

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik  
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

## **Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation**

**Susanne Vernim**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

2. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Die Dissertation wurde am 26.05.2020 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 17.08.2020 angenommen.



# Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

*Gunther Reinhart*

*Michael Zäh*



# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München und wäre ohne die Unterstützung einer Vielzahl von Personen nicht in dieser Form zustande gekommen. Diesen Personen gilt mein größter Dank.

Ein besonderes Dankeschön gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, den beiden Institutsleitern, für ihre großzügige Unterstützung und Förderung meiner persönlichen und beruflichen Entwicklung am Institut sowie bei meiner Forschungsarbeit. Herr Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart stand mir als Doktorvater bei allen Fragen stets als konstruktiver und hilfsbereiter Diskussionspartner zur Verfügung und hat mich immer ermutigt, an das Forschungsthema zu glauben. Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh danke ich besonders für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. phil. Klaus Bengler, dem Leiter des Lehrstuhls für Ergonomie an der Technischen Universität München, für die Übernahme des Koreferats und die aufmerksame Durchsicht meiner Arbeit.

Herrn Dr.-Ing. Hendrik Schellmann sowie dem Team der Firma CLAAS KGaA mbH danke ich für die Bereitschaft bei der Evaluation meiner Methode mitzuwirken und für die interessanten Diskussionen und Einblicke im Rahmen des dort durchgeführten Workshops.

Das entscheidende Umfeld für die Erstellung der vorliegenden Arbeit bot mir zu jeder Zeit die Arbeit an unserem Institut. Die angenehme Arbeitsatmosphäre, geprägt durch eine lebendige und engagierte Arbeits- und Diskussionskultur, und das stete Miteinander der Kolleginnen und Kollegen haben mir sehr viel Spaß bereitet und mich motiviert mich kontinuierlich weiterzuentwickeln. Besonders möchte ich allen ehemaligen und aktiven Kolleginnen und Kollegen des Forschungsfeldes „Mensch in der Produktion“ für die vielen hilfreichen Diskussionen und Gespräche danken. Sandra Grohmann, Svenja Korder und Christoph Wunderling haben mit großem Einsatz eine gründliche Durchsicht meiner Arbeit vorgenommen, wofür ihnen ebenfalls mein ganz besonderer Dank gebührt.

Mit Sandra Grohmann, Cosima Stocker und Christiane Dollinger verbindet mich seit Beginn unserer Tätigkeit am Institut eine ganz besondere Freundschaft. Ich freue mich sehr, euch kennengelernt zu haben. Ihr habt meine Institutszeit ganz besonders geprägt und ich danke euch für alle bereits vergangenen und noch kommenden wunderbaren Gespräche, Momente und Erlebnisse.

Meine persönliche und berufliche Entwicklung wäre ohne meine Familie und meine Freunde niemals möglich gewesen. Insbesondere meine Eltern, mein Bruder und meine engsten Freunde, allen voran Daniela Christ, haben mich immer in meinen Entscheidungen bestärkt, mir den Rücken freigehalten und mich ermuntert meinen Weg zu gehen. Ich danke euch von Herzen dafür!

Lieber Christoph, dir gebührt am Ende mein größter Dank für die vielen Gespräche, fachlichen Diskussionen und Motivationsansprachen. Seit du in mein Leben getreten bist, hast du mich zu jeder Zeit unterstützt und mich motiviert, mir so vieles abgenommen, damit ich mich auf die Fertigstellung meiner Arbeit konzentrieren konnte, und mir mit deiner wunderbar aufmerksamen, positiven und gut gelaunten Art stets zur Seite gestanden. Ich hoffe, dass ich dir bei deinem eigenen Dissertationsvorhaben eine ebenso gute Stütze sein kann und freue mich auf unsere gemeinsame Zukunft.

Garching b. München, September 2020

*Susanne Vernim*

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Verzeichnis der Formelzeichen .....	VII
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation – Aktuelle Entwicklungen in der Produktion .....	1
1.2 Thematische Eingrenzung – Veränderung der Arbeit in der Produktion .....	5
1.3 Zielsetzung und Betrachtungsrahmen .....	7
1.4 Wissenschaftliches Vorgehen.....	9
1.4.1 Wissenschaftstheoretische Einordnung.....	9
1.4.2 Forschungsfragen.....	10
1.4.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit .....	11
<b>2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen zur Montagearbeit.....</b>	<b>13</b>
2.1 Arbeitswissenschaft.....	14
2.1.1 Gesamtsystem der Arbeitswissenschaft.....	14
2.1.2 Arbeitsanalyse.....	19
2.1.3 Arbeitssystem nach REFA.....	22
2.2 Personalentwicklung.....	26
2.2.1 Definition der Personalentwicklung .....	27
2.2.2 Zusammenhang zwischen Personalentwicklung und Arbeitsanalyse .....	28
2.2.3 Anforderungsprofile zur Personalqualifikation.....	31
2.3 Montage als Anwendungsbereich der Arbeit .....	34
2.3.1 Begriffsklärung und Abgrenzung .....	34

2.3.2	Einbindung des Personals in die manuelle Montage.....	34
<b>3</b>	<b>Stand der Erkenntnisse.....</b>	<b>37</b>
3.1	Strukturwandel in der Arbeitswelt der Produktion.....	37
3.2	Digitale Transformation in produzierenden Unternehmen und Veränderungen für die Produktionsarbeit.....	43
3.2.1	Konzept der Industrie 4.0 .....	44
3.2.2	Digitalisierungslösungen für die digitale Transformation zur Smart Factory	49
3.2.3	Zukunftsbilder für die Arbeit in produzierenden Unternehmen.....	51
3.2.4	Veränderungen der Arbeit innerhalb der manuellen Montage.....	56
3.3	Ermittlung von Anforderungen in der Personalentwicklung .....	58
3.3.1	Allgemeine Kompetenzmodelle .....	60
3.3.2	Untersuchungen zukünftiger Kompetenzen im Kontext der digitalen Transformation .....	61
3.4	Ableitung des Handlungsbedarfs und der Zielsetzung .....	64
<b>4</b>	<b>Anforderungen und Konzeption der Methode .....</b>	<b>67</b>
4.1	Anforderungen an die Methode .....	67
4.1.1	Allgemeine und anwendungsbezogene Anforderungen.....	68
4.1.2	Inhaltliche Anforderungen.....	70
4.2	Leitgedanke und Grundstruktur der Methode .....	72
<b>5</b>	<b>Konkretisierung und Entwicklung der Methode.....</b>	<b>75</b>
5.1	Kapitelüberblick – Gesamtheit der Methode.....	75
5.2	Baustein 1 – Zukünftige Gestaltung des Montagesystems .....	77
5.2.1	Werkzeug 1.1: Systemdarstellung des manuellen Montagearbeitsplatzes.....	78
5.2.2	Werkzeug 1.2: Trendliste.....	83
5.2.3	Werkzeug 1.3: Verknüpfungsmatrix I – Trends und Elemente des Arbeitssystems .....	104

5.3	Baustein 2 – Anforderungen an das zukünftige Montagepersonal.....	109
5.3.1	Werkzeug 2.1: Anforderungskatalog.....	110
5.3.2	Werkzeug 2.2: Verknüpfungsmatrix II – Veränderte Arbeit und Anforderungen an das Montagepersonal in der Smart Factory .....	127
5.4	Baustein 3 – Ganzheitliches Anforderungsprofil und Entwicklungsbedarf des zukünftigen Montagepersonals.....	129
5.4.1	Werkzeug 3.1: Gestaltungsrichtlinien für Anforderungsprofile .....	130
5.4.2	Werkzeug 3.2: Handlungsempfehlungen auf Basis des Soll-Ist-Vergleichs	132
<b>6</b>	<b>Anwendung und Evaluation der Methode.....</b>	<b>135</b>
6.1	Industrielle Anwendung der Methode.....	135
6.1.1	Charakterisierung des Anwendungsbereichs in der Montage .....	136
6.1.2	Anwendung der Methode .....	137
6.1.3	Feedback zur Methode durch die Anwender .....	145
6.2	Evaluation und Diskussion der Forschungsergebnisse.....	147
6.2.1	Validierung der gestellten Anforderungen .....	147
6.2.2	Anpassungsbedarf zur Übertragung auf andere Unternehmen und Anwendungsfelder .....	150
6.2.3	Aufwand-Nutzen-Bewertung.....	153
6.2.4	Kritische Diskussion der entwickelten Methode.....	155
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>159</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>161</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>187</b>



# Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitsplatz
AR	Augmented Reality
AS	Arbeitssystem
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BWL	Betriebswirtschaftslehre
CPS	Cyber-physisches System
CRM	Customer Relationship Management
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DMM	Domain-Mapping-Matrix
DRM	Design Research Methodology
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FFM	Five-Factors-Modell
FT	Funktionsteilung
FTS	Fahrerloses Transportsystem
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Englisch für <u>I</u> nternet of <u>T</u> hings (deutsch: Internet der Dinge)
IT	Informationstechnologie
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
Jhd.	Jahrhundert
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KOMPASS	Bezeichnung eines Arbeitsanalyseverfahrens (Komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen)
MES	Manufacturing-Execution-System
MMS	Mensch-Maschine-System
QR-Code	Quick-Response-Code
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V. (früher: <u>R</u> eichsausschuss für <u>A</u> rbeitszeitermittlung)

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

RFID	Radio-frequency identification
ROI	Return on Invest
SF	Smart Factory
VM	Verknüpfungsmatrix
VR	Virtual Reality
VUCA	Englisches Akronym für <u>V</u> olatility, <u>U</u> ncertainty, <u>C</u> omplexity, <u>A</u> mbiguity
VWL	Volkswirtschaftslehre

# Verzeichnis der Formelzeichen

## *Bibliometrische Analyse*

$GP$	Gewichtungsfaktor der Publikationen für den Anforderungskatalog
$f_a$	Faktor zur Berücksichtigung der Aktualität einer Publikation
$f_h$	Faktor zur Berücksichtigung der Qualität einer Publikation
$f_p$	Faktor zur Berücksichtigung des Praxisbezugs einer Publikation
$h$	Hirsch-Faktor / Hirsch-Index zur Angabe des Renommées von Autoren
$N$	Gesamtanzahl von Publikationen eines Autors / einer Autorin

## *Verknüpfungsmatrix I (VM I)*

$GF$	Gewichtungsfaktor der VM I
$i$	Laufvariable der Zeilen
$j$	Laufvariable der Spalten
$M$	Anzahl für die Digitalisierungstrends (= Anzahl der Zeilen der VM I)
$m$	Parameter für die Digitalisierungstrends (= Zeilen der VM I)
$n$	Parameter für die Arbeitsbewertungskriterien (= Spalten der VM I)
$z$	Zellenwert der VM I

## *Verknüpfungsmatrix II (VM II)*

$a$	Parameter für die Anforderungen (= Spalten der VM II)
$A$	maximale Veränderung der Anforderung
$BF$	Bewertungsfaktor der VM II
$i$	Laufvariable der Zeilen
$j$	Laufvariable der Spalten
$n$	Parameter für die Arbeitsbewertungskriterien aus VM I (= Zeilen der VM II)
$x$	Zellenwert der VM II



# 1 Einleitung

*“Wenn wir zuerst wüssten, wo wir sind und wohin wir streben,  
könnten wir besser beurteilen, was wir tun und wie wir es tun sollten.”*  
*(Abraham Lincoln, 1809 – 1865)*

Dieses Zitat, aus dem Englischen frei übersetzt nach MOORE (2019), zeigt, wie wichtig es ist, den eigenen Fortschritt oder Standpunkt zu kennen, bevor ein weiteres Vorgehen geplant wird. Darüber hinaus ist es sinnvoll, zuerst ein Ziel festzulegen, welches erreicht werden soll, bevor Maßnahmen für das weitere Vorgehen beschlossen werden. Besonders für produzierende Unternehmen sollte dieser Leitsatz von höchster Bedeutung sein. So wird sichergestellt, dass das Ziel auf direktem Wege erreicht wird und weder Zeit noch Geld oder Kapazitäten verschwendet werden, um dorthin zu gelangen. Die vorliegende Arbeit und die in ihr entwickelte Lösung folgen diesem Grundsatz.

