung ohne Industrie 4.0 Technologie stark überarbeitet und verbessert. • Innovationsfähige Organisation.
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	<ul style="list-style-type: none"> • Verb. Kommunikation und Abstimmung • Konsequente Mitarbeiterqualifikation • Vernetzung und Transparenz • Förderung der Mitarbeitermotivation • Agilität in der Organisation • Innovationsfähigkeit



Einsatz einer Datenbrille zur Qualitätssicherung in der Produktion.

Abbildung 30: Eigene Darstellung Technologiелösungsatlas Nr.14 - BMW Group, Datenbrille in der Qualitätssicherung. Quellen: Vgl. Lucks (2017b), S. 384f. und BMW Group (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
Lösung:	KPI Dashboard
Eingesetzte Technologie:	Echtzeit Datenbereitstellung auf Bildschirmen und mobilen Endgeräten
Beschreibung der Lösung:	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung eines dynamischen Cockpits (Siehe rechts: Aktiv per Touch am Bildschirm). • Digitale Werkzeuge und Softwaresysteme sind Bestandteile der Lösung. • Zusätzliche individuelle Informationsbereitstellung auf mobilen Endgeräten. • Besprechung und Steuerung am Cockpit mit Echtzeitinformationen: → Erhöhtes Bewusstsein für Situationen und Zustände in der Produktion. → Starke Unterstützung bei der Findung von Entscheidungen je nach Bedarf. • Beispielsweise können Mitarbeiter sowohl am Cockpit, als auch auf mobilen Geräten auf mehrere intelligente Assistenten in einer Ansicht zugreifen. • Weitere Funktionen können einfach integriert werden. • Prozessbezogenes Leistungsfeedback für die Mitarbeiter.
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarmachung von Kennzahlen, Zuständen, Problemen und Steuerungsbedarfen der Produktion. • Arbeitsassistenz für die Mitarbeiter wird digital und mobil bereitgestellt. • Tägliche Verbesserungsarbeit im Shopfloor Management nun mit Echtzeitdaten durchführbar. → Sofortige, direkte Lösungsfindung und Maßnahmenwirkanalyse möglich.
Veränderungen in der Organisation:	<ul style="list-style-type: none"> • Auch Abbildung und Verbreitung organisatorischer Inhalte und Kennzahlen. • Schaffung von mehr technischer und organisatorischer Transparenz. • Einbindung und Verantwortungsübertragung auf Mitarbeiter. → Selbstkontrolle und selbstständige Problemlösung. • Schnelle (organisationale) Reaktion bei Störungen und Problemen. • Steigerung der Motivation durch zügige Rückmeldung der Leistung. • Persönliche Entfaltung der Mitarbeiter, Bedeutsamkeit der Arbeit wird erlebt. → Zufriedenheit.
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	<ul style="list-style-type: none"> • Kennzahlen • Agilität in der Organisation • Förderung der Mitarbeitermotivation • Transparenz in der Organisation • Selbstorganisation der Teams



KPI-Dashboard mit Echtzeitdaten.

Abbildung 31: Eigene Darstellung Technologiелösungsatlas Nr.15 - Fraunhofer IAO, KPI Dashboard. Quelle: Vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020b), S. 1, URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen: Phoenix Contact Electronics GmbH	
Lösung: Wandlungsfähige Fertigung	
Eingesetzte Technologien: Modular und flexibel aufgebaute Produktionslinie, Software	
Beschreibung der Lösung: <ul style="list-style-type: none"> • Modulare Fertigungsline mit modularem Anlagen- und Steuerungskonzept. • Einsatz automatisierter und wandlungsfähiger Produktionstechnik. • Flexibler, frei konfigurierbarer Einsatz verschiedener Produktionsmodule und Produktionsprozesse (Plug & Produce Prinzip). → Vernetzung und Schnittstellen auch mit Software. → Datendurchgängigkeit. • Verwendung von Tragschienen mit Reihenklammern für eine flexible Anpassung an Herstellungsverfahren. • Variantenspezifische Prozessabläufe möglich. • Situationsbezogene Assistenzfunktionen für Arbeiter an der Montagelinie. • Fertigungssystem ermöglicht parallele Fertigung unterschiedlicher Artikelvarianten. 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert: <ul style="list-style-type: none"> • Einfache Anpassung der Produktionsmenge und des Automatisierungsgrads. • Mit einem digitalen grafischen Editor und Software können die Beschäftigten in diesem System Prozessabläufe konfigurieren. • Kein Programmierspezialist notwendig. • Kapazitätsflexibilität und hohe Produktqualität. • Geringere Fehlermöglichkeiten und niedrigere Arbeitsbelastung bei manuellen Arbeitsschritten durch Mitarbeiter. → Höhere Verfügbarkeit der Arbeiter. • Produktionsprogrammierung läuft nun automatisiert und digital ab. 	
Veränderungen in der Organisation: <ul style="list-style-type: none"> • Deutlich gestiegene Flexibilität und Schnelligkeit der Produktion. • Durch ergänzende virtuelle Abbildung von Produkten und Prozessen entsteht eine hohe Transparenz. • Genaue Produktions- und Prozessübersicht und Kontrolle über Prozesse. • Technologischer Aufbau der Produktion und Montagelinie erlaubt die Anpassung an verschiedenste Produktionsszenarien in sehr kurzer Zeit. 	
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle: <ul style="list-style-type: none"> • Wandlungsfähigkeit der Produktion • Prozessorientierte Arbeitsorganisation • Vernetzung und Transparenz • <i>Agilität der Organisation</i> • <i>Transparenz in der Organisation</i> 	
<p>Bild oben: Modulares, flexibles Produktionssystem. Bild unten: Werker-Assistenzsystem führt die Mitarbeiter durch variierende Prozessabläufe.</p>	

Abbildung 32: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr. 16 - Phoenix Contact, Wandlungsfähige Fertigung.

Quellen: Vgl. Plattform Industrie 4.0 und Pheonix Contact Electronics GmbH (2020), URL siehe Literaturverzeichnis, Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (2016), S. 39 und Klaes und Schreiber (2015), S. 16ff.

Unternehmen: .steute Technologies GmbH & Co. KG	
Lösung: Mitarbeiterqualifikation und Schulung direkt an Montagearbeitsplätzen	
Eingesetzte Technologien: Intelligentes Qualifikations- und Assistenzsystem	
Beschreibung der Lösung: <ul style="list-style-type: none"> • Montageschritte der Produktkomponenten werden Mitarbeitern in Form von Filmen und Bildern angezeigt. • Angepasste Anzeige von Informationen, Lerneinheiten und Beispielen je nach Erfahrungsstand der Mitarbeiter: → Sehr detailliert und tiefgreifend bei „Neulingen“. → Wenige Inhalte bei erfahrenen und bereits gut qualifizierten Mitarbeitern. • Qualifikation und Schulung erfolgt direkt am Arbeitsplatz. • Zwecks Qualitätssicherung werden Prozessschritte und Qualifikationsschritte durch ein Assistenzsystem digital dokumentiert und überprüft. • Über Assistenzsystem können bei Ablaufstörungen in der Montage unmittelbar Kamerabilder mit Erläuterungen an entsprechende Personen weitergegeben werden. 	
Veränderungen in der Organisation: <ul style="list-style-type: none"> • Keine frontalen Schulungen mehr im Unternehmen. • Lerninhalte werden zentral von Fachleuten gemanaged. • Zielgerichtete, anwenderabhängige Qualifikation schafft Freiräume, die für andere wertschöpfende Tätigkeiten gebraucht werden können. • Bessere Prozesseinweisung sowie Prozess- und Produktkenntnis bei Mitarbeitern. → Effektivere Arbeit. • Höhere Kompetenzen und Qualifikationsstufen durch Nutzung des intelligenten Assistenzsystems können zu erhöhter Motivation und verbesserter Abstimmung führen. • Fertigung mit weniger Fehlern und Verschwendung. → Ressourceneinsparung im Herstellungsprozess. • Unterstützung und Entlastung von Mitarbeitern. 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Produktivitätseinschränkungen bei erfahrenen Mitarbeitern, da sie weniger Einführungen und Hinweise erhalten. • Mitarbeiter werden spezifischer und besser für ihre jeweiligen Tätigkeiten vorbereitet. • Individualisierung von Lern- und Qualifikationsinhalten. → Schnellerer Trainingserfolg. • Stationsanweisungen werden im Vergleich zu früheren analogen Papieranweisungen deutlich mehr beachtet und wegen aktiver Einweisung aufmerksamer aufgenommen. • Einsatz von neuen Medien erzeugt Neugier und Interesse bei den Teilnehmern. • Steigerung der Produktqualität. 	
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle: <ul style="list-style-type: none"> • Konsequente Mitarbeiterqualifikation • <i>Verbesserte Kommunikation und Abstimmung</i> • <i>Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit</i> • <i>Förderung der Mitarbeitermotivation</i> 	
<p>Verschiedene komplexe Medizintechnikschalter der Firma .steute, für deren Herstellung das Qualifikationsassistenzsystem eingesetzt wird.</p>	

Abbildung 33: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.17 - .steute, Intelligentes Qualifikations- und Assistenzsystem.

Quellen: Vgl. Dumitrescu und Marquardt (2017), S. 648f. und Steute Technologies GmbH & Co. KG (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	TEKA Absaug- und Entsorgungstechnik GmbH
Lösung:	Intelligentes Raumüberwachungssystem und digitale Gesundheitsprävention für bessere Arbeitsplatzkonditionen
Eingesetzte Technologien:	Netzwerkfähige Luftmessstationen („AIRTRACKER“), IT- Infrastruktur (Software, Schnittstellen, leistungsstarkes Netzwerk)
Beschreibung der Lösung:	
<ul style="list-style-type: none"> Das Raummonitoringsystem „Airtracker“ wird in Form von smarten Steuerungsboxen unter anderem in Produktionshallen eingesetzt. Multisensorsystem überwacht kontinuierlich Raumluftqualität (z.B. Temperatur, Feinstaubbelastung und Luftfeuchtigkeit), Lärmbelastung sowie Anlagenstrom- und Energiebedarf. → Aufdeckung von Wertüberschreitungen und entsprechende automatische Aktioneneinleitung. Bedarfsgerechte Steuerung durch Dialog des „Airtrackers“ mit Fertigungs-, Filter- und Absauganlagen. → Maschinenbeeinflussung. Vernetzte Steuerung und Datenaustausch über die Steuerungsboxen. → Beispielsweise Einleitung leistungsstarker Absaugungen von Partikeln jeglicher Art. Sammlung, Dokumentation, Auswertung und Verwaltung von Messdaten im Netzwerk mittels zugehöriger „Airtracker“ Software. → Visualisierung von Informationen auf einem Dashboard. Digitales Management. → Abfrage von mobilen Geräten (Smartphone, Tablets etc.). 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	
<ul style="list-style-type: none"> Ortsunabhängige Kontrolle der Bedingungen in der Produktion. Digitalisierung des Arbeitsschutzes (Arbeitsschutz und Gesundheitsprävention 4.0). Belastungsreduktion in der Fertigung. → Mitarbeiterschutz steht im Vordergrund. Vorschrifteneinhaltung leichter kontrollierbar. Energieeffizienz und Kostenreduzierung. Gefahren- und Unfallminimierung, weniger Störungen. 	
Veränderungen in der Organisation:	
<ul style="list-style-type: none"> Ideale, schadstoffarme und klimatische Arbeitsumgebung für den Menschen. → Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit durch Mitarbeitergesundheit. Hohe Prozesskontrolle und Unterstützung einer optimierten Produktionssteuerung. Vergleichbarkeit der Zustände an verschiedenen Standorten und in unterschiedlichen Unternehmensbereichen durch die Vernetzung. → Ganzheitliche Betrachtung möglich. Rahmenbedingungen der Produktion können leicht geregelt werden. 	
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	
<ul style="list-style-type: none"> Förderung der RS und NH Vernetzung und Transparenz 	<ul style="list-style-type: none"> Kennzahlen Förderung der Mitarbeitermotivation

Das offene, intelligente System der „Airtracker“ Steuerungsbox zeigt verknüpft mit anderen Technologien den Weg zur Industrie 4.0 Smart Factory auf.

„Airtracker“ im Zusammenspiel mit verschiedenen Produktionsanlagen.

Abbildung 34: Eigene Darstellung Technologiөлösungsatlas Nr.18 - TEKA, Intelligentes Raumüberwachungssystem „AIRTRACKER“.

Quellen: Vgl. Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (2018), S. 50, TEKA Absaug- und Entsorgungstechnik GmbH (2018), S. 4 und TEKA Absaug- und Entsorgungstechnik GmbH (2019), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen:	Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
Lösung:	Qualifizierung und Lernen am Arbeitsplatz
Eingesetzte Technologien:	Lernvideos, Lernsoftware und Lernsystem
Beschreibung der Lösung:	
<ul style="list-style-type: none"> Nutzung vor allem bei komplexen und schwierigen Arbeitsprozessen. → Darstellung von Bewegungsbildern und Videos zur Arbeiterführung. Wiederholbare Qualifizierungen und kurze Lehreinheiten. → Lernen mit kleinen Wissensteilen. Learning on Demand zu Themen die den Arbeits-/Produktionsprozess betreffen. Individuelles Lernen und individueller Wissensaufbau. Mitarbeiter unterweist sich selbst. Er lernt alleinständig und selbstbestimmt. Ergänzende Verwendung von digitalen und mobilen Lernformen im Anlernprozess. 	
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	
<ul style="list-style-type: none"> Transparente Kontrolle von Lernständen. → Für den Mitarbeiter selbst sowie für Vorgesetzte, die mit Blick in das Softwaresystem die Qualifizierungsmaßnahmen und Fortschritte einsehen können. Mitarbeiter kann in Leerlaufzeiten Wissen erweitern. → Effiziente Zeitnutzung. Dezentrale und selbstgesteuerte Mitarbeiterschulung. 	
Veränderungen in der Organisation:	
<ul style="list-style-type: none"> Selbstständiges Lernen führt zu höherer Motivation. Transparente Übersicht der Verteilung von Wissen und der Qualifizierungs- und Kompetenzstände von Mitarbeitern im gesamten Produktionsbereich des Unternehmens. Sehr nahes Lernen am tatsächlichen Arbeitsprozess. Genauere Abstimmung der Qualifikation auf organisatorische Belange und Anforderungen. 	
Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:	
<ul style="list-style-type: none"> Konsequente Mitarbeiterqualifikation Prozessorientierte Arbeitsorganisation 	<ul style="list-style-type: none"> Moderne Führung Selbstorganisation der Teams

Abbildung 35: Eigene Darstellung Technologiөлösungsatlas Nr.19 - Fraunhofer IAO, Qualifizierung am Arbeitsplatz.