## 1.1 Motivation – Aktuelle Entwicklungen in der Produktion

Produzierende Unternehmen tragen seit jeher signifikant zum wirtschaftlichen Erfolg Deutschlands bei (ABELE & REINHART 2011, S. 6). Gerade der Automobilbau und der Maschinen- und Anlagenbau gelten in diesem Kontext schon seit jeher als zwei der Treiber für technologischen Fortschritt innerhalb der Produktion (ABELE & REINHART 2011, S. 7). Seit dem 18. Jahrhundert durchlief die industrielle Produktion mehrere Entwicklungsstufen, welche enorme strukturelle Veränderungen in den Unternehmen hervorriefen. Die erste der in Abbildung 1-1 dargestellten industriellen Revolutionen führte, getrieben durch die Erfindung der Dampfmaschine, zu einer Mechanisierung der Produktion. Somit wurde an vielen Stellen die menschliche oder tierische Muskelkraft ersetzt und die Arbeitsbedingungen verbesserten sich deutlich. Durch die Nutzbarmachung elektrischer Energie stieg die

Produktion unterschiedlichster Güter erneut sprunghaft an und das Zeitalter der Massenfertigung wurde eingeläutet. (BAUERNHANSL 2014, S. 5) Gefördert durch ständig steigende Stückzahlen entwickelte sich in den USA der Taylorismus, welcher eine strikte Trennung von Hand- und Kopfarbeit proklamierte und einzelne Arbeitsschritte feingranular aufteilte und vorplante. Einer der Vorreiter dieser zweiten industriellen Revolution war Henry Ford, der es durch geschickte Arbeitsteilung und Automatisierung schaffte, das Ford-Modell T in großen Stückzahlen zu produzieren. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde die dritte Revolution durch den zunehmenden Einsatz von Elektronik und der Informationstechnologie (IT) ausgelöst. (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. XXXII) Auf dieser Basis wurde eine fortschreitende Automatisierung der Produktionsprozesse möglich, was einerseits eine Rationalisierung, andererseits eine zunehmend variantenreiche Serienfertigung erlaubte (BAUERNHANSL 2014, S. 7). Zur Sicherung und Stärkung der Industrie in Deutschland verabschiedete die Bundesregierung im Jahr 2011 das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“, mit welchem aktuelle Trends der sich auch heute noch rasant weiterentwickelnden Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in industrielle Produktionssysteme gebracht werden sollen (RAMSAUER 2013, S. 7).

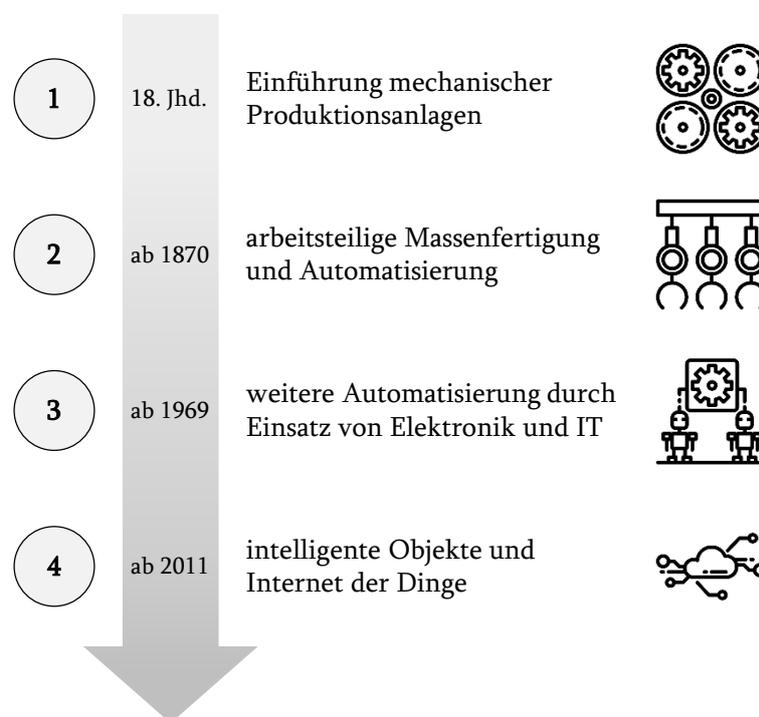


Abbildung 1-1: Gesamtheit der bisherigen technologiegetriebenen Entwicklungen/Revolutionen der Industrie in Anlehnung an REINHART & ZÜHLKE (2017, S. XXXI)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Urheberinformationen zu den verwendeten Icons sind im Anhang B zu finden.

**Industrie 4.0**, wie die vierte industrielle Revolution auch genannt wird, kann nicht in einem Satz beschrieben oder gar definiert werden, da sie sich durch eine Vielzahl von Entwicklungen und Trends auszeichnet. Der Kern ist das Internet der Dinge mit seinen vielfältigen Möglichkeiten, Ressourcen, Dienste und Menschen in Echtzeit zu vernetzen und die IT in Bezug auf Rechenleistung, Datenhaltung und Kommunikation auszuschöpfen. Im Wesentlichen revolutioniert die Industrie 4.0 die Produktionstechnik durch die horizontale Vernetzung in Wertschöpfungssystemen, durch die vertikale Integration mechatronischer Systeme hin zu Cyber-physischen Systemen (CPS) sowie durch die Echtzeit-Optimierung komplexer Wertschöpfungssysteme. (BAUERNHANSL ET AL. 2016, S. 6)

Der Begriff Industrie 4.0 wird jedoch zunehmend abgelöst bzw. zumindest gleichgesetzt mit dem Begriff **Digitalisierung**, welcher in seiner technischen Interpretation die Überführung von Informationen einer analogen in eine digitale Speicherform bedeutet (HESS 2019). Im Umfeld produzierender Unternehmen wird unter der Digitalisierung ganz allgemein die Einführung entsprechender Technologien verstanden, welche die digitale Transformation der Unternehmen vorantreiben (HESS 2019). WOLF & STROHSCHEN (2018, S. 58) konkretisieren dieses Verständnis dahingehend, dass mittels Digitalisierung eine analoge Leistungserbringung ganz oder teilweise ersetzt wird, indem die Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell erfolgt. Dies wiederum ermöglicht, wie im Abschnitt zuvor beschrieben, eine zunehmende horizontale<sup>2</sup> und vertikale<sup>3</sup> Vernetzung der Elemente innerhalb der Produktionsumgebungen (KAGERMANN ET AL. 2013B, S. 24). Die intensive Vernetzung erlaubt eine weitreichende Kommunikation innerhalb der Produktionssysteme, an welcher sowohl Menschen als auch Maschinen und Ressourcen beteiligt sind (KAGERMANN ET AL. 2013B, S. 23). Durch den Einsatz dezentraler Sensorik und Aktorik sowie die Anbindung der Elemente an das Internet entstehen soziotechnische Systeme, welche über eine eigene Intelligenz verfügen und in der Lage sind, selbstständig zu agieren (SPATH ET AL. 2012, S. 51). Der Mensch wird über verschiedene Mensch-Maschine-Schnittstellen mit diesen Systemen verbunden und kann mit ihnen interagieren (BAUERNHANSL ET AL. 2014, S. 16).

---

<sup>2</sup> Horizontale Vernetzung (auch Integration) bezeichnet die Integration verschiedener IT-Systeme für unterschiedliche Prozessschritte einer Hierarchieebene innerhalb eines Unternehmens oder über mehrere Unternehmen hinweg zu einer durchgängigen Lösung (KAGERMANN ET AL. 2013B, S. 24).

<sup>3</sup> Vertikale Vernetzung (auch Integration) bezeichnet die Integration verschiedener IT-Systeme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen zu einer durchgängigen Lösung (KAGERMANN ET AL. 2013B, S. 24).

Es entsteht eine vernetzte und intelligente Fabrik, die sogenannte *Smart Factory*. Sie ist konzeptionell in Abbildung 1-2 dargestellt. Aufgrund ihrer Eigenschaften wird von einer solchen Fabrik eine geringere Störanfälligkeit, ein besserer Umgang mit Komplexität und generell eine Effizienzsteigerung in der Produktion erwartet (KAGERMANN ET AL. 2013B, S. 23). Dies wird durch eine enge vertikale Vernetzung erreicht, bei der die Softwaresysteme (beispielsweise Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP) und Manufacturing-Execution-Systeme (MES)) auf unterschiedlichen Hierarchieebenen im Unternehmen eng miteinander verbunden sind und daher problemlos miteinander interagieren können. Analog dazu kann die Vernetzung auch horizontal, also zwischen verschiedenen Unternehmen der Wertschöpfungskette, realisiert sein. LUCKE ET AL. (2008, S. 116) definieren die Smart Factory als eine Fabrik, die Menschen und Maschinen kontextsensitiv bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten unterstützt. Dies ist möglich, indem sie Informationen aus der physischen bzw. analogen Welt in die virtuelle (= digitale) Welt überträgt und verarbeitet (LUCKE ET AL. 2008, S. 116).

Eine ausführliche Darstellung dieser Entwicklungen und Zusammenhänge erfolgt in den Abschnitten 3.1 und 3.2.

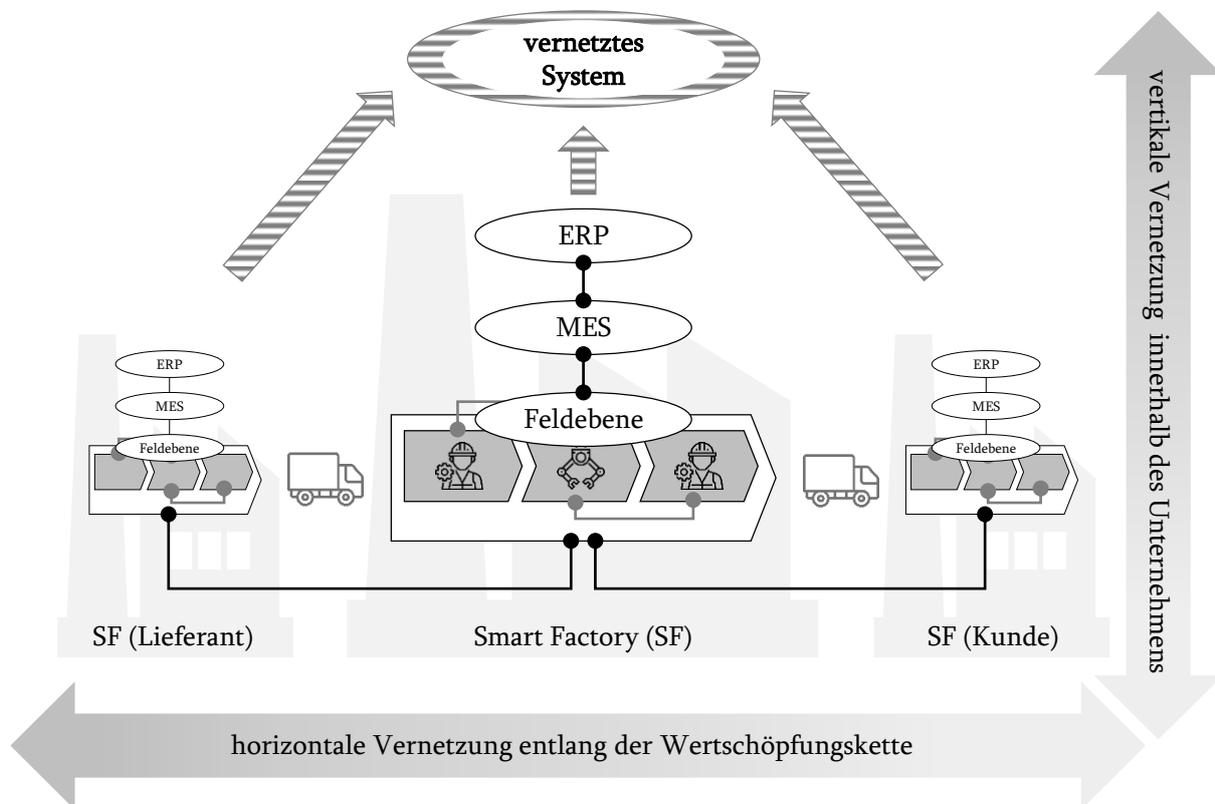


Abbildung 1-2: Horizontale und vertikale Vernetzung in der Smart Factory in Anlehnung an KAGERMANN ET AL. (2013B, S. 24) und SCHUH ET AL. (2017, S. 18 ff.)

Gleichzeitig wirken tiefgreifende technologische Veränderungen auch auf die Arbeitsbedingungen und die erforderlichen Qualifikationsprofile der Beschäftigten. Neben der höheren Autonomie und Produktivität der technischen Systeme muss häufig ein Arbeitskräftemangel kompensiert und die höhere Produkt- und Prozesskomplexität beherrscht werden. (BEHRENS ET AL. 2017, S. 4) Diese Betrachtung erfolgt ebenfalls im weiteren Verlauf der Arbeit (Abschnitt 3.2.4).

## 1.2 Thematische Eingrenzung – Veränderung der Arbeit in der Produktion

Die technologischen Weiterentwicklungen der vergangenen industriellen Revolutionen beeinflussten die Produktionsbelegschaft auf unterschiedliche Art und Weise. Während der ersten und zweiten industriellen Revolution wurden besonders die Arbeitsbedingungen der Fabrikbeschäftigten deutlich verbessert. Die extreme Ausbeutung, sowohl körperlicher als auch finanzieller Art, wurde langsam durch erste Arbeitsschutzmaßnahmen, verkürzte Arbeitszeiten und die Arbeitserleichterung durch maschinelle Unterstützung reduziert. (SCHLICK ET AL. 2018, S. 386 f.) Mit der zunehmenden Automatisierung während der dritten industriellen Revolution wurden diese Entwicklungen noch einmal verstärkt. Zusätzlich verschoben sich die Aufgabenprofile innerhalb der Fabrik. Besonders monotone, sich ständig wiederholende Arbeitsschritte wurden vermehrt automatisiert und führten zu einem Wegfall einfacher Tätigkeiten. Gleichzeitig stieg der Bedarf nach gut ausgebildeten Fachkräften, welche die stets komplexer werdenden Produktionssysteme entwickeln, einrichten, überwachen und warten konnten. (BEHRENS ET AL. 2017, S. 4)

Die Montage ist in produzierenden Unternehmen für bis zu 70 % der Wertschöpfung verantwortlich, wobei der Zeitanteil 15 % bis 70 % der Gesamtbearbeitungszeit betragen kann. Diese Kennzahlen verdeutlichen, dass die Montage einen Schwerpunkt innerhalb der Produktion einnimmt und von den eingangs beschriebenen Veränderungen signifikant betroffen ist. (ABELE & REINHART 2011, S. 99) Die Arbeitsaufgaben des dort tätigen Personals sind geprägt durch sehr kurze Taktzeiten und eine hohe Komplexität, die aus einer großen Variantenanzahl resultiert (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 3 ff.).

Durch die digitale Transformation und den damit einhergehenden vermehrten Einsatz neuer Technologien verändern sich die Tätigkeiten der Montagebelegschaft, was dazu

führt, dass auch andere Anforderungen an ihre Qualifikation gestellt werden. Gleichzeitig bewirken gesellschaftliche Entwicklungen einen größer werdenden Fachkräftemangel, so dass es für Unternehmen wichtiger wird, für zukünftige Herausforderungen die richtigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu gewinnen und weiterzuentwickeln. Dies ist eine zentrale Aufgabe der Personalentwicklung, welche darauf basiert, dass im Unternehmen eine möglichst exakte Kenntnis darüber besteht, welche Anforderungen das Produktionspersonal zukünftig erfüllen muss.

Hier herrscht jedoch derzeit viel Unsicherheit bei Unternehmen und ihrer Belegschaft, wenn die digitale Transformation der Prozesse bisher kaum oder nur wenig fortgeschritten ist. In diesen Fällen ist es schwer abzuschätzen, inwiefern sich die Arbeit in der Produktion verändern wird, wenn solche Systeme eingeführt werden. Typische Fragen, die in diesem Kontext gestellt werden, sind:

- Wird sich die Arbeit bzw. die Tätigkeit des Mitarbeitenden durch das digitale System überhaupt verändern? Und wenn ja, welche Arten von Veränderungen werden eintreten?
- Wie und in welchem Maß wirken sich die Veränderungen auf die Anforderungsprofile der Belegschaft aus?
- Welche neuen Tätigkeiten kommen gegebenenfalls am Arbeitsplatz hinzu oder entfallen? Ist hierfür eine Weiterqualifizierung nötig?
- Bewirken die veränderten Anforderungen eine höhere oder niedrigere Eingruppierung der Tätigkeit in die Gehaltsgruppen?

Um diese Fragen ausreichend detailliert beantworten zu können und die Belegschaft entsprechend für die Zukunft vorzubereiten, brauchen Unternehmen eine genaue Vorstellung davon, wohin ihre individuelle Entwicklung im Kontext der Digitalisierung geht.

Um Anforderungsprofile für Arbeitsplätze abzuleiten, wird typischerweise eine Arbeits- und Tätigkeitsanalyse für den betroffenen Arbeitsplatz und die beschäftigte Person durchgeführt. Im aktuell stattfindenden digitalen Wandel innerhalb der Unternehmen sind diese Analysen aber nicht bzw. kaum möglich, da zu wenig konkrete Kenntnisse darüber bestehen, wie der zukünftige Arbeitsplatz in einer digitalen, vernetzten und smarten Fabrik aussieht (HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL 2017, S. 361). Unternehmen brauchen aus diesem

Grund Unterstützung bei der Abschätzung zukünftiger Szenarien, um sie mit geeigneten Maßnahmen zu erreichen.

### 1.3 Zielsetzung und Betrachtungsrahmen

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Unsicherheit über die zukünftige Gestaltung manueller Montagearbeitsplätze hemmt die Personalentwicklung in produzierenden Unternehmen, frühzeitig passende Qualifizierungsmaßnahmen für ihre Angestellten anzubieten. Die dadurch fehlende Transparenz führt zu Unsicherheit für das Unternehmen und die Belegschaft und verzögert sowie erschwert gegebenenfalls die erfolgreiche Umsetzung digitaler Veränderungsprojekte.

Daher liegt die übergeordnete Zielstellung dieser Forschungsarbeit darin, ***produzierende Unternehmen zu befähigen, effektiv und effizient die benötigte Personalsituation für die manuelle Montage in der digitalen Transformation zu schaffen***. Effektivität bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Unternehmen die richtigen Maßnahmen ergreift, um für zukünftige Arbeitssysteme und die darin anfallenden Tätigkeiten auf die richtigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit den richtigen Anforderungsprofilen zugreifen zu können. Effizienz wird bei der Personalentwicklung erreicht, wenn der Aufwand zur Weiterentwicklung des Personals möglichst gering im Vergleich zum erzielten Nutzen ist. Das bedeutet, dass Personalentwicklungsmaßnahmen zu den benötigten Themen bzw. für die richtigen Beschäftigten durchgeführt werden. Also dort, wo mit möglichst geringem Weiterbildungsaufwand die richtige Personalqualifikation erreicht werden kann.

Um dieses übergeordnete Ziel zu erreichen, müssen die folgenden Teilziele erreicht werden:

#### TZ 1 *Schaffung einer konkreten Vorstellung des zukünftigen Arbeitssystems*

Es wird ein Vorgehen benötigt, mit dessen Hilfe Unternehmen in der Lage sind, qualifiziert die Gestaltung eines zukünftigen Arbeitssystems abzuschätzen.

#### TZ 2 *Ableitung von Personalanforderungen für das zukünftige Arbeitssystem*

Hierfür bedarf es eines Werkzeugs zur Auswahl der benötigten Personalanforderungen auf Basis der zuvor entwickelten Gestaltungsvorstellung des zukünftigen Arbeitssystems.

TZ 3 *Definition von Personalentwicklungsmaßnahmen für betroffene Mitarbeitende*

Um die passenden Personalentwicklungsmaßnahmen zu definieren, wird eine Vorgehensweise zur strukturierten Ermittlung der Weiterbildungsbedarfe benötigt.

Die vorliegende Forschungsarbeit trägt zur Erreichung dieser Teilziele der Unternehmen bei, indem sie eine Methode zur Verfügung stellt, welche es erlaubt, eine Anforderungsanalyse für zukünftige Montagearbeitsplätze in einer Smart Factory durchzuführen. Auf Basis dieser Ergebnisse können gezielt ganzheitliche Anforderungsprofile für die Montage-mitarbeiterinnen und -mitarbeiter erarbeitet werden. Somit wird es für Unternehmen einfacher, ihre Belegschaft zielgerichtet weiterzuentwickeln und sie für technologische Veränderungen an ihren Arbeitsplätzen zu qualifizieren.