Quelle: Vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (2020a), URL siehe Literaturverzeichnis.

Unternehmen: Schaeffler AG, FAG Industrial Services GmbH	
Lösung: Autonome 4.0 Instandhaltung - Selbststeuernde Maschinenüberwachung	
Eingesetzte Technologien: Monitoringsystem „SmartCheck“, Sensorik, Software	
Beschreibung der Lösung:	
<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung der prädiktiven Instandhaltung 4.0 Lösung in Produktion und Intralogistik. • Ziel: Stetig den Zustand von Bedien- und Antriebskomponenten und zentralen Maschinenelementen (z.B. Lagern) kennen. → Mehr Zustandsüberwachung. • Das „SmartCheck“ System wird an Maschinen angebracht (siehe Bild unten rechts). • Sensorik sammelt aussagefähige Belastungs- und Betriebsdaten. • Präzise Aufnahme von Maschinenzuständen, Prozessen und Produktzuständen. → z.B. Kräfte-, Temperatur- oder Schwingungsmessung. → Erkennung von drohenden Schäden und Verschleiß. • System übermittelt Daten an zugehörige Cloud. • Berechnungstool „BEARINX“ greift auf Daten zu und ist an Cloud angebunden. • Digitale Software- und Cloudservices „LifetimeAnalyzer“ und „ConditionAnalyzer“ bieten virtuelle Abbilder, Maschineninformationen, Zustandsanalysen und Simulationsmöglichkeiten zum Abruf auf mobilen Endgeräten. • Visualisierung des Standes von Betriebsparametern. • Es entstehen selbstmeldende und zentral gesteuerte Systeme. • Präsentation von Lösungen für die bevorstehende Wartung. • Anschließend gezielte Einleitung von Maßnahmen und Wartungsarbeiten. • Kommunikation mit konkreten Handlungsmaßnahmen per SMS oder Serviceauftrag an für Instandhaltung verantwortliche(n) Produktionsmitarbeiter. • Automatisierte, bedarfsgerechte Wartung je nach Belastung. 	<p>Das Cloud Berechnungstool „BEARINX“ visualisiert Informationen und sagt den Wartungszeitpunkt voraus. Errechnung der Lebensdauer der einzelnen Lager auf Basis von Lasten (z. B. Drehmomente und Drehzahlen).</p>
Nutzen der Lösung / Was wurde verbessert:	
<ul style="list-style-type: none"> • Zentrale Fernüberwachung und externer Zugriff wird möglich. • Frühzeitiger Teileaustausch und schnelle Einleitung von Reparaturarbeiten durch automatische Meldungen. → Wartung deutlich besser planbar. • Wartungsintervalle werden optimal ausgenutzt. → Effiziente Instandhaltung und vorausschauende Wartung „Predictive Maintenance“. • Weniger Produktionsausfälle, höhere Produktivität und Prozessoptimierung. • Instandhaltungs- und Betriebskostensenkung sowie Verfügbarkeitserhöhung. • Gezielte Visualisierung und Steuerung kritischer Zustands-KPIs. 	
Veränderungen in der Organisation:	Kategorisierung / Zuordnung zur Tabelle:
<ul style="list-style-type: none"> • Steuerung über einfaches User-Interface ermöglicht, dass organisatorisch gesehen nahezu jeder qualifizierte Mitarbeiter die Instandhaltung vornehmen kann. • Lösung trägt deutlich zu optimierter Planung und Organisation der Produktion bei. • Optimalere Auslastung von Fabriken. • Reaktionsfähigkeit: Wenn die Maschinenzustände es erlauben, kann bei erforderlicher Auftragslage eine variable Erhöhung oder Drosselung der Produktion zur Abstimmung auf die Wartungsintervalle erfolgen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit • Vernetzung und Transparenz • Kennzahlen • Prozessorientierte Arbeitsorganisation • Wandlungsfähigkeit der Produktion

Abbildung 36: Eigene Darstellung Technologielösungsatlas Nr.20 - Schaeffler, Instandhaltung 4.0 „SmartCheck“.

Quellen: Vgl. Plattform Industrie 4.0, Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2020), URL siehe Literaturverzeichnis, Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2017), URL siehe Literaturverzeichnis und Schaeffler Technologies AG & Co. KG (2020), URL siehe Literaturverzeichnis.

7. Abschließende Betrachtungen

7.1. Idealtypische arbeitsorganisatorische Ablauforganisation der Produktion

Als Antwort auf die Forschungsfrage, wie ein arbeitsorganisatorischer Ablauf der zukünftigen Produktion aussehen kann, führt die nachfolgende Abbildung 37 alle bisherigen Teilergebnisse zusammen. Dadurch werden in diesem Abschnitt die zentrale Erkenntnis und der Forschungsgewinn dieser Arbeit ausdrücklich hervorgehoben. Dieser Lösungsansatz für die Gestaltung der zukünftigen Produktion basiert auf den für die Industrie 4.0 wichtigsten Kennzahlen, organisationalen Anforderungen und „Best Practices“ der Anforderungsumsetzung. Insgesamt ist die sich ergebende idealtypische Produktionsorganisationsform aus jeweils fünf Steuerungskennzahlen und 14.0 Lösungen sowie aus sieben Anforderungen an die zukünftige Produktion zusammengesetzt.

Mithilfe einer solchen oder ähnlichen Organisationsform, in der Kennzahlen bewusst und zielgerichtet gesteuert werden, sinnvolle und passende I4.0 Technologien und Anwendungen zum Einsatz kommen und zumindest die essenziellsten Produktionsanforderungen etabliert sind, ist es für Unternehmen möglich, den Herausforderungen der neuen Arbeitswelt gerecht zu werden. Die Produktionsarbeit der Zukunft benötigt somit ein geeignetes Layout und einen effizienten Gestaltungsrahmen. Die Ergebnisse aus der durchgeführten Umfrage, der ausführlichen Rechercharbeit und dem Technologielösungsatlas liefern das nachfolgende potenzielle Musterlayout der Produktion (Abb. 37).

Das Resultat ist eine hochflexible Produktion, welche als ein Beispiel für eine weitreichende Ausgestaltung mit 14.0 Komponenten dient. Eine solche Produktion verwendet innovative und effektive Formen der Arbeitsorganisation, wie beispielsweise eine verbesserte Kommunikation und Abstimmung und eine transparente Organisation. In Kombination dazu rücken grundlegende technisch-organisatorische Gesichtspunkte, wie eine starke Vernetzung und Transparenz, die Ausrichtung auf Lean Management 4.0 und die Wandlungsfähigkeit in der Produktion in den Vordergrund. Der Mensch und dessen berufliche Bildung, Qualifikation und Motivation vervollständigen dieses Bild.

Arbeitsorganisationsformen wie diese sind von Interesse, da Unternehmen dadurch die erforderliche Fähigkeit erlangen, sich durch Technik und neue Technologien ergebende Chancen bestmöglich zu nutzen.⁵⁹⁵ Im Anschluss an diese Präsentation eines Idealbildes der zukünftigen Produktion erfolgen weitere abschließende Betrachtungen.

7.2. Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel findet eine nähere Diskussion der behandelten Thematiken und der durchgeführten Studie statt. Es wird überdies ein erweiternder Ausblick auf die Zukunft inklusive sich ergebender Herausforderungen im Produktionsbereich gegeben. Eine grundlegende zur Debatte stehende Fragestellung dieser Bachelorarbeit ist es, inwiefern die

Organisation und der Mensch mit der Industrie 4.0 verknüpft sind und welche Bedeutung dieser Verbindung beigemessen werden muss. An dieser Stelle ist es die Intention aus einer übergeordneten Perspektive Schlussfolgerungen zu ziehen und diese im Laufe der Arbeit dargestellte Verknüpfung zusammenfassend abzubilden.

Das Vorgehen zur Bearbeitung der Thematik gliedert sich in eine Literaturrecherche, eine Umfragedurchführung und eine Kombination aller Inhalte durch die Erstellung eines organisationsbezogenen I4.0 Technologielösungsatlases. Diese Vorgehensweise war grundsätzlich zielführend und hat nützliche Ergebnisse geliefert. Der Mehrwert des theoretischen Teils besteht darin, auf Grundlage der großen Anzahl an existierenden Quellen zu Industrie 4.0 und arbeitsorganisatorischen Konzepten, explizite, zu beachtende Anforderungen an die zukünftige Produktion zu formulieren. Weiterführend zeigt sich der Mehrwert dieser Arbeit darin, diese Konzepte durch eine Praxisumfrage auf deren Relevanz zu untersuchen und aufzuzeigen, wie eine Umsetzung der Produktionsanforderungen konkret aussehen kann. Der Vorteil der durchgeführten Studie ist, dass sie ein Bild abzeichnet, welche Anforderungen an die Produktion in Zukunft erfüllt sein sollten. Die gebotenen Übersichten über einzelne Wichtigkeitseinschätzungen organisatorischer, menschenbezogener und eher technologiebezogener Gestaltungskonzepte der Organisation der zukünftigen Produktion füllt eine bestehende Forschungslücke, welche bisher nicht in ausreichendem Maße betrachtet wurde.

Der erste und zweite Teil der quantitativen Befragung haben die Erwartungen des Autors erfüllt und Ergebnisse in Form konkreter Abstufungen der Wichtigkeit von Kennzahlen und Anforderungen erbracht. Der dritte Bestandteil der Umfrage kann allerdings kritisch betrachtet werden. Zwar war es möglich mit diesem eine Detaillierung der Rangfolgenbestimmung der Produktionsanforderungen zu erreichen, doch es zeigen sich auch nicht direkt erklärbare Teilergebnisse. Die niedrigen Einstufungen der Anforderungen einer Ausrichtung der Produktion auf Lean Management 4.0 und einer Vernetzung und Transparenz in der Produktion in diesem Umfrageteil auf Rang elf und zwölf, lassen sich schwer erklären, da diese beiden Aspekte im zweiten Umfrageteil in den „Top 5“ der wichtigsten Anforderungen landen. Ein Grund für diese Abweichungen könnte sein, dass die Aufgabenstellung des Fragebogens an dieser Stelle für einige Umfrageprobanden nicht verständlich genug war. Hier besteht somit Potential zur Optimierung des Fragebogens und des Messinstruments.

Die Durchführung und Auswertung der quantitativen Orientierungsbefragung war von vereinzelt Problemen begleitet. Ein erster problematischer Aspekt ist, dass trotz einer eigentlich sehr klaren Beschreibung der jeweiligen Umfrageteile und auszufüllenden Felder einzelne Teile des Fragebogens unvollständig, beziehungsweise nicht korrekt, ausgefüllt wurden, weshalb die Stichprobengröße teilweise variiert. Weiterhin ist ein anzuführender Grund für die Schwierigkeiten eine größere Stichprobe als (n=34) zu erhalten, dass der Fragebogen neben den Erhebungen an den beiden

⁵⁹⁵vgl. Sorge (2003), S. 124f.

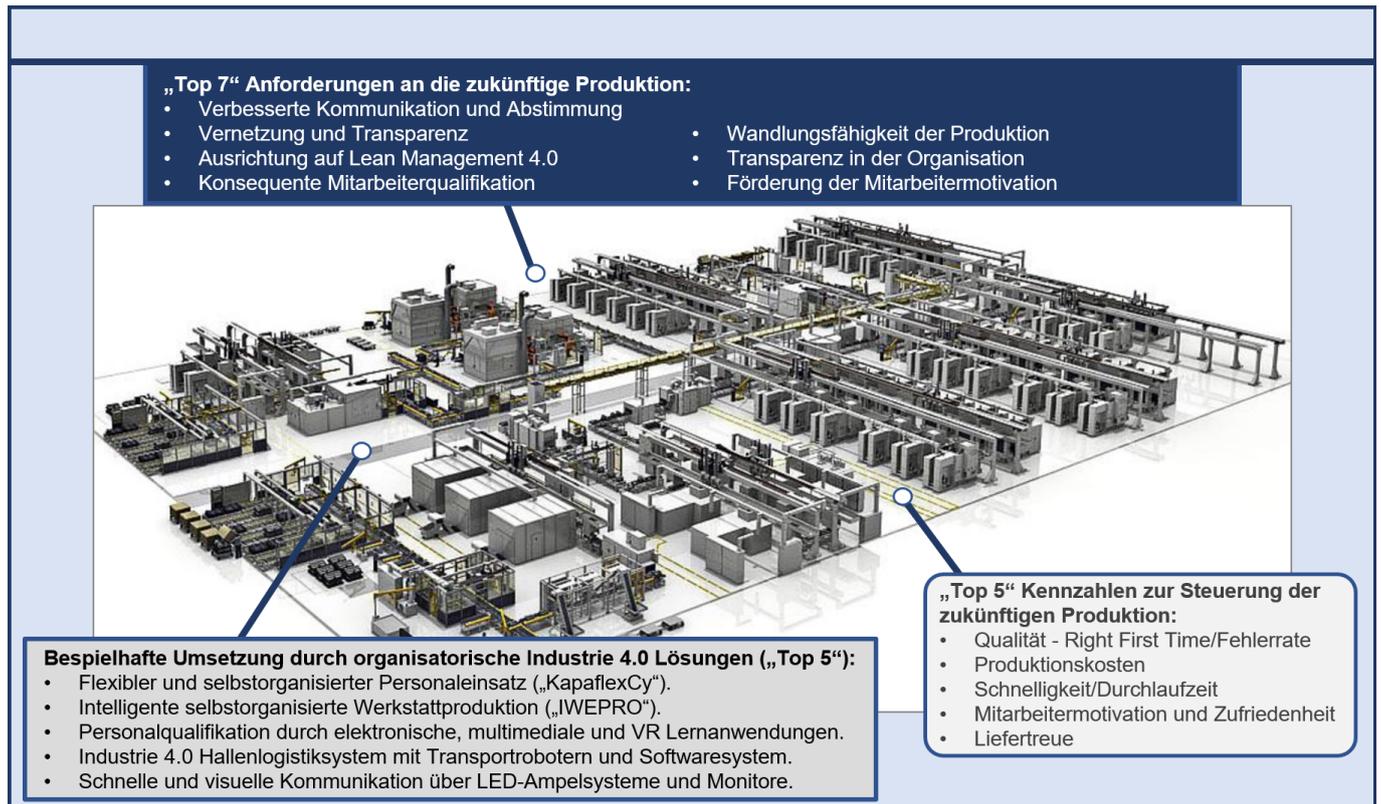


Abbildung 37: Eigene Darstellung - Idealtypische arbeitsorganisatorische Ablauforganisation der zukünftigen Produktion nach Vorlage von Deuse, Lenze, Klenner und Friedrich (2016).