Innerhalb der Methode müssen drei Schritte durchlaufen werden:

Schritt 1: *belastbares Zukunftsbild für einen zukünftigen Montagearbeitsplatz ermitteln*

Schritt 2: *neue Anforderungen an das Personal am zukünftigen Montagearbeitsplatz bestimmen*

Schritt 3: *ganzheitliches Anforderungsprofil für die Mitarbeitenden erarbeiten und Entwicklungsbedarf ableiten*

Für jeden Schritt werden den Anwendern<sup>4</sup> in der Methode die nötigen Werkzeuge zur Durchführung an die Hand gegeben. Die wissenschaftliche Erarbeitung dieser Werkzeuge und ihre Validierung in der industriellen Praxis sind der Fokus der vorliegenden Arbeit.

Die hierfür entwickelte Methode ist so konzipiert, dass sie für produzierende Unternehmen in verschiedenen Branchen anwendbar ist. Der Betrachtungsrahmen für die inhaltliche Umsetzung wird im Folgenden explizit auf die Montage eingeschränkt, da nur so der nötige Grad an Konkretheit in der Beschreibung der technologischen Veränderungen und der Ausgestaltung der zukünftigen Arbeitsplätze geschaffen werden kann. Inwiefern die Methode auch in anderen Produktionsbereichen, wie beispielsweise der Teilefertigung, eingesetzt werden kann, wird im Abschnitt 6.2.2 beschrieben. Das generelle Vorgehen zur Entwicklung der Methode kann darüber hinaus auch auf andere Unternehmensbereiche außerhalb der Produktion, wie die Logistik, übertragen werden.

---

<sup>4</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird die männliche Form verwendet. Personen jeglichen Geschlechts sind jedoch gleichermaßen angesprochen.

## 1.4 Wissenschaftliches Vorgehen

Im folgenden Abschnitt wird das wissenschaftliche Vorgehen beschrieben und die Forschungsmethodik erläutert, nach welcher die vorliegende Arbeit erstellt wurde. Auf Basis der im Abschnitt 1.3 erläuterten Teilziele erfolgt die übergeordnete wissenschaftstheoretische Einordnung, bevor das konkrete Forschungsvorgehen, welches zur Beantwortung der identifizierten Forschungsfragen herangezogen wurde, und der Aufbau der Arbeit vorgestellt wird.

### 1.4.1 Wissenschaftstheoretische Einordnung

Nach ULRICH & HILL (1976A, S. 305) wird in der Forschung grundsätzlich zwischen Grundlagenwissenschaften und angewandten Wissenschaften unterschieden. Während erstere versuchen Erklärungsmodelle zu bilden und empirische Wirklichkeitsausschnitte zu erklären, steht in der angewandten Forschung die Analyse menschlicher Handlungsalternativen im Vordergrund, mit dem Zweck, soziale und technische Systeme zu gestalten. Dabei wird das praktische Ziel verfolgt, Entscheidungsmodelle bzw. -prozesse zu entwickeln. (ULRICH & HILL 1976A, S. 305) Die vorliegende Forschungsarbeit lässt sich der angewandten bzw. nach ULRICH (1982, S. 1) der anwendungsorientierten Wissenschaft zuordnen, da ein Verfahren für das praktische Handeln entwickelt wird, welches sich auf Erkenntnisse der Grundlagenwissenschaften stützt. Das in dieser Arbeit zu lösende Problem entstammt der Praxis, liegt also außerhalb der Wissenschaft, was ebenfalls die Einordnung als anwendungsorientierte Forschung unterstreicht (ULRICH 1982, S. 3 f.).

Die Verwendung von Forschungsmethoden sichert stichhaltige und relevante Forschungsergebnisse und ermöglicht es der Leserschaft, die Ergebnisse nachzuvollziehen und zu beurteilen. Im Verlauf des Forschungsprozesses können nach ULRICH & HILL (1976B, S. 347 f.) den Forschungsaktivitäten drei unterschiedliche Aufgabenstellungen zugeordnet werden:

- Terminologisch-deskriptive Aufgaben: Sie befassen sich mit der Beschreibung der Forschungsobjekte und der Schaffung eines geeigneten Begriffssystems hierfür.
- Empirisch-induktive Aufgaben: Bei diesen Aktivitäten werden beobachtbare Zusammenhänge empirisch-statistisch untersucht und induktiv Hypothesen abgeleitet, indem Einzelbeobachtungen generalisiert und empirisch überprüft werden.

- Analytisch-deduktive Aufgaben: Hierzu gehören alle logischen Schritte, die ohne induktive Schlussfolgerungen auskommen, beispielsweise die deduktive Konstruktion von Modellen und ihre analytische Auswertung.

Die inhaltliche Ausarbeitung der vorliegenden Ergebnisse erfolgte durch die von BLESSING & CHAKRABARTI (2009) beschriebene Design Research Methodology (DRM). Dieses Vorgehen besteht aus vier Phasen, Research Clarification, Descriptive Study I, Prescriptive Study und Descriptive Study II, welche nicht unbedingt der Reihe nach durchlaufen werden müssen. Sie können parallel zueinander oder iterativ durchgeführt werden. Es kann in einer beliebigen Phase begonnen werden oder es können innerhalb eines Forschungsvorhabens nur bestimmte Phasen berücksichtigt werden. Je nachdem in welchem Umfang und wie die vier Phasen kombiniert werden, unterscheiden die Autoren verschiedene Typen von Forschungsarbeiten. Dissertationsvorhaben sind in den meisten Fällen den Typen 2 und 3 zugeordnet. Beim Typ 2 handelt es sich um Forschungsarbeiten, in denen eine umfassende Studie der gegenwärtigen Situation erstellt wird, während in Typ 3 noch eine konkrete Lösung für eine Problemstellung erarbeitet wird. Beide Typen zeichnen sich dadurch aus, dass im Anschluss an die Generierung der Inhalte keine umfassende Bewertung dieser mehr stattfindet. Dies wäre in einer Arbeit vom Typ 4 der Fall. (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 17 ff.)

Welchem Typ die vorliegende Arbeit zuzuordnen ist und wie die inhaltlichen Bausteine den Phasen der DRM zugeordnet werden können, wird im Abschnitt 1.4.3 dargestellt.

### 1.4.2 Forschungsfragen

Um die im Abschnitt 1.3 erläuterten Ziele zu erreichen, orientiert sich das Forschungsvorhaben an den folgenden Forschungsfragen. Sie adressieren die Aspekte der vorgestellten Teilziele. Erst durch das Zusammenspiel und das Erreichen der Teilziele wird die übergeordnete Zielstellung erreicht.

FF 1 *Welche Trends im Umfeld produzierender Unternehmen sind ausschlaggebend für die Transformation in eine Smart Factory und welche davon beeinflussen in welchem Maß das Arbeitssystem und die darin durchzuführende Arbeit?*

- FF 2 *Mittels welcher methodischen Vorgehensweise können diese Einflüsse auf die Arbeit im beschriebenen Arbeitssystem möglichst quantitativ bestimmt werden?*
- FF 3 *Durch welchen methodischen Ansatz können die Auswirkungen der veränderten Arbeit auf die Anforderungsprofile der Mitarbeitenden bestimmt werden?*
- FF 4 *Welche Gestaltungsrichtlinien müssen für die Erstellung eines zukünftigen Anforderungsprofils für das Montagepersonal berücksichtigt werden und welche Rückschlüsse können aus diesem Profil hinsichtlich des Qualifizierungsbedarfs gezogen werden?*

Im Abschnitt 5.1 wird genauer erläutert, wie die einzelnen Forschungsfragen in die Gesamtheit der entwickelten Methode einzuordnen sind.

### 1.4.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel eine konkrete Lösung für einen Handlungsbedarf aus der industriellen Praxis zu schaffen. Sie entspricht damit einer Arbeit vom Typ 3 gemäß der Design Research Methodology nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009). Abbildung 1-3 stellt den Zusammenhang zwischen den Phasen der DRM und den Kapiteln und Abschnitten dieser Arbeit dar. Die Klärung der Forschungsziele (Research Clarification), zu denen auch die Definition zu erreichender Anforderungen gehört, erfolgt terminologisch-deskriptiv auf Basis einer Literaturrecherche. Das Ziel dieser Phase ist die Festlegung realistischer und lohnenswerter Ziele für die eigene Forschung (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 30).

Die deskriptive Studie I (Descriptive Study I) dient dazu, ein vertieftes Verständnis des eigenen Forschungsumfelds zu gewinnen sowie die Forschungslücke zu identifizieren (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 32). Auch in dieser Phase wurde vor allem literaturbasiert gearbeitet, wobei die Erkenntnisse dieser Recherche in einer Vielzahl an Gesprächen mit Vertretern aus der Industrie verifiziert wurden.

Die Konzeption und Beschreibung des Aufbaus der Methode erfolgt in der Phase der präskriptiven Studie (Prescriptive Study). Das Ziel dieser Phase ist es, eine konkrete Lösung für die eingangs beschriebenen Forschungsziele zu entwickeln. Dabei wurde diese Lösung nicht nur konzeptionell geschaffen, sondern auch in Form von Katalogen, Vorlagen und

Vorgehensschemata praktisch umgesetzt. (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 35) Die Grundlagen für die Erarbeitung der Bausteine wurden auf der Basis von Fachliteratur geschaffen. Die inhaltliche Ausarbeitung erfolgte vor allem analytisch-deduktiv.

Großer Wert wird neben der wissenschaftlichen Herleitung der Methodenschritte auf die praxisnahe Evaluierung ihrer Durchführung gelegt. Dies erfolgt in der deskriptiven Studie II (Descriptive Study II), welche der Bewertung der erarbeiteten Lösung dient. Dazu werden in der Regel empirische Daten analysiert und daraus Ergebnisse sowie weitere Verbesserungspotenziale abgeleitet. (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 37 f.)

Forschungsmethode		Umsetzung der Arbeit		
Phase	Art	Forschungsansatz	Inhalt	Kapitel / Abschnitt
Klärung der Forschungsziele	terminologisch-deskriptiv	literaturbasiert	• Motivation und Zielsetzung	1.1, 1.3
			• Forschungsmethoden und Forschungsfragen	1.4
deskriptive Studie I	terminologisch-deskriptiv	literaturbasiert	• Anforderungen	4.1
			• Themenverständnis/ Grundlagen	2
			• Literaturstudie	3
präskriptive Studie	analytisch-deduktiv	umfassend	– Digitale Transformation	3.1, 3.2
			– Anforderungsermittlung	3.3
			• Forschungslücke	3.4
			• Gesamtkonzept der Methode	4.2
			• Vorgehen zur Anforderungsermittlung:	5
			– Arbeitssystem	5.2
– Trendliste	5.2			
– Verknüpfungsmatrix 1 & 2	5.2, 5.3			
– Anforderungskatalog	5.3			
– Anforderungsprofil	5.4			
deskriptive Studie II	empirisch-induktiv	initial	• Anwendung	6.1
			• Evaluation	6.2
			• Nutzenbewertung und Verbesserungspotenzial	6.2

Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit und Einordnung der Inhalte in die angewendete Forschungsmethode nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009)

## 2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen zur Montagearbeit

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für das Verständnis der vorliegenden Arbeit geschaffen. Neben der Erläuterung relevanter Begrifflichkeiten und Zusammenhänge wird auch der Betrachtungsrahmen der Arbeit, die Montage, näher beschrieben. Zunächst wird der Bereich der Arbeitswissenschaft erläutert (Abschnitt 2.1). In diesem Zuge wird der Begriff „Arbeit“ definiert und in den Gesamtzusammenhang des Systems „Arbeitswissenschaft“ eingeordnet (Abschnitt 2.1.1). Im Weiteren wird das Grundkonzept und die generelle Zielsetzung einer Arbeitsanalyse (Abschnitt 2.1.2) sowie das Arbeitssystem nach REFA (Abschnitt 2.1.3) erläutert.

Die Grundlagen im Bereich der Personalentwicklung werden im Abschnitt 2.2 vermittelt. Hierbei erfolgt zunächst eine Definition dieses Aufgabenbereichs im Unternehmen (Abschnitt 2.2.1), anschließend werden die Ziele der Personalentwicklung und ihr Zusammenhang zur Arbeitsanalyse (Abschnitt 2.2.2) beschrieben und die Funktion von Anforderungsprofilen im Kontext der Personalqualifikation (Abschnitt 2.2.3) detailliert.

Der Fokus bei der Betrachtung der genannten Themenbereiche ist stets die Produktion. In der betriebswirtschaftlichen Sicht wird diese nach KISTNER & STEVEN (2002, S. 18) als die „Kombination von Gütern und Dienstleistungen und deren Transformation in andere Güter und Dienstleistungen“ verstanden. Die ingenieurwissenschaftlichere, und somit für diese Arbeit relevantere, Definition beschreibt Produktion als alle wirtschaftlichen, technologischen und organisatorischen Maßnahmen, die unmittelbar mit der Be- und Verarbeitung von Stoffen zusammenhängen. Dazu gehören auch der innerbetriebliche Transport und die Bereitstellung der Stoffe, Bauteile und Produkte. (EVERSHEIM 1992, S. 2058) Im Unternehmen wird die Produktion typischerweise in die beiden Bereiche Fertigung und Montage unterteilt. Die vorliegende Arbeit betrachtet die manuelle Montage als Anwendungsfall. Auf die Besonderheiten sowie die Einbeziehung der Arbeitsperson wird im Abschnitt 2.3 näher eingegangen.

## 2.1 Arbeitswissenschaft

Bei der Untersuchung bzw. Optimierung der Produktionsarbeit, spielen sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis die Begriffe Arbeitswissenschaft und Arbeitsanalyse eine wichtige Rolle. Aufgrund der vielfältigen Verwendungsarten der beiden Begriffe und der zunehmenden Häufigkeit ihrer Verwendung wird in den folgenden Abschnitten erläutert, welche Begriffsdefinitionen für das Verständnis in dieser Arbeit herangezogen wurden und inwiefern die Arbeitsanalyse ein Teil der Arbeitswissenschaft ist. Auch wenn die Beschreibungen und Zusammenhänge der Begrifflichkeiten häufig allgemeingültig sind, sind sie in dieser Dissertation immer im Hinblick auf die Arbeit in der Produktion zu verstehen. Sämtliche Konzepte und Begrifflichkeiten lassen sich darauf anwenden bzw. übertragen.

### 2.1.1 Gesamtsystem der Arbeitswissenschaft

Das einfachste Verständnis von Arbeitswissenschaft ist die Interpretation als Wissenschaft von der menschlichen Arbeit (HETTINGER & BECKER 1993, S. 13). Dieses ist jedoch so allgemeingültig, dass eine Einschränkung auf eine bestimmte Art der Arbeit getroffen werden muss, um die inhaltliche Bedeutung des Begriffs zu klären, da der Mensch in verschiedener Hinsicht Arbeit verrichten kann. Neben der Arbeit im beruflichen Kontext gehört zum weitesten Verständnis der Arbeitswissenschaft auch die Arbeit des Menschen im Privatleben, wie beispielsweise zu Hause oder bei seinen Hobbies. (HETTINGER & BECKER 1993, S. 13) Für die vorliegende Dissertation ist jedoch, wie bereits eingangs erwähnt, lediglich der Betrachtungsbereich der beruflich geprägten Arbeitswissenschaft und der Bereich der Produktion relevant.

#### **Definition und Abgrenzung des Begriffs „Arbeit“**

*Arbeit* wird nach SEMMER & UDRIS (2004, S. 158) definiert als „zielgerichtete menschliche Tätigkeit zum Zwecke der Transformation und Aneignung der Umwelt auf Grund selbst- oder fremddefinierter Aufgaben mit gesellschaftlicher – materieller oder ideeller – Bewertung, zur Realisierung oder Weiterentwicklung individueller oder kollektiver Bedürfnisse, Ansprüche und Kompetenzen“. Diese Definition ist sehr allgemein gehalten. Konkreter

wird das Verständnis von Arbeit im Kontext der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre. Arbeit bedeutet hier nach SCHWEITZER (1964, S. 38) „die Erfüllung einer Aufgabe an einem Arbeitsobjekt durch die Güterabgaben von Mensch und Arbeitsmittel“. Dies bedeutet, dass Mensch und Arbeitsmittel die Arbeit vollziehen und in der Regel gemeinsam ausführen (KÜPPER & HELBER 2004, S. 29). Eine Zusammenfassung verschiedener Aspekte der menschlichen Arbeit verfasst SCHAPER (2014B, S. 6). Er definiert Arbeit als jede planmäßige menschliche Tätigkeit, die auf ein wirtschaftliches oder organisationales Ziel ausgerichtet ist. Die Erfüllung von Aufgaben, die bestimmten Bedingungen unterliegen und unter Nutzung unterschiedlicher Ressourcen, wie beispielsweise Arbeitsmitteln oder menschlichen Fähigkeiten, durchgeführt werden, steht hierbei im Fokus. (SCHAPER 2014B, S. 6)

### **Definition und Systembeschreibung der Arbeitswissenschaft**

Die Arbeitswissenschaft untersucht nach BULLINGER (1994, S. 1) die Bedingungen der menschlichen Arbeit, um daraus Beurteilungs- und Gestaltungsregeln zu gewinnen. Sie betrachtet das Zustandekommen von Ergebnissen und analysiert den menschlichen Beitrag zu diesem Ergebnis sowie Rückwirkungen auf den Menschen und seine Einstellungen durch seine Tätigkeiten (BULLINGER 1994, S. 1).

Arbeit wird seit jeher aus zwei Sichtweisen betrachtet. Zum einen aus der subjektorientierten Sichtweise: Sie betrachtet die menschbezogenen Aspekte der Arbeit, beispielsweise die körperliche und geistige Anstrengung bei der Verrichtung, oder soziale Auswirkungen der Arbeit auf den Ausführenden (= das Subjekt der Arbeit). Zum anderen wird sie objektorientiert, also unter wirtschaftlich-technischen Aspekten, betrachtet. Hierbei rückt die Produktivität und Effizienz der Verrichtung der Arbeit in den Fokus. (SCHLICK ET AL. 2018, S. 2 f.)

Aus diesen beiden Sichtweisen begründet sich eine zweigeteilte Zielsetzung der Arbeitswissenschaft, neben der Humanisierung der Arbeit auch die Rationalisierung zu verfolgen. Das Ziel der Arbeitswissenschaft ist es nach SCHLICK ET AL. (2018, S. 5), „Arbeit sowohl menschengerecht als auch effektiv und effizient zu gestalten.“

Besonders die humanzentrierte Betrachtung spiegelt sich in der Kerndefinition der Arbeitswissenschaft nach LUCZAK & VOLPERT (1987, S. 59) wider: „**Arbeitswissenschaft** ist die Systematik der Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und

sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden,
- Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen,
- Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen ihre Persönlichkeit erhalten und entwickeln können.“

Zusammengefasst beschäftigt sich die Arbeitswissenschaft mit der Analyse von Arbeitsbedingungen. Anschließend wird das gewonnene Wissen systematisch aufbereitet. Daraus lassen sich Richtlinien für die Gestaltung von Arbeitssystemen und Arbeitsmitteln ableiten, wobei der Mensch mit seinen individuellen und sozialen Beziehungen zu den übrigen Elementen des Arbeitssystems im Fokus steht. (LUCZAK 1998, S. 7) Die ihn umgebenden bzw. mit ihm interagierenden Arbeitsmittel, Arbeitsplätze, Arbeitsumgebungen und Arbeitsorganisationen sollten demgemäß so gestaltet werden, dass die oben genannten Punkte nach LUCZAK & VOLPERT (1987, S. 59) erfüllt werden. Dabei gilt es, letztlich auch die Produkte und das gesamte Unternehmen entsprechend zu gestalten (BULLINGER 1994, S. 3). Das Ziel der Arbeitswissenschaft ist es, Handlungsempfehlungen für die praktische Gestaltung der Arbeit zu geben, sodass diese rational<sup>5</sup> und rationell<sup>6</sup> durchgeführt werden kann. Es sollen insbesondere der individuelle Gesundheitsschutz, die soziale Angemessenheit und die technisch-wirtschaftliche Rentabilität verwirklicht werden. (HETTINGER & BECKER 1993, S. 14)

Diese vorangehenden Definitionen heben die Bedeutung der menschengerechten Gestaltung von Arbeit hervor, indem sie Aspekte wie Gesundheitsschutz und Entfaltungsmöglichkeiten des Menschen betonen. Die Wichtigkeit der rationellen Gestaltung von Arbeit, also der Berücksichtigung von Effizienz (geringer Ressourceneinsatz bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten) und Effektivität (Ergebniserreichung bei der Arbeit), wird jedoch nicht ausreichend betont (SCHULTETUS 2006, S. 9). Besonders für produzierende Unternehmen steht bei Entscheidungen die Produktivitätssteigerung als Ziel im Vordergrund. Sie

---

<sup>5</sup> rational = mit der Vernunft übereinstimmend, vernunftgemäß (Bedeutung laut DUDEN, <https://www.duden.de/rechtschreibung/rational>, aufgerufen am 06.03.2020)

<sup>6</sup> rationell = wirtschaftlich, zweckmäßig (Bedeutung laut DUDEN, <https://www.duden.de/rechtschreibung/rationell>, aufgerufen am 06.03.2020)

rechtfertigt Kosten und Aufwand, welche bei der Umsetzung aller Projekte entstehen. Häufig wird aber lediglich die Kostensicht berücksichtigt und arbeitsgestalterische Maßnahmen nur unter diesem Aspekt bewertet. Dies ist jedoch eine kurzfristige Sicht, da langfristig Produktivitätseinbußen möglich sind, wenn ergonomische Kriterien zu wenig bei der Umsetzung der Maßnahmen berücksichtigt werden (HETTINGER & BECKER 1993, S. 37 f.). Um Produktionsarbeit in Unternehmen menschengerechter zu gestalten, ist daher eine stärkere Nutzung der Arbeitswissenschaft für die Schaffung effektiver Arbeitsprozesse essenziell. Letztlich führt eine humane Arbeitsgestaltung zu positiven Wirkungen für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens, was die Verbindung der beiden vermeintlich gegenläufigen Sichtweisen darstellt. (SCHULTETUS 2006, S. 10)

Die Arbeitswissenschaft lässt sich in verschiedene Disziplinen unterteilen. In Anlehnung an WOBBE & EULER (1993, S. 19) zeigt Abbildung 2-1, welche Wissenschaftssysteme sich in der arbeitspezifischen Betrachtung wiederfinden und in welchen Anwendungen diese für die Arbeitswissenschaft relevant sind.