Quelle: Deuse et al. (2016), S. 12.

Eventtagen per E-Mail versandt wurde. Es wurde im Voraus nicht damit gerechnet, dass die Rückmeldungen dabei recht gering ausfallen. Eine niedrige Rücklaufquote von circa 20 Prozent ist bei schriftlichen Befragungen jedoch ein häufiges auftretendes Phänomen.⁵⁹⁶

Trotz allem haben die geschilderten Probleme insgesamt keinen großen Einfluss auf die zentralen Erkenntnisse und Umfrageergebnisse, weshalb die Daten geeignet sind, eine Orientierung zu bieten. Die Studie kann als aussagekräftig angesehen werden, da die Stichprobe zwar kleiner als erhofft, doch ausreichend groß ausfällt. Außerdem trägt die Stichprobe zu einer Aussagekräftigkeit der Studie bei, da sie zu großen Teilen explizit die Einstellungen von Fachleuten im Bereich Produktion und Industrie 4.0 wiedergibt. Zudem ist die Studie grundsätzlich aussagekräftig, weil sich an den Ergebnissen die gute Verständlichkeit aller Fragestellungen, bis auf die des dritten Umfrageteils, erkennen lässt und die gewählten Fragenformate zu der Studienzielsetzung passen.

Obwohl keine Tests zu den Forschungsgütekriterien Reliabilität und Validität durchgeführt wurden, gibt es Anhaltspunkte, weshalb diese bei der vollzogenen Studie vorhanden sind. Alle in dieser Befragung verwendeten Messinstrumente sind in der empirischen Forschung weit verbreitet und weisen bereits grundsätzlich ein hohes Maß an Reliabilität

und Validität auf.⁵⁹⁷ Es ist beispielsweise ein guter Indikator für eine valide Messung, wenn Erhebungsmethoden verwendet werden, welche bereits erfolgreich in verschiedenen Themenfeldern eingesetzt wurden.⁵⁹⁸ Zur Erhebung der Einstellungen zur Wichtigkeit der Produktionsanforderungen wurde in dieser Studie eine bewährte und in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzte Skala übernommen und durch einzelne Aspekte aus ebenfalls erfolgreich eingesetzten Messinstrumenten ergänzt. Aus diesen Gründen wird angenommen, dass das Messinstrument valide ist.

Eine Erweiterung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie ist prinzipiell denkbar und sinnvoll. Eine solche Erweiterung kann zum einen in inhaltlicher Hinsicht und zum anderen im Hinblick auf eine Veränderung des methodischen Vorgehens erfolgen, um ergänzende, tieferegreifendere und weiterführende Erkenntnisse zu gewinnen. Methodisch gesehen ist für die Aufnahme konkreter Fachmeinungen zu der Wichtigkeit einzelner Steuerungskennzahlen und Anforderungen der Produktion eine Erweiterung durch qualitative Erhebungsmethoden und Experteninterviews vorstellbar. Für die Zeichnung eines umfassenderen Bildes der Meinungen zu Industrie 4.0 und Organisation aus mehreren Teilen des Wirtschaftsstandortes Deutschland wäre es interessant,

⁵⁹⁶vgl. Schumann (2006), S. 133.

⁵⁹⁷vgl. Haddock und Maio (2014), S. 214-218.

⁵⁹⁸vgl. Brosius et al. (2016), S. 58.

Probanden außerhalb von Baden-Württemberg zu befragen.

Zusätzliche adäquate Ausdehnungen der Studie sind eine Wiederholung auf einer höheren Ebene mit einer deutlich größeren Stichprobe und eine Durchführung, die darauf ausgelegt ist, mehr unterschiedliche Zielgruppen zu erreichen. In dieser Hinsicht ist es ein erweiternder Aspekt die Verteilung über die Größe der Unternehmen besser zu steuern, denn in dieser Studie wurden überwiegend Großunternehmen erfasst. Zusätzlich ist hier die Branchentätigkeit der Unternehmen auf produzierende Unternehmen und Unternehmen aus der Metall- und Elektroverarbeitung fokussiert, weshalb eine Umfrageerweiterung mit einer breiteren Branchenstreuung denkbar ist. Ein weiterer Ansatzpunkt für eine Verbesserung der Studie ist die Überarbeitung des Messinstruments im dritten Umfrageteil, beispielsweise dadurch, dass für die Rangfolge weniger auszufüllende Felder zur Verfügung stehen, da es Teilnehmern hier anscheinend schwierig fiel eine mit 14 Feldern weitgefaste konkrete Reihenfolge zu bestimmen. Mithilfe der Abwicklung eines Pretests ist dabei die korrekte Funktionsweise des Messinstruments und das Resultat hochwertiger Ergebnisse abzuschließen.

Weiterführend ist es eine Überlegung, andere Verbreitungsmethoden und Wege der Datenerhebung zu verwenden.⁵⁹⁹ In Bezug auf die inhaltlichen Studienbestandteile kann eine größere, angepasste Studie darauf abzielen eine höhere Anzahl an Anforderungen der zukünftigen Produktion zu untersuchen. Möglich ist hier zum Beispiel die Integration einiger rein technischer Anforderungen, da in dieser Studie nur technologische Aspekte integriert sind, die hauptsächlich die Organisation betreffen. Diese Vorgehensweise kann einen detaillierteren Vergleich zu den organisations- und menschenbezogenen Anforderungen an die Produktion liefern, um genauer zu bestimmen, welche der zahlreichen vorgestellten Industrie 4.0 Gestaltungskonzepte in Zukunft unbedingt weitflächig umgesetzt werden sollten.

Als Ergebnisse der Literaturrecherche ergeben sich diverse wichtige Kennzahlen und Anforderungen der zukünftigen Produktion. Die Studie grenzt diese Auswahl ein, indem sie fünf Kennzahlen und sieben Anforderungen von ihrer Bedeutung am höchsten einstuft. Die Studienergebnisse sind ausführlich interpretierbar. Von insgesamt 16 Kennzahlen erfassen fünf Umstände, die im Zusammenhang mit dem Menschen in der Produktion stehen. Von diesen Kennzahlen befindet sich nur eine unter den „Top 5“ der wichtigsten Steuerungskennzahlen. Alle übrigen mitarbeiterbezogenen Kennzahlen sind im mittleren Bereich der Rangfolge zu finden. Die Rangfolge zeigt somit, dass Unternehmen bei der Steuerung der I4.0 Produktion mit Kennzahlen technologische Aspekte priorisieren. An dieser Stelle besteht ein Bedarf die Bedeutung und Wirkung mitarbeiterbezogener Kennzahlen weiterführend zu untersuchen. Eine Ergänzung der wichtigsten Steuerungskennzahlen um zusätzliche mitarbeiterbezogene Kennzahlen kann für Unternehmen schlussfolgernd eine Lösung für die Schaffung des erforderlichen organisatorischen Rahmens für Industrie 4.0 darstellen.

Anhand der ergänzenden Kommentare der Probanden aus Kapitel (5.5) lassen sich nachfolgende Implikationen ableiten. Komplette digital ablaufende Prozesse und eine umfangreiche Informatisierung sind von Wichtigkeit für die zukünftige Produktion. Auch in digitalen Prozessen kann das Lean Element der Verschwendung auftreten, weshalb in der Industrie 4.0 alle produktionsbezogenen IT-Prozesse mitbetrachtet und Prozessoptimierungstools eingesetzt werden müssen. Generell sollten als organisatorische Rahmenbedingungen in der Industrie 4.0 jegliche Prozesse hinterfragt und optimiert werden. Allerdings zeigt sich hinzukommend, dass eine kritische Hinterfragung der I4.0 Möglichkeiten erforderlich ist. Es sollen nicht unweigerlich alle möglichen Potentiale von Industrie 4.0 ausgeschöpft werden. Vielmehr müssen die für Unternehmen individuell am besten passenden Anforderungen mit optimalen Maßnahmen und exakt zugeschnittenen technischen Anwendungen verwirklicht werden. Ein zusätzlicher Expertenkommentar, dessen Inhalt gleichzeitig mithilfe der I4.0 Lösungen im Technologielösungsatlas bewiesen wurde, betrifft die hohe Wichtigkeit einer Visualisierung von Kennzahlen in der Produktion. Umfangreiche Darstellungen aktueller Kennzahlenstände durch den Einsatz von Dashboards und anderen Medien sind essenziell und müssen in der zukünftigen Produktion Anwendung finden.

Der hohe Einfluss von Organisation und Mensch auf die zukünftige Gestaltung der Produktion hat sich durch die quantitative Orientierungsbefragung bestätigt, da alle arbeitsorganisatorischen Konzepte mit einer Wichtigkeit von mindestens fünf auf der Likertskala eingestuft wurden. Auch wenn sich dadurch die grundlegende Kenntnis der Konzepte in der Praxis zeigt, lassen sich die Ergebnisse insofern interpretieren, als dass organisatorische und menschenbezogene Aspekte im Zusammenhang mit Industrie 4.0 in der Praxis bedeutungsmäßig noch unterbewertet sind. Laut der Literatur ist jedoch eine Schaffung eines arbeitsorganisatorischen Grundrahmens essenziell für das Funktionieren der technologischen I4.0 Seite. Diese Unterbewertung zeigt sich beispielhaft an der Einschätzung der Anforderung selbstorganisierter Teams innerhalb der Studie. Diese Anforderung wurde mit Abstand als unwichtigstes Element eingeschätzt, wobei eigentlich eine enge Verknüpfung zu der hoch bewerteten Anforderung einer modernen Führung besteht. Die Selbstorganisation der Teams ist ein wesentlicher Bestandteil des Einzugs der „New Work“ in die Produktion. Diesem Konzept sollte deshalb mehr Beachtung entgegengebracht werden. Ein möglicher Grund für die niedrige Bewertung kann hierbei sein, dass dieses Konzept ein komplett verändertes Denken der Führung und der Verantwortungsübergabe und -übernahme erfordert, wozu noch weniger Verständnis und Bereitschaft besteht als eigentlich erforderlich.

Generell sollte der Fokus auf die „Top 7“ der organisationalen Anforderungen beziehungsweise die gesamte vorgestellte, idealtypische arbeitsorganisatorische Ablauforganisation gesetzt werden. Auf dieses Grundgerüst aufbauend kann eine Ergänzung durch einzelne, individuell passende arbeitsorganisatorische und menschenorientierte Konzepte

⁵⁹⁹vgl. Schumann (2006), S. 133.

erfolgen. Die generelle Schwierigkeit der Schaffung eines erforderlichen organisatorischen Rahmens zeigt sich anhand der Industrie 4.0 Anwendungsfälle des Technologielösungsatlases in Kapitel (6.). Insgesamt wurden 20 Lösungen gefunden und zusammengestellt, welche die organisationalen Produktionsanforderungen umsetzen. Die Mehrzahl der verwendeten Quellen zu Industrie 4.0 und die zwei online Sammlungen von I4.0 Lösungen in Deutschland „100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg“ und „Landkarte Industrie 4.0“, setzen eher einen Fokus auf die Technik der Industrie 4.0. Dies bestätigt die Schlussfolgerung, dass die übergreifende Arbeitsorganisation der Industrie 4.0 bisher eine zu kleine Rolle spielt. Dadurch definiert sich gleichzeitig der Auftrag für die Zukunft, hier Veränderungen anzustoßen. Das Verständnis von bereits realisierten organisationsbezogenen Lösungen kann als erster Schritt dienen, um diese zukünftigen Entwicklungen zu gestalten.

Ein konkreter Erklärungsansatz für diese Ergebnisse ist, dass die organisatorischen Anforderungen aus allen drei Kategorien „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ sehr herausfordernd sind. Die reine technische Installation und Nutzung einzelner I4.0 Lösungen sind vergleichsweise leichtere Punkte als die grundlegenden organisatorischen Rahmenbedingungen und Umgebungen für eine optimale Zusammenarbeit zu schaffen. Eine technische I4.0 Umsetzung fällt Ingenieuren und Produktionsplanern vermutlich leichter, als sich an Organisationsaufgaben zu versuchen oder gar Einstellungsveränderungen der Menschen in der Produktion anzugehen.

Eine zugrundeliegende Forschungsfrage dieser Arbeit ist es, ob das heutige Produktionspersonal dazu geeignet ist, mit den zukünftigen Anforderungen zurecht zu kommen. Hier kann eine klare Verneinung erfolgen. Damit das Produktionspersonal mit den arbeitsorganisatorischen Konzepten, Anforderungen und technologischen Neuerungen zurechtkommt, ist eine konsequente Mitarbeiterqualifikation zwingend erforderlich. Diese Qualifikation ist eine maßgebliche Voraussetzung, um den Wandel hin zu Industrie 4.0 und den unterschiedlichen in dieser Arbeit präsentierten Herausforderungen neuer Produktionsgestaltungskonzepte und Arbeitsumgebungen zu bewerkstelligen. Der Fabrikarbeiter der Zukunft steht weiterhin im Mittelpunkt, ist ein gebildeter Alleskönner mit einem breit aufgestellten Profil und besitzt viele Qualifikationen. Schaut man in die heutige Produktion, so ist zu erkennen, dass dieser Mitarbeitertyp noch nicht annähernd ausreichend verfügbar ist.

Folglich muss hier für eine Umsetzung der vorgestellten organisatorischen Konzepte gezielt und übergreifend im Lehr- und Ausbildungsbereich, in der Hochschulbildung und bezüglich der unternehmensinternen Weiterbildung massiv investiert werden. Die Schaffung dieser Fähigkeiten über Qualifikationsmaßnahmen ist eine der größten zukünftigen Aufgaben für Unternehmen, da die Mitarbeiter mit ihren veränderten Qualifikationsprofilen essenziell für das Funktionieren der zukünftigen Industrie 4.0 Produktion sind.