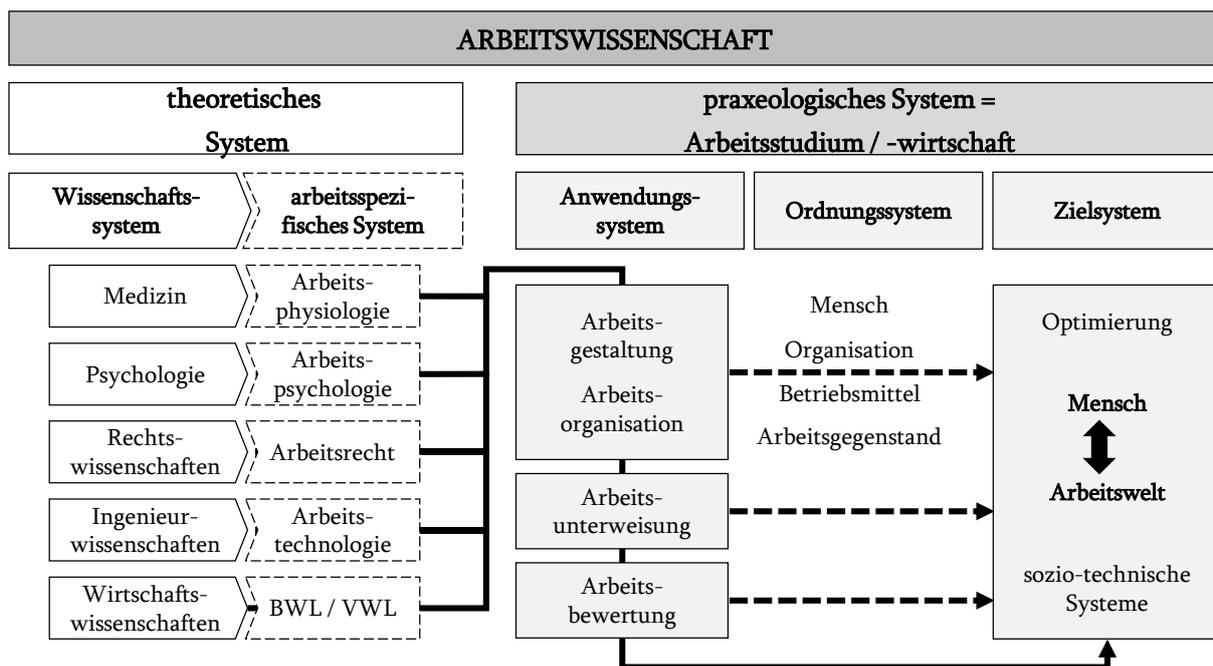


Abbildung 2-1: Gesamtsystem der Arbeitswissenschaft in Anlehnung an WOBBE & EULER (1993, S. 19)

Für die vorliegende Arbeit ist vor allem der praxeologische Bereich der Arbeitswissenschaft relevant. Hierin wird der theoretische Input aller beteiligten Wissenschaftsdisziplinen ver-

arbeitet und hinsichtlich der Zielerreichung – der Optimierung des Systems Mensch-Arbeitsumwelt – interpretiert (WOBBE & EULER 1993, S. 20). Nur durch eine zielgerichtete Arbeitsgestaltung, -organisation, -unterweisung und -bewertung kann diese Optimierung realisiert werden (SCHULTETUS 2006, S. 13). Die genauere Beschreibung dieser Anwendungssysteme und ihre Einordnung in den Kontext dieser Arbeit erfolgt im folgenden Absatz.

### **Begrifflichkeiten der Arbeitswissenschaft und ihre Zusammenhänge**

Um eine ganzheitliche Gestaltung der Arbeit zu erreichen, spielen die Arbeitsgestaltung, -organisation, -unterweisung und -bewertung eine entscheidende Rolle. Sie werden auch in dieser Reihenfolge bei der Realisierung von Arbeitsplätzen durchlaufen. Um eine Arbeit richtig zu bewerten, muss sie der ausführenden Person zunächst adäquat vermittelt werden, wofür sie wiederum zielgerichtet gestaltet und organisiert sein muss. (HETTINGER & BECKER 1993, S. 20)

Die *Arbeitsgestaltung* oder auch (*Arbeits-Systemgestaltung*) bezeichnet im Kontext der Arbeitswissenschaft das Schaffen und Verbessern der Bedingungen für das Zusammenwirken von Mensch, Technik, Information und Organisation zur effektiven, gefahrlosen und umweltfreundlichen Ausführung von Aufgaben. Dabei werden wirtschaftlich-technische Möglichkeiten und Erfordernisse sowie menschliche Eigenschaften und Ansprüche gleichermaßen berücksichtigt. (REFA-CONSULTING AG 2019A) Im Umfeld der Produktion ist es normalerweise das gesamte Arbeitssystem oder zumindest einzelne Elemente dieses Systems, die in der Arbeitsgestaltung definiert werden (HETTINGER & BECKER 1993, S. 41). Das Arbeitssystem und seine Elemente werden im Abschnitt 2.1.3 näher erläutert.

Eng mit der Arbeitsgestaltung verknüpft, ist die *Arbeitsorganisation*. Sie bezeichnet Maßnahmen, die zweckmäßige, wirtschaftliche und soziale Bedingungen für die Arbeit schaffen oder aufrechterhalten. Dazu gehören alle Lösungen, die eine Zusammenarbeit im Unternehmen oder die Durchführung der Auftragsbearbeitung ermöglichen. In der Unternehmensorganisation wird dies durch die Ablauf- und die Aufbauorganisation dargestellt. (REFA-CONSULTING AG 2019B) Hierzu gehört auch, dass Ressourcen festgelegt sowie Kommunikationsmittel und -wege definiert werden, damit eine vorgeschriebene Aufgabe von den beteiligten Personen durchgeführt werden kann (DIN 6385, S. 7).

Um eine Aufgabe richtig zu erledigen, muss die Arbeitsperson zunächst von jemandem mit ausreichendem Können in der Aufgabe unterwiesen werden. Die **Arbeitsunterweisung** bezeichnet nach REFA (1991B, S. 21) das Führen, Lenken und Zeigen, dabei ist sie letztlich eine planmäßige Anleitung zum praktischen Tun. Die Unterweisung „ist die methodische Vermittlung der zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe notwendigen Fertigkeiten, Kenntnisse und Erfahrungen. Der Schwerpunkt der Unterweisung liegt auf der Vermittlung von manuellen Verhaltensweisen und von Verantwortungsbewusstsein“ (REFA 1991B, S. 21). In diesem Kontext wird zwischen dem Neulernen (die lernende Person erwirbt Kenntnisse, Fertigkeiten, Fähigkeiten und Verhaltensweisen, die sie zuvor nicht kannte), dem Zulernen (die lernende Person lernt im Zusammenhang mit einer bereits beherrschten Arbeitsaufgabe hinzu, beispielsweise den Umgang mit neuen Werkstoffen) und dem Umlernen (die lernende Person muss eine bisher ausgeführte Tätigkeit künftig mit anderen oder anders zu handhabbaren Betriebs- und Arbeitsmitteln ausführen) unterschieden (HETTINGER & BECKER 1993, S. 582).

Nach HETTINGER & BECKER (1993, S. 615) ermittelt die **Arbeitsbewertung** „die sachlichen Anforderungen einer Tätigkeit bei vorliegender Normalleistung“. Sie ist ein methodisches Instrument, mit dem die Schwere und Schwierigkeit der Arbeit erfasst und bewertet werden kann. Dabei werden die Art, die Höhe und die Dauer der einzelnen Anforderungsarten berücksichtigt. Häufige Einsatzbereiche der Arbeitsbewertung sind die Festlegung von leistungsgerechter Entlohnung, die Personalplanung oder die Arbeitsplatzgestaltung. (HETTINGER & BECKER 1993, S. 615)

Die Grundlage für eine aussagekräftige Arbeitsbewertung und -gestaltung ist die Analyse der betrachteten Arbeitstätigkeit (ULICH 2011, S. 65). Hierfür kommt eine Arbeitsanalyse zum Einsatz, welche im folgenden Abschnitt erläutert wird.

### 2.1.2 Arbeitsanalyse

Nach KAUFFELD & MARTENS (2014, S. 212) wird mit Arbeitsanalyse die Gesamtheit strukturiert vorgenommener Methoden zur Erfassung und Bewertung von Arbeitsprozessen bezeichnet. Dabei steht die menschliche Arbeitstätigkeit mit ihren Bedingungen und Auswirkungen im Fokus. Das Ziel ist es, die psychologisch relevanten Aspekte der Arbeitssituationen und -aufgaben systematisch zu sammeln, zu ordnen und zu beurteilen. (KAUFFELD &

MARTENS 2014, S. 212) Die psychologisch-orientierte Arbeitsanalyse beschäftigt sich vor allem mit der Art und Weise der Arbeitsverrichtung und dem Arbeitsinhalt (ROSENSTIEL & NERDINGER 2011, S. 70). Bei der ingenieurwissenschaftlich-ausgerichteten Analyse stehen verstärkt die äußeren Arbeitsbedingungen im Mittelpunkt. Sie wird häufig als Arbeitsplatzanalyse bezeichnet. (ROSENSTIEL & NERDINGER 2011, S. 70)

Unabhängig von der Art der Arbeitsanalyse werden typischerweise die folgenden acht Schritte nach KAUFFELD (2014, S. 213 f.) durchgeführt:

1. **Festlegung des Untersuchungsziels:** Um das Ziel festzulegen, muss ein vollständiger Überblick über die Organisation, die zu untersuchenden Arbeitsplätze und die Arbeitstätigkeiten an diesen Plätzen geschaffen werden.
2. **Auswahl und Anpassung der Erhebungsinstrumente:** Eine geeignete Analysemethode muss ausgewählt und das Analyseinstrument an den Untersuchungsgegenstand angepasst werden.
3. **Durchführung der Arbeitsanalyse:** In der Analyse werden alle Aspekte der untersuchten Arbeitsplätze inklusive zugehöriger Material- und Informationsflüsse betrachtet und es sollen Schwachstellen aufgedeckt werden.
4. **Auswertung der gewonnenen Daten:** Zur Auswertung gehört auch die Dokumentation und Aufbereitung der Ergebnisse.
5. **Rückmeldung der Ergebnisse an die Organisation:** Anschließend sollten die Ergebnisse sowohl an die Auftraggeber als auch an die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kommuniziert und mit ihnen diskutiert werden.
6. **Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen:** Gemeinsam mit dem Personal werden darauf aufbauend Maßnahmen erarbeitet, die schriftlich festgehalten werden, um eine spätere Umsetzung sicherzustellen.
7. **Einführung und Umsetzung der Gestaltungsmaßnahmen:** Die Maßnahmen werden zuerst an den untersuchten Arbeitsplätzen umgesetzt und bei Bedarf auf die restliche Organisation ausgeweitet.
8. **Evaluation der Gestaltungsmaßnahmen:** Nach deren Umsetzung erfolgt eine Bewertung der Maßnahmen, was durch eine erneute Arbeitsanalyse stattfinden kann.

Je nach Anwendungsfall bzw. Kontext, in welchem die Arbeitsanalyse durchgeführt wird, kann dieser Ablauf angepasst werden (KAUFFELD 2014, S. 212). SCHÜPBACH (2014, S. 607 f.)

unterscheidet grundsätzlich zwischen Arbeitsanalysen, welche im Rahmen von Forschungsvorhaben durchgeführt werden, und solchen, die in praxisorientierten, betrieblichen Interventionsprojekten ausgeführt werden. Letztere sind für die vorliegende Arbeit ausschlaggebend. Innerhalb dieser Kategorie werden wiederum zwei Ausrichtungen unterschieden.

Die Erste ist die Durchführung von Arbeitsanalysen im Rahmen „personalpsychologischer Entscheidungen“ (SCHÜPBACH 2014, S. 608). Dabei steht die Ermittlung von Arbeitsanforderungen und nötigen Qualifikationen im Fokus, die ein vorgegebener Arbeitsplatz mit bestimmten Arbeitstätigkeiten an den Menschen stellt (FRIELING & BUCH 2007, S. 118). Auf Basis dieser Qualifikationsanforderungen können im Rahmen der Personalentwicklung bedarfsgerechte Maßnahmen entwickelt und durchgeführt werden (SCHAPER 2014A, S. 351). Eine detailliertere Erläuterung des Zusammenhangs der Arbeitsanalyse mit der Personalentwicklung ist im Abschnitt 2.2.2 zu finden. Mit einer Arbeitsanalyse können jedoch auch Eignungsanforderungen bestimmt werden. Darunter sind Anforderungen zu verstehen, die ein zukünftiger Stelleninhaber mitbringen sollte, um die Arbeitstätigkeiten eines bestimmten Arbeitsplatzes zu erfüllen (KAUFFELD & LEINS 2014). Mit einer Anforderungsanalyse können die hierfür relevanten kognitiven, motorischen, kommunikativen und motivationalen Personenmerkmale und Leistungsvoraussetzungen identifiziert werden (SCHAPER 2014A, S. 351). In den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 wird dieser Zusammenhang detaillierter erläutert. Die primäre Intention der soeben beschriebenen Ziele einer Arbeitsanalyse ist die Anpassung des Menschen an den Arbeitsplatz (SCHÜPBACH 2014, S. 608).

Arbeitsanalysen können aber auch dazu dienen, die Anpassung der Arbeit an den Menschen zu veranlassen. Dies ist der Fall, wenn die Analyse mit dem Ziel der Bewertung und Gestaltung von Arbeitssystemen und -tätigkeiten durchgeführt wird (SCHÜPBACH 2014, S. 608). Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Ermittlung arbeitsbedingter Belastungen und die Ableitung der entsprechenden Beanspruchungen (FRIELING & BUCH 2007, S. 118).

Nach ULICH (2011, S. 65) gibt es bei der Analyse von Arbeitstätigkeiten und Arbeitssystemen nicht das eine Verfahren, das angewendet werden muss. Vielmehr müssen anwendungsspezifisch die erforderlichen Anforderungen an das Analyseverfahren definiert werden und darauf basierend ein konkretes Verfahren ausgewählt werden (DUNCKEL & RESCH 2010, S. 1127). Hierauf stützt sich der weitere Verlauf dieser Arbeit und die Entwicklung der Vorgehensweise zur Anforderungsermittlung in der Smart Factory im Kapitel 5.

Das Betrachtungsobjekt einer Arbeitsanalyse ist das Arbeitssystem, in welchem die konkrete Arbeitstätigkeit stattfindet. Eine detaillierte Erläuterung des Begriffs Arbeitssystem und der darin wechselwirkenden Elemente erfolgt im folgenden Abschnitt.

### 2.1.3 Arbeitssystem nach REFA

Das Arbeitssystem ist eine spezielle Ausprägung eines allgemeinen Systems. Um die Zusammensetzung und Funktionsweise dieses speziellen Systems besser zu verstehen, wird zunächst der allgemeine Systembegriff näher erläutert.

#### **Allgemeiner Systembegriff – Begriffsklärung und Abgrenzung**

Nach ROPOHL (2012, S. 24) handelt es sich bei einem System um eine allgemeine Benennung für Erscheinungen, die nicht näher spezifiziert werden können oder sollen. Besonders in der Naturwissenschaft und Technik wird die Beschreibung in Form von Systemen gewählt, wenn die reale Erscheinungsweise von Zusammenhängen abstrahiert werden soll und lediglich bestimmte Eigenschaften betrachtet werden (ROPOHL 2012, S. 24). Somit handelt es sich generell bei Systemen nicht um Erscheinungen der Wirklichkeit, sondern um Modelle im menschlichen Denken (ROPOHL 2012, S. 51).

Ein System ist „eine Gesamtheit von Elementen, deren Beziehungen einem bestimmten Zweck dienen“ (REFA 1984, S. 93). Elemente sind somit Bestandteile eines Systems mit Eigenschaften und können nicht weiter zerteilt werden. Sie sind geordnet und durch Relationen miteinander verknüpft (GILLENKIRCH & FEES 2018). Relationen sind die Beziehungen, welche zwischen den einzelnen Elementen eines Systems bestehen oder hergestellt werden können und somit die Struktur des Systems bilden (GILLENKIRCH & FEES 2018).

Nach REFA (1984, S. 93) und SCHMIDTKE (1976, S. 9) werden im industriellen Bereich die folgenden Arten von Systemen unterschieden:

- soziale Systeme = Systeme von Menschen: Hierbei interagieren Menschen. Beispiele sind eine Betriebsversammlung oder ein Projektteam.
- technische Systeme = Maschinen-Systeme: Hierbei stehen Arbeitsmittel bzw. Betriebsmittel in Interaktion. Beispiele sind automatisierte Produktionsanlagen.

- soziotechnische Systeme = Mensch-Maschine-Systeme: In diesen Systemen interagieren Menschen und Betriebsmittel. Maschinenarbeitsplätze oder Fließbandarbeitsplätze sind Beispiele für solche Systeme.

Die soziotechnischen Systeme sind die Systeme, welche in dieser Arbeit im Fokus stehen. Sie werden auch als Arbeitssysteme bezeichnet (REFA 1984, S. 94) und im folgenden Abschnitt näher erläutert.

### Arbeitssystem – Begriffsklärung und Abgrenzung

REFA definierte im Jahr 1984, dass Arbeitssysteme der Erfüllung von Arbeitsaufgaben dienen und in ihnen Mensch und Betriebsmittel mit der Eingabe in das System interagieren, um eine Arbeitsaufgabe zu erledigen. Auf sie wirken permanent Umwelteinflüsse von außen. (REFA 1984, S. 94)

Abbildung 2-2 zeigt die grundlegende Darstellung eines Arbeitssystems nach REFA (1984, S. 94). Es enthält allgemeingültige Systemelemente, die in Wechselwirkung zueinanderstehen und die jedes Arbeitssystem auszeichnen.

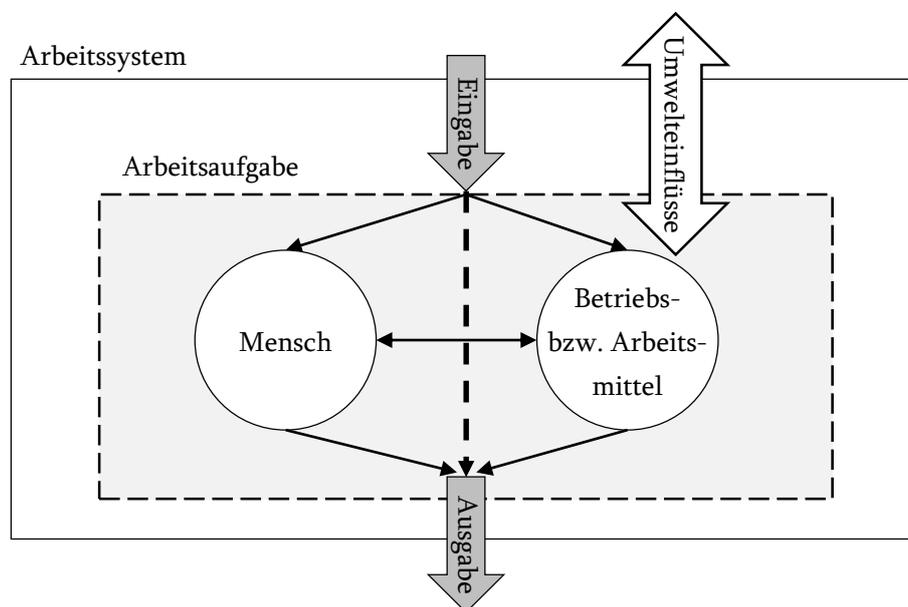


Abbildung 2-2: Arbeitssystem nach REFA (1984, S. 94)

Etwas genauer ist die Definition nach DIN 6385 (S. 7): Sie beschreibt ein Arbeitssystem als „System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender [...]

mit den Arbeitsmitteln [...] umfasst, um die Funktion des Systems [...], innerhalb des Arbeitsraumes [...] und der Arbeitsumgebung [...] unter den durch die Arbeitsaufgaben [...] vorgegebenen Bedingungen, zu erfüllen.“ Generell kann mit dem Begriff Arbeitssystem jede Betrachtungsebene eines Arbeitsprozesses bezeichnet werden, der einzelne Arbeitsplatz genauso wie das gesamte Unternehmen (LUCZAK 1998, S. 27). Mittels der strukturanalytischen Darstellung wird die Integration des Menschen in das soziotechnische System dargestellt, mit dem Ziel daraus Anregungen für eventuelle Verbesserungen des Systems zu gewinnen (BUBB & SCHMIDTKE 1981, S. 263). In dieser Forschungsarbeit bezeichnet das System den einzelnen Arbeitsplatz innerhalb der Montage. Mit der Systemdarstellung wird hierbei das Ziel verfolgt, Erkenntnisse aus der Digitalisierung des Systems zu gewinnen, mit welchen eine verbesserte Qualifizierung der Belegschaft erreicht werden kann.

### **Systemelemente und ihr Bezug zur Produktion und Montage**

In der Grundlagenliteratur von REFA sowie in der DIN 6385 werden die Systemelemente aus Abbildung 2-2 beschrieben. Die beiden Quellen unterscheiden sich lediglich geringfügig in ihrer Definition.