Die Grenzen der Erkenntnisse einer hohen Bedeutung dieser arbeitsorganisatorischen Produktionskonzepte liegen

in der tatsächlichen Durchführbarkeit. Die immensen Veränderungen, welche solche Produktionsgestaltungskonzepte mit sich bringen, verursachen oftmals Veränderungsängste beim Personal. Diesen Ängsten muss zu einem frühen Zeitpunkt entgegengewirkt werden. Im Optimalfall wird ein Umfeld geschaffen, das es leicht macht, eine aktive und intensive Mitarbeit zur Gestaltung der zukünftigen Produktion zu fördern. Weil mit allen vorgestellten Industrie 4.0 Konzepten große Veränderungen in der Arbeitsweise der Belegschaft einhergehen, ist die Rolle des Betriebsrates elementar. In Zusammenarbeit mit dem Betriebsrat müssen Lösungen ermittelt und vereinbart werden, die auch in der veränderten Arbeitswelt den Schutz der Mitarbeiter sicherstellen und unerwünschte beziehungsweise negative Auswirkungen auf die Belegschaft vermeiden.⁶⁰⁰ Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lässt sich außerdem folgern, dass noch einige Hürden, wie zum Beispiel die durch I4.0 zunehmenden Kontrollmöglichkeiten der Mitarbeiter, zu überwinden sind. Aus einer starken Transparenz folgt eine höhere Nachverfolgbarkeit aller möglichen Aktivitäten des Personals. An dieser Stelle müssen Überlegungen angestellt werden, ob Betriebsräte die Implementierung und Nutzung neuartiger arbeitsorganisatorischer I4.0 Konzepte kritisch sehen und deren Umsetzung zum Schutz der Mitarbeiter eventuell erschweren.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und der Studie zeigen abschließend, dass der unter Anpassungsdruck stehende Produktionsbereich den Herausforderungen der neuen Arbeitswelt nur gerecht werden kann, wenn eine Nutzung der Potentiale der Industrie 4.0 erfolgt und dabei ein Schwerpunkt auf die Organisation und den Menschen gelegt wird. Die Anforderungen in Bezug auf den Menschen und auf die Organisation erwarten ganz andere Typen von Menschen, andere Einstellungen, neue Arbeitsstrukturen und eine andere Organisation des Lebens der Mitarbeiter. Hier muss noch viel Aufklärungsarbeit geleistet werden, damit sich sowohl Einzelpersonen als auch die Unternehmen dessen bewusstwerden.

Weiterhin geht mit den in dieser Arbeit behandelten Veränderungen und neuartigen Organisationskonzepten der Produktion auch ein Wandel der Unternehmenskultur einher. Es ist in den Köpfen der meisten Menschen verankert, dass Fabriken unreine, ölverschmierte, staubige Gegenden sind. Diese Denkweise wird sich in Zukunft weiterentwickeln müssen, denn das Aussehen der Produktion und das Fabrikarbeitsklima nähern sich durch Industrie 4.0 und arbeitsorganisatorische I4.0 Konzepte dem moderner Bürokomplexe mit „smarten“ Mitarbeitern an.⁶⁰¹

Generell lassen sich wenige Studien finden, die eine Differenzierung einzelner Produktionsanforderungen nach deren Bedeutung anvisieren. An dieser Stelle bietet die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte quantitative Orientierungsumfrage einen ergänzenden Schritt, den thematischen Zusammenhang von Arbeitsorganisation, Mensch und Industrie 4.0 aufzuarbeiten. Allerdings benötigt es hier noch deutlich

⁶⁰⁰vgl. Dobrzanski und Jungkind (2018), S. 687.

⁶⁰¹vgl. Cole (2017), S. 184.

mehr weiterführende Forschung. Eine entsprechende Untersuchung, welche sich mit diesen Fachbereichen auseinandersetzt, ist die im Jahr 2013 am Fraunhofer IAO durchgeführte Studie zur „Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0“.⁶⁰² In dieser sehen es 60 Prozent der befragten Unternehmen bei der Gestaltung von I4.0 als notwendig an, eine systematische Entwicklung von Mitarbeiterkompetenzen anzugehen.⁶⁰³ Zudem wird die Bedeutung einer Verbesserung der Kommunikation in der Produktion mit mobilen Kommunikationstechniken hervorgehoben.⁶⁰⁴ Ein ergänzender Studienhauptbestandteil ist die Betonung der Wichtigkeit des Konzeptes eines flexiblen Personaleinsatzes.⁶⁰⁵

Die Frage, wie sich die Einstellungen zu diesen Themen in der Praxis im Jahr 2019 gestalten, wird mithilfe der quantitativen Orientierungsbefragung dieser Arbeit geklärt. Vergleicht man die Ergebnisse aus beiden Jahren, so ist festzustellen, dass die Wichtigkeit einer konsequenten Mitarbeiterqualifikation und einer verbesserten Kommunikation und Abstimmung in der Praxis weiterhin gesehen wird. Jedoch ist auffällig, dass den Probanden dieser Studie ein flexibler Personaleinsatz als deutlich unwichtiger erscheint, als den Studienteilnehmern von Spath et al. (2013). An dieser Stelle zeigt sich ein Handlungsbedarf, das Konzept des flexiblen Personaleinsatzes zunehmend und verstärkt in die Unternehmenspraxis zu tragen und weitläufig zu verbreiten.

Im Endeffekt ist es für Unternehmen eine Aufgabe, eine ausgewogene Komplettlösung aus den drei Dimensionen „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ zusammenzustellen.⁶⁰⁶ Für die Planung und Umsetzung von Industrie 4.0 gibt es keine Vorlagen oder Methodenbaukästen, es sollte ein individueller Weg gefunden werden.⁶⁰⁷ Zusätzlich ist es das korrekte Vorgehen zum Aufbau einer „Smart Factory“ aufgrund der wesentlichen benötigten künftigen Prozesse zuerst eine passende Aufbauorganisation auszuwählen. Auf Basis dieser müssen im Anschluss alle Beteiligten explizit für die neuen Aufgabenbereiche der Arbeit qualifiziert werden. Als weiterer und letzter Schritt werden technologische I4.0 Konzepte ausgewählt und mit Sinnhaftigkeit integriert. Einer der größten Fehler von Unternehmen liegt darin, mit den technischen Lösungen zu starten und die grundlegende Organisation sowie den Menschen zunächst außen vor zu lassen.⁶⁰⁸ Schlussendlich gelingt das Arbeiten nach den in dieser Arbeit vorgestellten Prinzipien der „New Work“ nur in einer hochentwickelten Organisation.⁶⁰⁹

Diese Arbeit zeigt auf, wie die zukünftige Organisation der Produktionsarbeit aussehen kann, um eine Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu sichern. Wenn Deutschland die Entwicklung der Industrie 4.0 erfolgreich vollziehen möchte, sind grundlegend einige einschneidende Anpassungen in

der Politik und Gesellschaft erforderlich. Zudem muss Digitalisierung und Industrie 4.0 in der kompletten Wirtschaft ankommen und eine Übertragung auf nahezu alle Unternehmen erfolgen. Geschieht dies nicht, kann es passieren, dass Deutschland abgehängt wird und der Wandel der Produktion nicht in dem Maße mitgetragen wird, wie es eigentlich erforderlich wäre.⁶¹⁰

Hinweis: Die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse wurden am Fraunhofer IPA in verschiedenen Projekten und Forschungsbereichen verwertet. Beispielsweise flossen die Erkenntnisse der Bachelorarbeit im Rahmen des Forschungsprojektes „Fluide Fahrzeugproduktion“ in die Formulierung von Wirtschaftlichkeitsindikatoren einer fluiden Fahrzeugproduktion ein. Dabei standen Indikatoren für die Bewertung agiler Produktionsorganisationsstrukturen im Vordergrund. Darüber hinaus werden die gesammelten Praxisbeispiele der Arbeit in einem Organisations-Canvas aufgeführt und dienen somit als Ansatzpunkte für die organisatorische Gestaltung der zukünftigen Produktionsarbeit.

7.3. Zusammenfassung

Die industrielle Produktion ist fortlaufend von einer ansteigenden Komplexität geprägt. Bezüglich einer Beherrschung dieser Komplexität stellt sich die Entwicklung der Industrie 4.0 zunehmend als geeigneter Lösungsansatz heraus. In diesem Kontext veranschaulicht die vorliegende Arbeit im Detail, weshalb das Thema der Industrie 4.0 unweigerlich mit der grundlegenden Produktionsorganisation und dem Menschen zusammenhängt und eine gleichzeitige Betrachtung dieser Aspekte unabdingbar ist.

Die Produktionsarbeit steht aufgrund veränderter Voraussetzungen und Anforderungen zunehmend unter einem Anpassungsdruck. Das klassische Massenfertigungskonzept ist in einem zukünftigen Produktionsumfeld nicht mehr optimal. An dieser Stelle fungiert die Industrie 4.0 als Antwort auf die verlangte Beseitigung der Probleme und Ineffizienzen der Produktion. Die Beherrschung von Herausforderungen der neuen Arbeitswelt wie einem intensiveren Wettbewerb, der digitalen Transformation und dem demografischen Wandel ist eine essenzielle Zielsetzung der Industrie 4.0. Kernbestandteile des Konzeptes sind „Smart Products“ und die „Smart Factory“. Der komplette Bereich der Wertschöpfung wird als digitaler Zwilling auf Grundlage von Sensoren und cyber-physischen Systemen virtuell abgebildet. In diesem hochvernetzten I4.0 System bleibt der Mensch in einer zentralen Rolle, jedoch verändern sich seine Aufgabenbereiche als übergreifender Steuerer immens.

In diesem Zusammenhang sind in der Industrie 4.0 Produktion neue Formen der Arbeit und Organisation erforderlich, für deren Gestaltung in dieser Arbeit diverse Konzepte vorgestellt werden. Mithilfe einer quantitativen Orientierungsbefragung erfolgt eine bedeutungsmäßige Einordnung. Eine grundlegende Anforderung an die zukünftige Produktion ist es, zentrale organisations- und technologiebezogene

⁶⁰²Spath et al. (2013).

⁶⁰³vgl. Spath et al. (2013), S. 124f.

⁶⁰⁴vgl. ebenda, S. 56-66.

⁶⁰⁵vgl. Spath et al. (2013), S. 67-73.

⁶⁰⁶vgl. Bochum (2015), S. 44.

⁶⁰⁷vgl. Meudt et al. (2018), S. 8.

⁶⁰⁸vgl. Dobrzanski und Jungkind (2018), S. 686.

⁶⁰⁹vgl. Fischer und Köbler (2018), S. 91

⁶¹⁰vgl. Heyse (2018), S. 10.

sowie mitarbeiterbezogene Kennzahlen zu steuern, da diese eine entscheidende Rolle bei der Überwachung und stetigen Verbesserung der I4.0 Produktion spielen. Im Rahmen der durchgeführten Studie hat sich die Zusammenstellung eines zukünftigen Kennzahlensystems aus nachfolgenden Kennzahlen als ideal herausgestellt. Als Ergebnis dieser Arbeit konnten fünf für die Steuerung der zukünftigen Produktion relevanteste Kennzahlen ermittelt werden. Dies sind die Kennzahlen Qualität - Right First Time/Fehlerrate, Produktionskosten, Schnelligkeit/Durchlaufzeit, Mitarbeitermotivation und Zufriedenheit sowie die Liefertreue.

Als hauptsächliches, zentrales Forschungsergebnis dieser Arbeit ergeben sich sieben organisationale Anforderungen an die zukünftige Produktion als wichtigste Konzepte zur Gestaltung der zukünftigen Industrie 4.0 Produktionsorganisation. Die Anforderung einer verbesserten Kommunikation und Abstimmung in der Produktion erfordert eine erhöhte Interaktion zwischen dem Personal über verschiedene Techniken. Als zweitwichtigste Anforderung der zukünftigen Produktion konnte die umfangreiche Vernetzung und Transparenz der gesamten Produktion und ihrer Prozesse, Mitarbeiter und Dinge bestimmt werden. Die gleichfalls wichtige Anforderung einer Ausrichtung der Produktion auf Lean 4.0 kombiniert, formt und unterstützt die schlanken Prozesse der Lean Management Produktion mit I4.0 Methoden und Technologien. Die konsequente Qualifikation, Weiterentwicklung und Schulung des Produktionspersonals für die veränderten Aufgaben der Industrie 4.0 ist eine sehr wichtige Anforderung der zukünftigen Produktion und eine Basis für die Umsetzung vieler arbeitsorganisatorischer Konzepte. Die Wandlungsfähigkeit der Produktion ist das Vermögen einer Fabrik flexibel und angepasst auf verschiedene Auslöser und Bedingungen zu reagieren. Die transparente Darstellung der Produktionsarbeit und Produktionsorganisation ist ebenfalls ein Bestandteil der in dieser Arbeit deduzierten Gruppe der wichtigsten Anforderungen an die Produktion. Die Förderung der Mitarbeitermotivation durch ein optimales Arbeitsumfeld und motivationsfördernde Maßnahmen komplettiert diese Sammlung.

Auf Grundlage der in dieser Arbeit erfolgten Literaturrecherche und quantitativen Orientierungsbefragung erfolgte die Identifikation weiterer signifikanter, zu betrachtender organisationaler Produktionsanforderungen. Eine innovationsfähige Produktion verbessert sich stetig selbst. Es werden Prozesse hinterfragt und kontinuierlich Änderungsideen eingebunden. Zudem ist im Hinblick auf das Konzept der „New Work“ die Produktionsanforderung einer modernen, arbeitsteiligen Führung mit flachen Hierarchien und der Verteilung von Verantwortung zu diskutieren. Bei der Anforderung einer Selbstorganisation der Teams übernehmen Arbeiter flexibel, eigenverantwortlich und mit viel Freiraum verschiedene Fertigungsaufgaben und Rollen. Dies ist genauso wie die prozessorientierte Arbeitsorganisation, bei der eine konsequente Prozessausrichtung und -optimierung angestrebt wird, ein denkbare Organisationskonzept. Die Anforderung einer Agilität in der Produktionsorganisation verfolgt eine zielgerichtete, schnelle Anpassung der Organisation durch agile Or-

ganisationsstrukturen und agile Arbeits- und Lernweisen der Mitarbeiter. Ein flexibler Personaleinsatz mit einer selbstständigen Einsatzplanung durch die Mitarbeiter dient dazu, auf Veränderungen und Kapazitätsschwankungen schnell reagieren zu können. Weiterhin ist die Anforderung der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit bei der Gestaltung der Produktionsorganisation der Zukunft eine nicht zu vernachlässigende Thematik.

Der erstellte Technologielösungsatlas für innovative Shopfloor-Organisationformen zeigt beispielhaft auf, wie diese Anforderungen umgesetzt werden können. Zusammenfassend verdeutlicht die idealtypische arbeitsorganisatorische Ablauforganisation der Produktion einen Weg der Gestaltung des organisatorischen Rahmens für die Industrie 4.0. Ein solcher Rahmen muss für eine optimale Implementierung und Nutzung verschiedenster I4.0 Lösung zur Verfügung stehen. Außerdem sichert dieser einen besseren Ablauf der Produktion, ein gutes Arbeitsumfeld und erhöht Produktivität und Effizienz. Zudem ist dieser Rahmen erforderlich, damit sich die Mitarbeiter in der Industrie 4.0 Umgebung bestmöglich einfügen und zurechtfinden.

Letztendlich muss für die Nutzung der Potentiale von Industrie 4.0 die gesamte Organisation von Unternehmen entsprechend ausgerichtet werden. Diese Arbeit zeigt ausführlich, auf welche arbeitsorganisatorischen Konzepte hierbei ein Fokus gelegt werden sollte. Die Umstellung zur Verwendung von Industrie 4.0 Konzepten und vor allem arbeitsorganisatorischer und menschenorientierter Ansätze hat in der breiten Masse der Industrielandschaft jedoch noch einen sehr weiten Weg zu gehen.

Literatur

- Abele, E. & Reinhart, G. (2011). *Zukunft der Produktion: - Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen*. München: Hanser.
- Adami, W. & Houben, J. (2008). Erfahrungsförderliche Gestaltung von Motivations- und Qualifikationsansätzen in modernen, ganzheitlichen Produktionsorganisationen. In *Montage braucht Erfahrung* (S. 64–95).
- Ahrens, D. & Spöttl, G. (2018). Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 175–194). Baden-Baden: Nomos.
- Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg (Hrsg.). (2020). *100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg*. Zugriff am 18.06.2020 auf <https://www.i40-bw.de/de/100-orte-fuer-industrie-4-0-in-baden-wuerttemberg/>
- Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg & BorgWarner Ludwigsburg GmbH (Hrsg.). (2020). *Digitale Schichtplanung*. Zugriff am 18.06.2020 auf <https://www.i40-bw.de/de/100orte/borgwarner-gmbh/>
- Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg & Rota Yokogawa GmbH & Co. KG (Hrsg.). (2020). *Termingetreue Versandsteuerung mittels digitalem Pull-System*. Zugriff am 10.06.2020 auf <https://www.i40-bw.de/de/100orte/rota-yokogawa-gmbh-co-kg/>
- Altemeier, K., Bansmann, M., Dietrich, O., Dumitrescu, R. & Nettelstroth, W. (2017). *Auf dem Weg zu Industrie 4.0 - Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten, Forschungsbericht der it's OWL Clustermanagement GmbH, Paderborn*. Zugriff auf file:///C:/Users/jan-f/Downloads/2017_Broschuere_Arbeit40.pdf
- Antoni, C. H. (2017). Gruppen- und Teamarbeit. In D. Spath, E. Westkämper, H.-J. Bullinger & H.-J. Warnecke (Hrsg.), *Neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation* (S. 161–172).
- Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0. (2016). *Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0*. Zugriff auf https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Fortschreibung-anwendungsszenarien.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- ARENA2036 e.V. (2020). *ARENA2036 - Die flexible Forschungsfabrik: - Die hochflexible Forschungsplattform für die Mobilität und Produktion der Zukunft*. Zugriff am 19.06.2020 auf <https://www.arena2036.de/de/>
- Aßmann, S. (2017). Industrie 4.0 ist bei Bosch bereits Realität. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 321–330).
- Baethge, M. & Baethge-Kinsky, V. (1998). Jenseits von Beruf und Beruflichkeit? - Neue Formen von Arbeitsorganisation und Beschäftigung und ihre Bedeutung für eine zentrale Kategorie gesellschaftlicher Integration. *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (MittAB)*, 31 (3), S. 461–472.
- Banse, G. (2017). Industrie 4.0 aus Sicht der Technikphilosophie und der Technikfolgenabschätzung. In G. Banse, U. Busch & M. Thomas (Hrsg.), *Digitalisierung und Transformation* (S. 117–138). Berlin.
- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D. & Ganschar, O. (2017). Industrie 4.0 - volkswirtschaftliche Bedeutung für Deutschland: - Auszug aus der Studie des Bitkom. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 17–20).
- Bauernhansl, T. & Dombrowski, U. (Hrsg.). (2016). *Einfluss von Industrie 4.0 auf unsere Fabriken und die Fabrikplanung, Tagungsband des Fachbeirats Deutscher Fachkongress Fabrikplanung, Ludwigsburg, 20/21.04.2016, Braunschweig*.
- Becker, F. (2019). *Mitarbeiter wirksam motivieren: - Mitarbeitermotivation mit der Macht der Psychologie*.
- Becker, M. (2005). *Personalentwicklung: - Bildung, Förderung und Organisationsentwicklung in Theorie und Praxis* (4. Aufl.). Stuttgart.
- Becker, T. (2017). Digitalisierung und Netzwerkmanagement. In *Rhein-Ruhr-Institut für Sozialforschung und Politikberatung e.V. (RISP) der Universität Duisburg-Essen* (S. 104–108).
- Berekhoven, L., Eckert, W. & Ellenrieder, P. (1999). *Marktforschung*. Wiesbaden.
- Berg, A. (2018). Industrie 4.0 - Wo steht Deutschland? *Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom)*. Zugriff auf <https://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaenge-an-PIs/2018/Bitkom-Präsekonferenz-Industrie-40-23-04-2018-Praesentation-2.pdf>
- Berg, A. (2019). Industrie 4.0 - jetzt mit KI. *Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom)*.
- Berg, M. (2019). Die Führungsrolle 4.0 in agilen Innovationsmodellen. In *Führen in der Arbeitswelt 4.0* (S. 119–136).
- Berkholz, D. (2008). Zusammenfassung: Wandlungsfähigkeit: - (k)ein Thema der Zukunft. In P. Nyhuis, G. Reinhart & E. Abele (Hrsg.), *Wandlungsfähige Produktionssysteme* (S. 146–150). Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek and PZH Produktionstechnisches Zentrum.
- Bernsteiner, R. & Bauer, F. (2017). IoT-Rahmenmodelle als Grundlage der IT-Integration in mittelständischen Unternehmen. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 787–792).
- Bieback, K.-J. & Oppolzer, A. (1999). Strukturwandel im Arbeitsschutz. In K.-J. Bieback & A. Oppolzer (Hrsg.), *Strukturwandel des Arbeitsschutzes* (S. 7–42).
- Bimos KG. (2020a). *Arbeitssicherheit und Ergonomie: Die schleichenden Gesundheitsrisiken*. Zugriff am 16.06.2020 auf <https://www.bimos.com/B/de-de/news/2972/arbeitssicherheit>
- Bimos KG. (2020b). *Nachhaltigkeit in der modernen Produktion*. Zugriff am 16.06.2020 auf <https://www.bimos.com/B/de-de/news/2971/nachhaltigkeit-in-der-modernen-produktion>
- Binner, H. F. (2005). *Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation: - Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung*.
- Black, J. T. (1991). *The Design of the Factory with a Future*.
- BMW Group. (2020a). *Sichtprüfung mit Gedächtnis: BMW Group testet Datenbrille zur Qualitätssicherung in der Produktion*. Zugriff am 12.06.2020 auf <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0196242DE/sichtpruefung-mit-gedaechtnis-bmw-group-testet-datenbrille-zur-qualitaetssicherung-in-der-produktion?language=de>
- Bochum, U. (2015). Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf „Industrie 4.0“. In *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 31–45). Springer Berlin Heidelberg.
- Böde, E., Hartmann, E. A., Lüdtke, A., Oppenheimer, F., Rötting, M. & Wegerich, A. (2013). *Mensch-Technik-Interaktion Band 3 -: Leitfaden für Hersteller und Anwender*. Berlin Januar. Zugriff auf https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-Leitfaden3.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Böhle, F. & Bolte, A. (2002). *Die Entdeckung des Informellen: - Der schwierige Umgang mit Kooperation im Arbeitsalltag*.
- Borch, H. & Zinke, G. (2008). Aus- und Fortbildung aus einem Guss - Berufsbildung in der Produktionstechnologie. *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*, 37 (4), 43–47.
- Börkircher, M., Frank, H., Gärtner, R., Hasse, F., Jeske, T., Lennings, F., ... Wüske, F. (2018). *Digitalisierung & Industrie 4.0 (Teil 1) -: So individuell wie der Bedarf - Produktivitätszuwachs durch Informationen*.
- Brosius, H.-B., Haas, A. & Koschel, F. (2016). *Methoden der empirischen Kommunikationsforschung: - Eine Einführung*.
- Broy, M. (2010). Cyber-Physical Systems - Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung. In M. Broy (Hrsg.), *Cyber-Physical Systems* (S. 17–32).
- Buhr, D. (2015). *Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0 - Expertise im Auftrag der Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung (WISO Diskurs)*.
- Butollo, F. & Engel, T. (2015). Industrie 4.0 - arbeits- und gesellschaftspolitische Perspektiven: - Zwischen Dystopie und Euphorie. *Zeitschrift Marxistische Erneuerung*, 26 (103), 29–41.
- Christian, M. S., Garza, A. S. & Slaughter, J. E. (2011). Work Engagement: A Quantitative Review and Test of its Relations - With Task and Contextual Performance. *Personnel Psychology*, 64 (1), 89–136.
- Clement, U. (2006). Arbeit unterhalb der Facharbeiterqualifikation und ihre Herausforderungen für die europäische Berufsbildungspolitik. In U. Clement & M. Lacher (Hrsg.), *Produktionssysteme und kompetenzerwerb* (S. 93–112). Steiner.
- Cole, T. (2017). *Digitale Transformation: - Warum die deutsche Wirtschaft gerade die digitale Zukunft verschläft und was jetzt getan werden muss!*
- Creusen, U., Gall, B. & Hackl, O. (2017). *Digital Leadership: - Führung in Zeiten des digitalen Wandels*.

- Daft, R. L. & Huber, G. P. (1987). How Organizations Learn: - A Communication Framework. In N. Ditomasi & S. Bacharach (Hrsg.), *Research in the Sociology of Organizations* (S. 1–36).
- Dale, B. G. (2007). Tools and Techniques: An Overview. In B. G. Dale, T. van der Wiele & J. van Iwaarden (Hrsg.), *Managing quality* (S. 363–381).
- Dale, B. G. & Lascelles, D. M. (2007). Levels of TQM Adoption. In B. G. Dale, T. van der Wiele & J. van Iwaarden (Hrsg.), *Managing quality* (S. 111–127).
- Dangl, A. (2019). Optimierte Kontrolle und Planung mit Digital Twins für Organisationen: - Das digitale Abbild einer Organisation verschafft Transparenz und Überblick, es erlaubt Simulation, Kontrolle und Planung. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 35 (5), 59–62.
- Das, A. (2001). Towards Theory Building in Manufacturing Flexibility. *International Journal of Production Research*, 39 (18), 4153–4177.
- Defranceski, M. (2017). Verkürzte Entscheidungsfindung in der Produktion. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1* (S. 139–152).
- Denning, S. (2016). *Explaining Agile*. Zugriff am 16.06.2020 auf <https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2016/09/08/explaining-agile/#78a22954301b>
- Deuse, J., Achenbach, M. & Lenze, D. (2015). Hybrides Ausbildungskonzept für den Umgang mit Systemkomplexität. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 149–263).
- Deuse, J., Lenze, D., Klenner, F. & Friedrich, T. (2016). Manufacturing Data Analytics zur Identifikation dynamischer Engpässe in Produktionssystemen mit hoher wertschöpfender Variabilität. In C. M. Schlick (Hrsg.), *Megatrend Digitalisierung* (S. 11–26).
- Dichtl, S. & Patermann, N. (2017). Shopfloor-Management: - Potenziale durch Transparenz heben. In R. Koether & K.-J. Meier (Hrsg.), *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung* (S. 199–214). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Dobrowolski, P. (2016). *6 Thesen zur wandlungsfähigen Produktion der Zukunft*. Zugriff am 16.06.2020 auf <https://industriemagazin.at/a/6-thesen-zur-wandlungsfahigen-produktion-der-zukunft>
- Dobrzanski, F. & Jungkind, W. (2018). Mitarbeiter- und Organisationsentwicklung im Rahmen von Industrie 4.0. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 113 (10), 686–691.
- Dorsch-Schweizer, M. & Schwarz, H. (2007). Beruflichkeit zwischen Arbeitsteilung und Prozessorientierung? *Sozialwissenschaften und Berufspraxis (SuB)*, 30 (2), 300–318.
- Drucker, P. F. (1988). The Coming of the New Organization. *Harvard Business Review*, 66 (1), 48–53.
- Dumitrescu, R. & Marquardt, R. (2017). Auf dem Weg zu Industrie 4.0 - „it's OWL“ bietet Lösungen für den Mittelstand. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 637–652).
- Duschlbauer, T., Martin, S. & Saffarnia, P. (2018). Vom Internet der Dinge zum Internet der Menschen. In *Organisationskommunikation im Zeichen der Digitalisierung* (S. 11–12).
- Elkins, D. A., Huang, N. & Alden, J. M. (2004). Agile Manufacturing Systems in the Automotive Industry. *International Journal of Production Economics*, 91 (3), 201–214.
- ESTA Apparatebau GmbH & Co. KG. (2020). *Filtorturm Filtower*. Zugriff am 15.06.2020 auf <https://www.esta.com/de/produkte/filtorturm-filtower/>
- Europäische Kommission. (2015). *Benutzerleitfaden zur Definition von KMU*.
- Fay, A., Gausemeier, J. & ten Hompel, M. (2018). Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien. *Forschungsbericht der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften e.V.*
- Fischer, T. & Köbler, J. (2018). Lean-Management und Industrie 4.0: - Warum Lean-Management eine solide Grundlage für die vierte industrielle Revolution darstellt. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 34 (6), 53–55.
- Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA). (2016). *Industrie 4.0 konkret - Lösungen für die industrielle Praxis (Auflage 2016), Leitfaden des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)*.
- Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA). (2017). *Industrie 4.0 konkret - Lösungen für die industrielle Praxis (Auflage 2017), Leitfaden des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)*.
- Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA). (2018). *Industrie 4.0 konkret - Lösungen für die industrielle Praxis (Auflage 2018), Leitfaden des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)*.
- Forum Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (FKM). (2017). *F&E-Lotse verschafft Überblick - Forschungsprojekte im Themenfeld Industrie 4.0, Forschungsbericht des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)*.
- Franke, S. (2019). Interview: „New Work: Neue Kultur der Zusammenarbeit“. In D. Brommer, S. Hockling & A. Leopold (Hrsg.), *Faszination New Work: 50 Impulse für die neue Arbeitswelt* (S. 127–130).
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2019). *Innovationsnetzwerk „Produktionsarbeit 4.0“ Phase 4*. Zugriff am 20.06.2020 auf https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/tim/Dokumente/Innovationsnetzwerk-Prod-Arbeit_4-Phase/InnovationsnetzwerkProduktionsarbeit_Phase4_2020-2022.pdf
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020a). *Beschäftigung flexibilisieren mit der KapaFit-Simulation: - Turbulenzreserven aufbauen!* Zugriff am 13.06.2020 auf https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/tim/Dokumente/Kapaflexcy/Kapafit_Dimensionieren.pdf
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020b). *Cognitive Engineering and Production: - Wir machen produzierende Unternehmen schnell, flexibel und digital!* Zugriff am 20.06.2020 auf <https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/tim/Dokumente/cognitive-engineering-and-production.pdf>
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020c). *Future Work Lab - KPI-Dashboard für Meister*. Zugriff am 05.05.2020 auf <https://futureworklab.de/content/dam/iao/digitalisierung/documents/Demonstratoren/kpi-dashboard.pdf>
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020d). *Future Work Lab - Qualifizierung mit Lernvideos*. Zugriff am 11.06.2020 auf <https://futureworklab.de/content/dam/iao/digitalisierung/documents/Demonstratoren/qualifizierung-lernvideos.pdf>
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020e). *Open Lab Day im Future Work Lab*. Zugriff am 16.06.2020 auf https://futureworklab.de/content/dam/iao/digitalisierung/documents/future_work_lab_%20open_lab_days.pdf
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation & aucobo GmbH. (2020). *Future Work Lab - Mobile Mehrmaschinenbedienung*. Zugriff am 19.06.2020 auf <https://futureworklab.de/content/dam/iao/digitalisierung/documents/Demonstratoren/mehrmaschinen-bediengung.pdf>
- Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. (2020). *iWePro - Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion*. Zugriff am 20.06.2020 auf https://www.projekt-iwepro.de/content/dam/ipk/iwepro/de/Dokumente/ps_iWePro_web.pdf
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. (2020). *Benchmark Wandlungsfähigkeit - Beschreibung der Kennzahlen*. Zugriff am 06.06.2020 auf https://www.industriebenchmarking.eu/download/dyamed/Beschreibung_der_Kennzahlen.pdf
- Frey, C. B. & Osborne, M. A. (2013). *The Future of Employment: - How Susceptible are Jobs to Computerisation?*
- Gabath, C. (2010). *Risiko- und Krisenmanagement im Einkauf: - Methoden zur aktiven Kostensenkung*.
- Gallup Organization. (2017). *State of the Global Workplace*.
- Gausemeier, J. (2007). Mehr Interaktion von Wirtschaft und Wissenschaft - Stärken stärken. In J. Gausemeier & H. K. Tönshoff (Hrsg.), *Migration von wertschöpfung* - (S. 43–52).
- Geisberger, E. & Broy, M. (2012). *AgendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*.

- Geramanis, O. (2020). Zusammenarbeit 5.0: - Die kooperative Dimension der neuen Arbeitswelt. In *Der Mensch in der Selbstorganisation* (Bd. 78, S. 3–25).
- Gibson, I., Yoke, S. W., Stanev, S., Krappe, H., Abul, O. H., Georgoulas, K., ... Ovtcharova, J. (2008). Efficient Change Management for the flexible Production of the Future. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19 (6), 712–726.
- Glück, M. (2015). Wie entwickelt sich eine Qualität 4.0? *Qualität und Zuverlässigkeit (QZ)*, 60 (8), 39–43.
- Golob, N. & Ullrich, M. (2019). New Work und keiner geht hin. In D. Brommer, S. Hockling & A. Leopold (Hrsg.), *Faszination New Work: 50 Impulse für die neue Arbeitswelt* (S. 91–108).
- Goschy, W. & Metternich, J. (2016). *25 Jahre Lean Management: - Lean gestern, heute und morgen*.
- Gottmann, J. (2016). *Produktionscontrolling: - Wertströme und Kosten optimieren*.
- Graf, N., Gramß, D. & Edelkraut, F. (2017). *Agiles Lernen: - Neue Rollen, Kompetenzen und Methoden im Unternehmenskontext*.
- Gronau, N., Ullrich, A. & Vladova, G. (2015). Prozessbezogene und visionäre Weiterbildungskonzepte im Kontext Industrie 4.0. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 125–143).
- Gruber, M., Rinner, M., Löscher, T., Almeder, C., Hartl, R. & Katzensteiner, S. (2011). Vorausschauende Produktionsregelung durch simulationsbasierte heuristische Optimierung. In L. März, W. Krug, O. Rose & G. Weigert (Hrsg.), *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*.
- Hacker, W. & Richter, P. (1984). *Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen (Band 1): - Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen - Ziele und Bewertungsmaßstäbe*.
- Hackl, B., Wagner, M., Attmer, L. & Baumann, D. (2017). *New Work: Auf dem Weg zur neuen Arbeitswelt: - Management-Impulse, Praxisbeispiele, Studien*.
- Haddock, G. & Maio, G. R. (2014). Einstellungen. In K. Jonas, W. Stroebe & M. Hewstone (Hrsg.), *Sozialpsychologie* (S. 197–229).
- Hartmann, E. (2015). Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 9–20).
- Hartmann, F. (2017). Zukünftige Anforderungen an Kompetenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 - Eine Bestandsaufnahme. In *Facharbeit und Digitalisierung* (S. 19–28).
- Heidel, R., Hoffmeister, M., Hankel, M. & Döbrich, U. (2017). *Basiswissen RAMI 4.0: Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0-Komponente Industrie 4.0*.
- Heinen, T., Hirsch, B. & Nyhuis, P. (2009). Wandlungsfähigkeit durch Mitarbeiterkompetenz: - Entwicklung eines mitarbeiterorientierten Planungsmodells zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von Fabriken. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 104 (10), 836–840.
- Heinen, T., Rimpau, C. & Wörn, A. (2008). Wandlungsfähigkeit als Ziel der Produktionssystemgestaltung. In P. Nyhuis, G. Reinhart & E. Abele (Hrsg.), *Wandlungsfähige Produktionssysteme* (S. 19–32).
- Heller, T. (2015). *Organisation der Instandhaltung in der Smart Factory: - Dezentral und autonom: Von der Theorie in die Praxis*. Zugriff am 13-06-2020 auf http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3790577.pdf
- Hertle, C. (2018). *Shopfloor Management Systeme zur zielgerichteten, systematischen Kompetenzentwicklung in der Produktion: Dissertation*.
- Heyse, V. (2018). Einleitung: Mittelstand 4.0 im Spannungsfeld des digitalen Wandels. In V. Heyse, J. Erpenbeck, S. Ortman & S. Coester (Hrsg.), *Mittelstand 4.0 - eine digitale Herausforderung* (S. 9–16).
- Hirsch-Kreinsen, H. (2018). Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 13–32). Nomos.
- Hirsch-Kreinsen, H. & Weyer, J. (2014). Wandel von Produktionsarbeit - Industrie 4.0°. *Arbeitspapier der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dortmund*, 38.
- Hofert, S. (2018). *Das agile Mindset: - Mitarbeiter entwickeln, Zukunft der Arbeit gestalten*.
- Hoffmann, F.-J. (2017). iBin - Anthropomatik schafft revolutionäre Logistiklösungen. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1* (S. 47–60).
- Hohberger, S. & Damlachi, H. (2017). Performancesteigerung in der Produktion. In S. Hohberger & H. Damlachi (Hrsg.), *Performancesteigerung im Unternehmen* (S. 145–162).
- Holtgrewe, U., Riesenecker-Caba, T. & Flecker, J. (2015). *Industrie 4.0 - eine arbeitssoziologische Einschätzung: - Endbericht für die AK Wien*.
- Hoppe, S. (2016). Der Schlüssel für Industrie 4.0: Semantische Interoperabilität vom Sensor bis in die Cloud. In C. Manzei, L. Schleupner & R. Heinze (Hrsg.), *Industrie 4.0 im internationalen Kontext* (S. 96–100).
- Horzella, A. (2010). *Wertsteigerung im M&A-Prozess: - Erfolgsfaktoren, Instrumente, Kennzahlen: Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss., 2009*.
- Höpner, A. (2019). *Die Industrie 4.0 stockt - Für einen Durchbruch auf breiter Front gibt es noch viele Hemmnisse*.
- Huber, A. S. (2013). Das Ziel Digital Enterprise: Die professionelle digitale Abbildung von Produktentwicklung und Produktion. In U. Sender (Hrsg.), *Industrie 4.0*.
- IHK Darmstadt Service GmbH. (2020). *Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Darmstadt - Anwendungsbeispiele*. Zugriff am 16.06.2020 auf <https://kompetenzzentrum-darmstadt.digital/de/Landing/Anwendungsbeispiele/~nm.120/Anwendungsbeispiele.html>
- International Association of Oil & Gas Producers. (2014). OGP Safety Performance Indicators - 2013 Data. *Forschungsbericht der International Association of Oil & Gas Producers*.
- Ittermann, P. & Niehaus, J. (2018). Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit - revisited. - Forschungsstand und Trendbestimmungen. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 33–60).
- Ittermann, P., Niehaus, J. & Hirsch-Kreinsen, H. (2015). *Arbeiten in der Industrie 4.0: - Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder* (Nr. 308).
- Jeske, T., Hille, S. & Börkircher, M. (2015). Produktionsarbeit und Führung in der Industrie 4.0: - Potenziale und Auswirkungen. *Betriebspraxis & Arbeitsforschung - Zeitschrift für angewandte Arbeitswissenschaft, o.Jg.* (223), 27–32.
- Joos, T. (2012). Plankostenrechnung als Instrument des Produktionscontrollings. In A. Klein & H. Schnell (Hrsg.), *Controlling in der Produktion* (S. 63–84).
- Jung, A. (2017). Industrie 4.0 - Die digitale Zumutung. *Der Spiegel* (17/2017), 64–67.
- Kagermann, H. (2014). Industrie 4.0 und Smart Services. In Brenner W. & Hess T. (Hrsg.), *Wirtschaftsinformatik in Wissenschaft und Praxis* (S. 243–248). Berlin, Heidelberg.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., Hellinger, A., Stumpf, V., Kobsda, C. & Treugut, L. (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsjahr 2014. *Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Positionspapier der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften e.V. (acatech) und der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft*.
- Kagermann, H. & Winter, J. (2017). Industrie 4.0 und plattformbasierte Geschäftsmodellinnovationen. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 21–32). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Kahn, W. A. (1990). Psychological Conditions of Personal Engagement and Disengagement at Work. *Academy of Management Journal (AMJ)*, 33 (4), 692–724.
- Kaltenecker, S. (2018). *Selbstorganisierte Teams führen: - Arbeitsbuch für Lean & Agile Professionals*.
- Kaufmann, T. (2015). *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: - Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kempkes, J. A., Suprano, F. & Wömpener, A. (2018). Produktion 4.0 mit den richtigen Kennzahlen steuern. *Controlling & Management Review (CMR)*, 62 (4), 56–61.
- Kempter, G., Jost, P. & Künz, A. (2020). Gut zu wissen: Technologiegestütztes Lernen während der Arbeit. In S. Wörwag & A. Cloots (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit, Perspektive Mensch* (S. 229–239).
- Killian, S., Nendel, N., Markert, T. & Riedel, R. (2019). Spielend lernen in der virtuellen Realität: - Weiterbildung durch Gamification. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 35 (2), 53–56.

- Kinemic GmbH. (2020a). *Assistenzsysteme besser nutzen - Einfache Bedienung mittels Kinemic Band: - Die Zukunft der Gestensteuerung*. Zugriff am 20.06.2020 auf <https://kinemic.com/de/>
- Kinemic GmbH. (2020b). *Remote-Assistenz*. Zugriff am 22.06.2020 auf <https://kinemic.com/de/anwendungen/remote-assistenz/>
- Klaes, M. & Schreiber, A. (2015). Die intelligente Produktion von morgen: - Anlagen- und Automatisierungskonzept für flexible und wirtschaftliche Fertigung. *Der Konstrukteur*, 47 (4), 16–18.
- Klauß, T. & Mierke, A. (2017). *Szenarien einer digitalen Welt - heute und morgen: - Wie die digitale Transformation unser Leben verändert*.
- Kletti, J. (2015). *MES - Manufacturing Execution System: - Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung*.
- Kletti, J. & Schumacher, J. (2014). *Die perfekte Produktion: - Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT)*.
- Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R. & Schrauf, S. (2014). *Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Arbeitspapier der Strategy& GmbH und der PricewaterhouseCoopers GmbH*.
- Kollmann, T. & Schmidt, H. (2016). *Deutschland 4.0 - Wie die digitale Transformation gelingt*.
- Kool, L. & van Est, R. (2015). *Working on the Robot Society: - Visions and Insights from Science concerning the Relationship between Technology and Employment*.
- Korge, A. (2017). *Konzepte, Methoden, Erfolgsfaktoren in der Produktion*. In D. Spath, E. Westkämper, H.-J. Bullinger & H.-J. Warnecke (Hrsg.), *Neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation* (S. 505–512). Berlin, Heidelberg.
- Kreggenfeld, N., Prinz, C. & Kuhlentötter, B. (2016). *Mitarbeiterbefähigung in der Industrie 4.0 - Ganzheitlicher Ansatz zur Erfassung sowie zum Management von Mitarbeiter- und Prozesswissen*. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 32 (3), 31–34.
- Kromrey, H., Roose, J. & Strübing, J. (2016). *Empirische Sozialforschung: - Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung mit Annotationen aus qualitativ-interpretativer Perspektive*.
- Krones, M., Strauch, J., Schütze, J. & Müller, E. (2015). *PLUG+LEARN - Lehren und Lernen mit wandlungsfähigen Kompetenzmodulen*. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 81–96).
- Krüger, J. (2013). *Effektive Produktionsprozesse mit IT - auf dem Weg zu Industrie 4.0: Industrie 4.0 - Zukunftspotentiale für die Produktion*. Zugriff auf <https://www.ihk-berlin.de/blueprint/servlet/resource/blob/2272490/4dcd68cf812f2c51d78a2200bcd4d77/presentation-va-industrie4-0-krueger-data.pdf>
- Krügel, S. (2019). Interview: „Wie sieht die Führungskräfteentwicklung der Zukunft aus?“. In D. Brommer, S. Hockling & A. Leopold (Hrsg.), *Faszination New Work: 50 Impulse für die neue Arbeitswelt* (S. 233–242).
- Kühl, S. (2015). *Wenn die Affen den Zoo regieren: - Die Tücken der flachen Hierarchien*.
- Kühl, S. & Kullmann, G. (1999). *Gruppenarbeit: Einführen, bewerten und weiterentwickeln*.
- Laloux, F. (2015). *Reinventing Organizations: - Ein Leitfaden zur Gestaltung sinnstiftender Formen der Zusammenarbeit*.
- Lanza, G., Hofmann, C., Stricker, N., Biehl, E. & Braun, Y. (2018). *Auf dem Weg zum digitalen Shopfloor Management: - Eine Studie zum Stand der Echtzeitentscheidungsfähigkeit und des Industrie 4.0-Reifegrads*. *Forschungsbericht des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)*.
- Lanza, G. & Nyhuis, P. (2016). *Menschenzentrierte Regelkreise in der Industrie 4.0*. In T. Bauernhansl & U. Dombrowski (Hrsg.), *Einfluss von Industrie 4.0 auf unsere Fabriken und die Fabrikplanung, Tagungsband des Fachbeirats Deutscher Fachkongress Fabrikplanung* (S. 24–25).
- Laub, M. (2013). *Netzwerke gegen die Stromfresser*. *Handelsblatt* (67/2013 (08.04.2013)), 6.
- Laufer, H. (2013). *Praxis erfolgreicher Mitarbeitermotivation: - Techniken, Instrumente, Arbeitshilfen*.
- Leidinger, B. (2017). *Wertorientierte Instandhaltung: - Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten*.
- Lemmens, V. (2017). *Enterprise Operational Intelligence: - Ein neues Instrument zur Strategieumsetzung*. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 33 (5), S. 57-60.
- Leopold, A. (2019). *Growth Hacking HR - Was Unternehmenskultur vom Marketing lernen kann*. In D. Brommer, S. Hockling & A. Leopold (Hrsg.), *Faszination New Work: 50 Impulse für die neue Arbeitswelt* (S. S. 243-242).
- Leyendecker, B. & Pötters, P. (2018). *Shopfloor Management: - Führen am Ort des Geschehens*.
- Liebermeister, B. (2017). *Digital ist egal: Mensch bleibt Mensch - Führung entscheidet*.
- Lindner, D. & Amberg, M. (2019). *Ist Agilität Voraussetzung oder Folge einer zielgerichteten Digitalisierung?* *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 35 (4), 30–34.
- Lorenz, M., Küpper, D., Rüßmann, M., Heidemann, A. & Bause, A. (2016). *Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0*.
- Losch, R. (2016). *Audi will das Fließband abschaffen*. Zugriff am 20.06.2020 auf <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Audi-will-das-Fließband-abschaffen-3504451.html>
- Lowe, J., Delbridge, R. & Oliver, N. (1997). *High-Performance Manufacturing - Evidence from the Automotive Components Industry*. *Organization Studies Journal (ORS)*, 18 (5), 783–798.
- Lucke, D., Defranceski, M. & Adolf, T. (2017). *Cyberphysische Systeme für die prädiaktive Instandhaltung*. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1* (S. 75–92).
- Lucks, K. (2017a). *Die Player in der Wertschöpfungskette für Industrie 4.0*. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 55–72).
- Lucks, K. (2017b). *Grundlagen und Definitionen einer Industrie 4.0*. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 3–16).
- Lucks, K. (2017c). *Interview mit Dr. Stephan Fischer, Head of Software Development, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & CoKG*. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 275–290).
- Manzei, C. (2016). *Einführung und Überblick*. In C. Manzei, L. Schlepuner & R. Heinze (Hrsg.), *Industrie 4.0 im internationalen Kontext* (S. 9–16). Berlin.
- Mättig, B., Jost, J. & Kirks, T. (2018). *Erweiterte Horizonte - Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit*. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit* (S. 63–72).
- Matuschek, I. (2017). *Industrie 4.0 - Transformation der Arbeitsgesellschaft*. In *Digitalisierung und Transformation*.
- Mayer, H. O. (2009). *Interview und schriftliche Befragung: - Entwicklung, Durchführung und Auswertung*.
- Mertens, P., Barbican, D. & Baier, S. (2017). *Digitalisierung und Industrie 4.0 - eine Relativierung*.
- Metternich, J., Adolph, S., Hambach, J., Hertle, C., Meudt, T. & Wank, A. (2017). *Lean 4.0: Durch Digitalisierung die nächste Stufe der Exzellenz erreichen - Der Darmstädter Ansatz*. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 193–216).
- Metternich, J., Müller, M., Meudt, T. & Schaeede, C. (2017). *Lean 4.0 - zwischen Widerspruch und Vision*. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 112 (5), 346–348.
- Meudt, T., Hartmann, L. & Metternich, J. (2018). *Leitfaden Industrie 4.0 trifft Lean - Wertschöpfung ganzheitlich steigern*.
- MM MaschinenMarkt. (2006). *Innovationsfähigkeit in der Produktion*. Zugriff am 13.06.2020 auf <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/plattform-unterstuetzt-kmu-bei-der-automatisierung-a-2352/>
- Möllendorf, J. (2018). *Das Wertesystem macht die Unternehmenspersönlichkeit aus*. In J. Reinnarth, C. Schuster, J. Möllendorf & A. Lutz (Hrsg.), *Chefsache Digitalisierung 4.0* (S. 155–162). Wiesbaden.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*.
- Müller, E. & Jentsch, D. (2015). *Lernort Fabrik - Betriebliche Herausforderungen und aktuelle Lösungsansätze für eine moderne Arbeitswelt*. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 97–109).
- Munsch, J.-P. (2020). *Standpunkt: Einführung der Selbstorganisation*. In S. Wörwag & A. Cloots (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit, Perspektive Mensch* (S. 255–261).
- Neuhaus, R. (2018). *Erst Lean-Management, dann Industrie 4.0!* In R. M. Wagner (Hrsg.), *Industrie 4.0 für die Praxis* (S. 53–66).
- Nieschlag, R., Dichtl, E. & Hörschgen, H. (1994). *Marketing*.
- Niesing, B. (2013). *Smart und flexibel fertigen. weiter.vorn - Das Fraunhofer*

- Magazin, 10 (2), 8–13.
- Nowotny, V. (2016). *Agile Unternehmen: - Nur was sich bewegt, kann sich verbessern: Fokussiert, schnell, flexibel.*
- Nyhuis, P. (2008). Workshop 2 - Fertigungssteuerung & Logistik - Mensch & Organisation. In P. Nyhuis, G. Reinhart & E. Abele (Hrsg.), *Wandlungsfähige Produktionssysteme* (S. 138–142).
- Nyhuis, P., Bellmann, V. K. & Ansari, S. M. (2015). Auswirkungen von globalen Trends auf die Lehr- und Lernkonzepte der Zukunft. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 163–181).
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: - Beyond Large-Scale Production.*
- Orpen, C. (1997). The Effects of Job Enrichment on Employee Satisfaction, Motivation, Involvement and Performance - A Field Experiment. *Journal of Human Relations (JHR)*, 32 (3), 189–217.
- o.V. (2019). Digitalisierung und Smart Integrated Factory: - „Wir stehen erst am Anfang“. *Markt & Technik*, 43 (49), 35–36.
- Pachow, J., Heins, M., von Bredow, M., Krebs, P. & Wörner, A. (2008). Management der Wandlungsfähigkeit: - Forschungsbedarf für die Produktion von morgen. In P. Nyhuis, G. Reinhart & E. Abele (Hrsg.), *Wandlungsfähige Produktionssysteme* (S. 93–101).
- Parsons, T. (1951). *The Social System.*
- Pawellek, G. & Schirrmann, A. (2017). Planung der Industrie 4.0 Technologien und Ermittlung von Anwendungsbereichen im Unternehmen. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 115–136).
- Pfeiffer, S. (2016). Berufliche Bildung 4.0? - Überlegungen zur Arbeitsmarkt- und Innovationsfähigkeit. *Industrielle Beziehungen. Zeitschrift für Arbeit, Organisation und Management*, 23 (1), 25–44.
- Pfeiffer, S. & Suphan, A. (2018). Industrie 4.0 und Erfahrung - Das unterschätzte Innovations- und Gestaltungspotenzial der Beschäftigten im Maschinen- und Automobilbau. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 275–302).
- Pfister, A. & Müller, P. (2019). Psychologische Grundlagen des agilen Arbeitens. In *Führen in der Arbeitswelt 4.0* (S. 33–50).
- Picavi GmbH. (2020a). *Picavi Pick-by-Vision - Datenbrillen mit praktischem Barcode-Ringscanner.* Zugriff am 11.06.2020 auf <https://picavi.com/technologie/#details>
- Picavi GmbH. (2020b). *Picavi Pick-by-Vision - Kommissionieren mit Datenbrille.* Zugriff am 11.06.2020 auf <https://picavi.com/>
- Picavi GmbH. (2020c). *Produkte von Picavi - Innovation mit Erfolgsgarantie.* Zugriff am 11.06.2020 auf <https://picavi.com/produkte/>
- Plattform Industrie 4.0. (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0.*
- Plattform Industrie 4.0. (2018a). *Factsheet: Online-Landkarte: - Deutschlandweite Anwendungsbeispiele der Industrie 4.0.* Zugriff am 20.06.2020 auf https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Factsheets/factsheet_online-landkarte.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Plattform Industrie 4.0. (2018b). *RAMI 4.0 - Ein Orientierungsrahmen für die Digitalisierung.* Zugriff am 666 auf <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-einfuehrung-2018.html>
- Plattform Industrie 4.0. (2019). *Interoperabilität - Unsere Vision für Industrie 4.0: Maschinen sprechen in vernetzten digitalen Ökosystemen interoperabel miteinander.*
- Plattform Industrie 4.0 & Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. (2020). *KapaflexCy: - Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität für die Industrie 4.0.* Zugriff am 18.06.2020 auf <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/096-kapaflexcy-selbstorganisierte-kapazitaetsflexibilitaet-fuer-die-industrie-4-0/beitrag-kapaflexcy-selbstorganisierte-kapazitaetsflexibilitaet-fuer-die-industrie-4-0.html>
- Plattform Industrie 4.0 & Pheonix Contact Electronics GmbH. (2020). *Wandlungsfähige Fertigung bei Phoenix Contact: - Flexibel durch ein modulares Anlagen- und Steuerungskonzept.* Zugriff am 22.05.2020 auf <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/148-wandlungsfaeheige-fertigung-bei-phoenix-contact/beitrag-wandlungsfaeheige-fertigung-bei-phoenix-contact.html>
- Plattform Industrie 4.0, Schaeffler Technologies AG & Co. KG. (2020). *Autonome Instandhaltung: - Industrie 4.0: Selbststeuernde Maschinenüberwachung.* Zugriff am 13.06.2020 auf <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/141-autonome-instandhaltung-industrie-4-0-selbststeuernde-maschineneuberwachung/beitrag-autonome-instandhaltung-industrie-4-0-selbststeuernde-maschineneuberwachung.html>
- Posluschny, P. (2007). *Die wichtigsten Kennzahlen.*
- Pötter, T. & Steckenreiter, T. (2017). Digital Manufacturing - Prozessindustrie und Life Sciences im Wandel. In K. Lucks (Hrsg.), *Praxishandbuch Industrie 4.0* (S. 455–468).
- Probst, G. J. & Büchel, B. (1994). *Organisationales Lernen: - Wettbewerbsvorteil der Zukunft.*
- Projektträger Karlsruhe (PTKA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. (2017). *Industrie 4.0 - Innovationen für die Produktion von morgen.*
- Ramezani, H. & Luckow, A. (2019). Big Data, Small Data, and Getting Products Right First Time. In M. Dastbaz & P. Cochrane (Hrsg.), *Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future* (Bd. 56, S. 77–90).
- Ramsauer, C. (2013). Industrie 4.0 - Die Produktion der Zukunft. *WING-business*, 46 (3), 6–12.
- Raveling, J. (2016). *BLG LOGISTICS hat einiges auf Lager - zum Beispiel eines der modernsten Kommissioniersysteme Europas: - Roboter in der Lagerhalle erhöhen Flexibilität und senken Kosten.* Zugriff am 11.06.2020 auf <https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/blg-logistics-hat-einiges-auf-lager-zum-beispiel-eines-der-modernsten-kommissioniersysteme-europas>
- Reichmann, T., Kießler, M. & Baumöl, U. (2017). *Controlling mit Kennzahlen: - Die systemgestützte Controlling-Konzeption.*
- Reischauer, G. (2015). Industrie 4.0 organisieren: - Ansätze zur Gestaltung der formalen und informalen Organisation. *Zeitschrift Führung und Organisation (ZFO)*, 84 (4), 271–277.
- Riffelmacher, P., Kluge, S. & Westkämper, E. (2009). Wandlungsfähige Produktion durch integrierten Einsatz digitaler Werkzeuge. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 25 (3), 29–32.
- Rosenstiel, L. v. (2007). *Grundlagen der Organisationspsychologie: - Basiswissen und Anwendungshinweise.*
- Rost, M., Stölzel, M. & Kozica, A. (2016). *Neue Arbeitsaufgaben und Anforderungen durch Industrie 4.0: - Eine qualitative Fallstudie in der Automobilindustrie.* Zugriff auf https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Arbeit/Arbeitsmarktpolitik_Arbeitsschutz/A2_Rost_Arbeitswelt-2016_Presentation_Rost_et_al-160919-_Kopie.pdf
- Roth, A. (2018). Industrie 4.0: Die Digitalisierung von Produktion und Logistik. In A. Klein (Hrsg.), *Modernes Produktionscontrolling für die Industrie 4.0* (S. 127–142).
- Sanders, F. & Lampe, A. (2011). Gesundheitsmanagement bei Volkswagen Nutzfahrzeuge. In Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klose, J., Macco, K. (Hrsg.), *Fehlzeiten-Report 2011* (S. 209–219).
- Sass, E. (2019). *Mitarbeitermotivation, Mitarbeiterbindung: - Was erwarten Arbeitnehmer?*
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG. (2017). *Den optimalen Wartungszeitpunkt vorhersagen.* Zugriff am 13.06.2020 auf https://www.schaeffler.com/content.schaeffler.com/de/news_media/stories/digitalization_stories/predictive_maintenance/predictive_maintenance.jsp
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG. (2020). *Optimierung durch Instandhaltung 4.0 für Intralogistik 4.0.* Zugriff am 13.06.2020 auf <https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/de/produkte-und-loesungen/industrie/industrie-4-0/kundenprojekte-geschaeftsmodelle/instandhaltung-4-0-distributionszentrum-mitte/index.jsp>
- Schaper, N. (2019a). Arbeitsanalyse und -bewertung. In F. W. Nerdinger, G. Blickle & N. Schaper (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie* (S. 385–410).
- Schaper, N. (2019b). Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. In F. W. Nerdinger, G. Blickle & N. Schaper (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie* (Bd. 70, S. 411–434).
- Schatz, A. & Bauernhansl, T. (2017). Geschäftsmodell-Innovationen. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch*

- Industrie 4.0 Bd.1* (S. 245–260). Berlin, Heidelberg.
- Schenk, M., Haase, T., Keller, A. & Berndt, D. (2016). Herausforderungen der Mensch-Technik-Interaktion für die Gestaltung zukünftiger Arbeitssysteme. In C. M. Schlick (Hrsg.), *Megatrend Digitalisierung* (S. 131–139).
- Schirmer, D., Blinkert, B. & Buchen, S. (2009). *Empirische Methoden der Sozialforschung: - Grundlagen und Techniken* (Bd. 3175).
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). Arbeitsschutz - Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz. In S. Werther & L. Bruckner (Hrsg.), *Arbeit 4.0 aktiv gestalten* (Bd. 35, S. 385–416).
- Schlick, C. M., Heinen, S. & Frenz, M. (2015). Entwicklung eines innovativen Fernlehrgangs einschließlich Mobile Learning zur Förderung reflexiver Handlungsfähigkeit in der Produktionsorganisation. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 39–56).
- Schlund, S. & Pokorni, B. (2017). Industrie 4.0 - Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung? In G. Banse, U. Busch & M. Thomas (Hrsg.), *Digitalisierung und Transformation* (S. 139–164).
- Schmitt, M. (2012). Zwischen Strategie und Produktionsreporting - Produktivitätskennzahlen als Bindeglied. In A. Klein & H. Schnell (Hrsg.), *Controlling in der Produktion* (S. 121–138).
- Schneider, M. (2016). *Lean Factory Design: - Gestaltungsprinzipien für die perfekte Produktion und Logistik*.
- Schnell, H. (2012a). Effizienzmessung in der Produktion mithilfe von Kennzahlen. In A. Klein & H. Schnell (Hrsg.), *Controlling in der Produktion* (S. 41–62).
- Schnell, H. (2012b). Produktionscontrolling: Bedeutung, Selbstverständnis, Aufgaben, Instrumente. In A. Klein & H. Schnell (Hrsg.), *Controlling in der Produktion* (S. 21–40).
- Schnell, H. (2018a). Industrie 4.0: Folgen und Empfehlungen für das Produktionscontrolling. In A. Klein (Hrsg.), *Modernes Produktionscontrolling für die Industrie 4.0* (S. 41–54).
- Schnell, H. (2018b). Kennzahlen des Produktionscontrollings zur Sicherung der Produktivität. In A. Klein (Hrsg.), *Modernes Produktionscontrolling für die Industrie 4.0* (S. 83–106).
- Schocke, K.-O. (2017). Industrie 4.0. In C. H. Glock & E. H. Grosse (Hrsg.), *Warehousing 4.0* (S. 1–16).
- Schomburg, F., Sobieraj, A. & Kruse, P. (2016). Paradigmenwechsel in der Führung: - Zukunft ohne Management. In T. Petry (Hrsg.), *Digital Leadership: Freiburg: Haufe* (S. 85–97).
- Schröder, W. (2019). *Mitarbeitermotivation - worauf es wirklich ankommt -: Fallbeispiele, psychologische Erkenntnisse, Motivations- und Führungsprinzipien, konkrete Motivationsideen und Kommunikationsregeln zur Motivationssteigerung von Mitarbeitern im Betriebsalltag*.
- Schuh, G., Fabry, C., Schmitz-Urban, A. & Siegers, J. (2015). Erfolgreiche Steuerung und Koordination von Business-Communities. In S. Jeschke, A. Richert, F. Hees & C. Joos (Hrsg.), *Exploring Demographics* (S. 645–656).
- Schultz-Wild, L. & Lutz, B. (1997). *Industrie vor dem Quantensprung: - Eine Zukunft für die Produktion in Deutschland*.
- Schulze, H. (2000). Erfahrungsgelernte Arbeit als Leitbild für die Entwicklung und Gestaltung von Produktionssystemen in der industriellen Fertigung. *Dissertation an der Universität Hamburg*.
- Schumann, S. (2006). *Repräsentative Umfrage: - Praxisorientierte Einführung in empirische Methoden und statistische Analyseverfahren* (4. Aufl.). München and Wien.
- Schwab, K. (2016). *Die Vierte Industrielle Revolution*.
- Seel, C. (1995). Gruppenarbeit in der Produktion: Rationalisierungspaket oder kultureller Umbruch? In N. Sokianos (Hrsg.), *Produktion im Wandel* (S. 152–179).
- Senderek, R. (2018). Lernförderliche Arbeitssysteme für die Arbeitswelt von morgen. In (S. 87–105).
- Sengotta, M. (2003). Controlling-Kennzahlen zur Erfolgsvalidierung bei der Einführung eines Produktionssystems. *Controlling - Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung*, 15 (5), 245–250.
- Sharma, D. & Ali, M. (2010). Framework for Implementing Flexible Automation in Indian Industries. *Global Business and Management Research: An International Journal*, 2 (2), S. 208–223.
- Siepmann, D. (2016). Industrie 4.0: - Technologische Komponenten. In A. Roth (Hrsg.), *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (S. 47–72).
- Sinsel, A. (2020). Wirtschaftlichkeitsbewertung der Smart Factory. In A. Sinsel (Hrsg.), *Das Internet der Dinge in der Produktion* (Bd. 112, S. 131–146).
- Soder, J. (2017). Use Case Production. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1* (S. 3–26).
- Sorge, A. (2003). Cross-National Differences in Human Resources and Organization. In A.-W. Harzing & J. van Ruysseveldt (Hrsg.), *International Human Resource Management* (S. 117–140).
- Spath, D. (2017). Grundlagen der Organisationsgestaltung. In D. Spath, E. Westkämper, H.-J. Bullinger & H.-J. Warnecke (Hrsg.), *Neue Entwicklungen in der Unternehmensorganisation* (S. 3–30).
- Spath, D., Dworschak, B. & Zaiser, H. (2016). Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0 - Weiterbildung für die Digitalisierung der produktionsnahen Arbeit. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 32 (3), S. 51–54.
- Spath, D., Dworschak, B., Zaiser, H. & Kremer, D. (2015). Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 113–124).
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0 (Studie)*.
- Steegmüller, D. & Zürn, M. (2017). Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1* (S. 27–44). Berlin, Heidelberg.
- Steute Technologies GmbH & Co. KG. (2020). *Meditec Produkte*. Zugriff am 12.06.2020 auf <https://www.steute-meditec.com/de/produkte.html>
- Stich, V., Gudergan, G. & Senderek, R. (2018). Arbeiten und Lernen in der digitalisierten Welt. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ilttermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 143–172).
- Stief, S. (2018). *Nutzen und Akzeptanz von Industrie 4.0-Anwendungen*.
- Stock, T. (2013). *Ein Verfahren zur Personalplanung und -steuerung und Restrukturierung der Aufbauorganisation für eine bedarfsorientierte und wandlungsfähige Produktion*.
- Strauß, R. E. (1996). *Determinanten und Dynamik des Organizational Learning: Zugl.: Freiburg (Breisgau), Univ., Diss., 1996*.
- Strauß, R. E. (2019). *Digitale Transformation: - Strategie, Konzeption und Implementierung in der Unternehmenspraxis*.
- Strunz, M. (2012). *Instandhaltung: - Grundlagen, Strategien, Werkstätten*.
- Tawalbeh, M., Weißflog, L. & Hopf, H. (2019). Wissensmanagement in KMU mithilfe von Assistenzsystemen: - Effizienzsteigernder Einsatz von Assistenzsystemen in KMU. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 3 (35), S. 15–18.
- TEKA Absaug- und Entsorgungstechnik GmbH. (2018). Aktuell: - Ampel-Sensor überwacht Raumluft. *Kälte Klima Aktuell (KKA)*, 37 ((Großkälte)), 4.
- TEKA Absaug- und Entsorgungstechnik GmbH. (2019). *Teka präsentiert passgenaue Lösungen für die Anlagen-Vernetzung*. Zugriff am 13.06.2020 auf http://www.schweisstechnik.at/detail/%0Bteka-praesentiert-passgenaue-loesungen-fuer-die-anlagen-vernetzung_150873
- Tschandl, M., Brunner, U. & Wilfinger, D. (2014). Logistikservice als Kernelement des Logistikcontrollings: - Performance Management des Kundennutzens. In R. Gleich & C. Daxböck (Hrsg.), *Supply Chain- und Logistikcontrolling* (S. 73–96).
- Ullrich, A. & Vladova, G. (2015). Qualifizierungsmanagement in der vernetzten Produktion - Ein Ansatz zur Strukturierung relevanter Parameter. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 57–80).
- Ungermann, F., Jacob, A., Verhaelen, B., Itterheim, A., Park, Y.-B., Stricker, N. & Lanza, G. (2019). Die Zukunft der Kennzahlensysteme: - Unternehmenssteuerung durch ein ganzheitliches KPI-Netzwerk auf Basis eines Digital Twins. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 35 (4), 25–29.
- Upton, D. M. (1994). The Management of Manufacturing Flexibility. *California Management Review*, 36 (2), 72–89.
- von See, B. & Kersten, W. (2018). Arbeiten im Zeitalter des Internets der Dinge: - Wie Qualifikation, Organisation und Führung digital transformiert werden. *Industrie 4.0 Management (I40M)*, 34 (3), 8–12.
- Weber, M. (2006). *Schnelleinstieg Kennzahlen*.
- Weinreich, U. (2016). *Lean Digitization: - Digitale Transformation durch agiles Management*.
- Werner, H. (2014). *Kompakt Edition: Supply Chain Controlling: - Grundlagen*,

Performance-Messung und Handlungsempfehlungen.

- Werner, H. C. & Gundrum, E. (2019). Führen in der Arbeitswelt 4.0. In C. Negri (Hrsg.), *Führen in der Arbeitswelt 4.0* (S. 9–16).
- Werther, S. & Bruckner, L. (2018). *Arbeit 4.0 aktiv gestalten: - Die Zukunft der Arbeit zwischen Agilität, People Analytics und Digitalisierung.*
- Westkämper, E. (1999). Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. *WT Werkstattstechnik online*, 89 (4), 131–140.
- Westkämper, E. & Decker, M. (2006). *Einführung in die Organisation der Produktion.*
- Westkämper, E. & Löffler, C. (2016). *Strategien der Produktion: - Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis.*
- Westkämper, E., Zahn, E., Balve, P. & Tilebein, M. (2000). Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. *WT Werkstattstechnik online*, 90 (1/2), 22–26.
- Wiendahl, H.-P. (2002). Wandlungsfähigkeit: Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik. *WT Werkstattstechnik online*, 92 (4), 122–127.
- Wiendahl, H.-P., Reichardt, J. & Nyhuis, P. (2014). *Handbuch Fabrikplanung: - Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten.* Hanser, Wien.
- Will-Zocholl, M. (2011). *Wissensarbeit in der Automobilindustrie: -Topologie der Reorganisation von Ingenieursarbeit in der globalen Produktentwicklung.*
- Winkelband, L. & Dworschak, B. (2018). Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0 - Anwendungsszenarien, Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 63–80).
- Winkler, M., Grau, G. & Tilebein, M. (2015). Lebenslanges Lernen - Neue Ansätze für die Textilwirtschaft. In H. Meier (Hrsg.), *Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 15–38).
- Winkler, R. (2019). *Digital Manufacturing: Wie die Wertschöpfung der Produktion in der Zukunft gelingt: - Industrie 4.0 im Spannungsfeld von Kundenanforderungen und Flexibilität.* Zugriff am 16.06.2020 auf <https://www.capgemini.com/de-de/2019/03/wertschoepfung-digitale-zukunft/>
- Wischmann, S. & Hartmann, E. A. (2018a). Prognostizierte Veränderungen der gestaltbaren Arbeitssystemdimensionen. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit* (S. 9–31).
- Wischmann, S. & Hartmann, E. A. (2018b). *Zukunft der Arbeit: - Eine praxisnahe Betrachtung.* Berlin, Heidelberg.
- Zäh, M. & Reinhart, G. (Hrsg.). (2005). *1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005).* München.
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015). *Industrie 4.0: Auf dem Weg zur smarten Fabrik - Die Elektroindustrie geht voran.*
- Zimmermann, K. (2017). Digitalisierung der Produktion durch Industrie 4.0 und ihr Einfluss auf das Arbeiten von morgen. In B. Spieß & N. Fabisch (Hrsg.), *CSR und neue Arbeitswelten* (S. 53–72).
- Zwirner, H. (2004). Von der Amöbe lernen. *McK Wissen - Das Magazin von McKinsey*, 3 (8), 56–61.