- **Arbeitsaufgabe:** Die Arbeitsaufgabe entspricht einer Anforderung an den Menschen, Tätigkeiten auszuüben, die einem bestimmten Ziel dienen. Sie kennzeichnet den Zweck des Arbeitssystems. (REFA 1984, S. 95) Konkret auf die Arbeit bezogen, handelt es sich um eine oder mehrere erforderliche Aktivitäten, die vom Arbeitenden ausgeführt werden müssen, um ein vorgegebenes Arbeitsergebnis zu erreichen (DIN 6385, S. 9). In der Produktion spezifiziert die Arbeitsaufgabe beispielsweise den Montagevorgang eines bestimmten Produkts.
- **Mensch:** Der Mensch ist in diesem Kontext gleichzusetzen mit der Arbeitsperson (= Werker oder Werkerin beispielsweise in der Montage). Damit wird die Person bezeichnet, die innerhalb des Arbeitssystems eine oder mehrere Tätigkeiten zur Erreichung der Arbeitsaufgabe erfüllt. (DIN 6385, S. 7) Sie ist das wichtigste „aktive“ Element im System, da er von sich aus aktiv werden und auch andere Elemente in Bewegung versetzen oder bedienen kann (REFA 1993, S. 119). Gemeinsam mit den Betriebsmitteln stellt der Mensch die Kapazität des Arbeitssystems

dar und sorgt dafür, dass aus den Eingaben in das System die Ausgaben werden (REFA 1984, S. 96).

- **Betriebs- bzw. Arbeitsmittel:** Betriebsmittel sind alle „Güter, die in der Produktion genutzt werden, ohne dass sie direkt in das Produkt eingehen“ (KISTNER & STEVEN 2002, S. 18). Es handelt sich um Produktionsfaktoren, die zur Durchführung eines betrieblichen Leistungsprozesses nötig sind (NEBL 2009, S. 146 f.). Dazu gehören Grundstücke und Gebäude, Ver- und Entsorgungsanlagen, Maschinen und maschinelle Anlagen, Werkzeuge und Vorrichtungen, Transport- und Fördermittel, Lagereinrichtungen, Mess- und Prüfmittel sowie Büro- und Geschäftsausstattungen (NEBL 2009, S. 148 ff.). Für die Betrachtung von Produktionsarbeitsplätzen sind besonders Maschinen und Anlagen sowie Werkzeuge und Mess-/Prüfmittel relevant. Gemeinsam mit dem Mitarbeitenden bestimmen Betriebsmittel die Kapazität des Arbeitssystems (REFA 1993, S. 119).
- **Eingabe:** Eingaben in das Arbeitssystem, auch Input genannt, sind alle „Arbeitsgegenstände, Informationen und Energie, die im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert oder verwendet werden“ (REFA 1993, S. 120). Das bedeutet, dass die Inputs beispielsweise in ihrem Zustand, ihrer Form oder ihrer Lage verändert werden (REFA 1984, S. 95). Typische Eingaben in das Arbeitssystem in Form von Arbeitsgegenständen sind Rohstoffe oder Halbzeuge. Informationen werden häufig in Form von Arbeitsanweisungen, Zeichnungen oder Arbeitsplänen an den Arbeitsplatz gebracht. Typische Energieformen in der Produktion sind Elektrizität und Druckluft. (REFA 1984, S. 95)
- **Ausgabe:** Als Ausgabe, Output oder Arbeitsergebnis eines Arbeitssystems werden Arbeitsgegenstände, Informationen oder Energie bezeichnet, die im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert, verwendet oder neu erstellt werden (REFA 1993, S. 121).
- **Umwelteinflüsse:** Auf jedes Arbeitssystem wirken physikalische, chemische, biologische sowie organisatorische und soziale Einflüsse von außen ein. Sie beeinflussen das Verhalten des Systems und die Eigenschaften seiner Elemente (REFA 1993, S. 121). In der Produktion sind vor allem die Umgebungseinflüsse in Form von Licht, Klima oder Lärm, organisatorische Aspekte, wie beispielsweise Arbeitszeit- und Pausenregelungen, oder soziale Einflüsse, wie Entlohnungsgrundsätze oder das Betriebsklima, relevant (REFA 1993, S. 121).

- **Arbeitsablauf:** Der Arbeitsablauf bezeichnet das räumliche und zeitliche Zusammenwirken von Mensch und Betriebsmittel, durch welches Eingaben in das Arbeitssystem in Ausgaben des Systems überführt werden. Dabei wird gemäß der Arbeitsaufgabe vorgegangen. (REFA 1991A, S. 27) Er stellt das Prozess- bzw. Zeitverhalten des Systems dar, also beispielsweise in welchen Schritten, mit welchen Werkzeugen und in welcher Reihenfolge ein Bauteil montiert wird (REFA 1984, S. 95). In der ursprünglichen Systemdarstellung nach REFA wurde er nicht explizit grafisch dargestellt, wodurch das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen dem Arbeitsablauf und den anderen Systemelementen leidet.

Zwischen allen Systemelementen bestehen Wechselwirkungen in Form von Ein- und Rückwirkung der Elemente aufeinander. Diese Wechselwirkungen müssen bei der Gestaltung von Arbeitssystemen berücksichtigt werden, da aus ihnen Anforderungen an die Arbeitsperson entstehen. Um den Arbeitsplatz erfolgreich zu bewältigen, müssen diese Anforderungen erfüllt sein und die Mitarbeitenden die richtigen Kompetenzen und Qualifikationen mitbringen. Ist dies nicht der Fall, besteht Entwicklungsbedarf für die entsprechenden Personen und passende Qualifizierungsmaßnahmen müssen angestoßen werden. Dies ist Aufgabe der Personalentwicklung.

## 2.2 Personalentwicklung

Um den Zusammenhang zwischen der Personalentwicklung und der vorliegenden Arbeit zu verstehen, werden die Aufgaben und Besonderheiten dieses Bereichs zunächst in den umgebenden Kontext der Personalwirtschaft bzw. des Personalmanagements eingeordnet. Die Begrifflichkeiten in diesem Gebiet sind nicht eindeutig abgrenzbar, weshalb eine Definition des Verständnisses für die vorliegende Arbeit erfolgen muss.

Die Begriffe *Personalwirtschaft* und *Personalmanagement* werden häufig synonym verwendet, bezeichnen aber unterschiedliche Perspektiven und Ansichten hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Unternehmen. Ursprünglich stellt das Personalmanagement den Führungsaspekt der Personalwirtschaft in den Vordergrund (JUNG 2011, S. 7). Es umfasst alle Gestaltungs- und Verwaltungsaufgaben im Unternehmen, welche auf die Belegschaft bezogen sind (LINDNER-LOHMANN ET AL. 2016, S. 1) bzw. sich mit personellen Fragen innerhalb eines

Unternehmens beschäftigen (JUNG 2011, S. 8). Organisatorische Aspekte der Personalwirtschaft, wie beispielsweise die Prognose des Personalbedarfs, die Maßnahmenplanung bezüglich der Personalförderung oder das Kostencontrolling, werden mit dem Begriff Personalwesen bezeichnet (JUNG 2011, S. 6).

Seit Beginn der achtziger Jahre veränderte sich dieses Verständnis vollständig und es wird zunehmend nur noch der Begriff Personalmanagement verwendet. Der Grund hierfür ist ein deutlicher Wandel des Menschenbilds. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden in den Unternehmen nicht mehr als reine Produktionsfaktoren gesehen, sondern als Organisationsmitglieder, deren Motivation, Qualifikation und Arbeitszufriedenheit stets zu berücksichtigen ist, um die Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zu erhalten und zu steigern. (HOLTBRÜGGE 2015, S. 1 ff.) Personalmanagement wird damit zu einer strategischen Führungsaufgabe (HOLTBRÜGGE 2015, S. 3). DRUMM (2008, S. 553) fasst dieses umfassende Verständnis des Personalmanagements wie folgt zusammen: Personalmanagement umfasst „die Planung, Umsetzung und Kontrolle von grundsätzlichen Handlungsmöglichkeiten zum frühzeitigen Aufbau, zum Erhalt, zur Nutzung oder zum Abbau von Personalpotenzialen.“ Im Wesentlichen beinhaltet das die Personalbedarfsplanung und -deckung, den -einsatz, die -entlohnung und -führung (HOLTBRÜGGE 2015, S. 101).

### 2.2.1 Definition der Personalentwicklung

Die Personalentwicklung ist im Personalmanagement innerhalb der Personalbedarfsplanung und -deckung eingegliedert. Diese setzt sich wiederum aus den Phasen Personalbedarfsplanung, -beschaffung, -entwicklung und -freisetzung zusammen. (HOLTBRÜGGE 2015, S. 101) In der Abbildung 2-3 wird die Struktur der Begrifflichkeiten verdeutlicht.

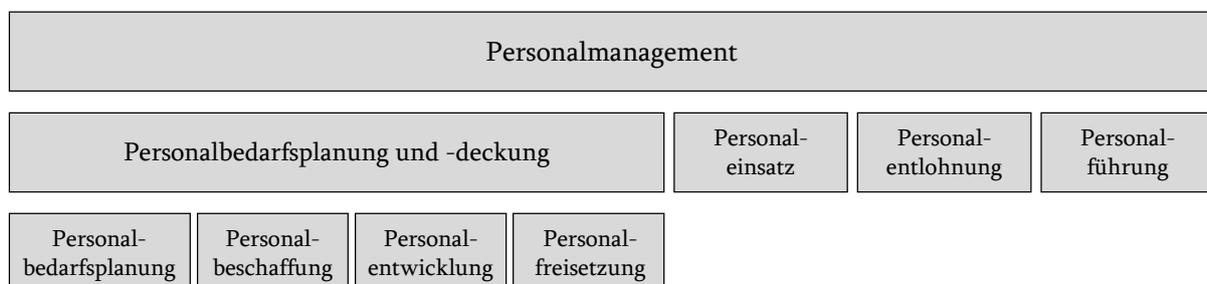


Abbildung 2-3: Einordnung der Personalentwicklung innerhalb des Personalmanagements in Anlehnung an HOLTBRÜGGE (2015, S. 101)

BECKER (2013, S. 5) definiert Personalentwicklung als „alle Maßnahmen der Bildung, der Förderung und der Organisationsentwicklung, die von einer Person oder Organisation zur Erreichung spezieller Zwecke zielgerichtet, systematisch und methodisch geplant, realisiert und evaluiert werden.“ Diese sehr weit gefasste Definition wird durch LINDNER-LOHMANN ET AL. (2016, S. 162) konkretisiert, indem die Maßnahmen darauf bezogen werden, dass eine zweckgerichtete Förderung der Kompetenzen und Einstellungen der Mitarbeitenden erreicht wird, welche die Effizienz und Effektivität des Unternehmens steigern und somit zur Organisationsentwicklung beitragen. In dieser Ansicht stehen die unternehmensspezifischen Bedarfe im Vordergrund. Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen der Personalentwicklung betrachtet wird, ist die Berücksichtigung der Wünsche, Bedürfnisse und Erwartungen der Beschäftigten. Gelingt es der Organisation diese zu erkennen und zu erfüllen, kann die Personalentwicklung ein wichtiger Faktor zum Erhalt und zur Steigerung der Zufriedenheit im Unternehmen werden. (JUNG 2011, S. 250)

## 2.2.2 Zusammenhang zwischen Personalentwicklung und Arbeitsanalyse

Das Ziel der Personalentwicklung ist es, die unternehmensseitigen Anforderungen und Ziele mit denen des Personals in Einklang zu bringen (JUNG 2011, S. 252). Nach JUNG (2011, S. 252) und DRUMM (2008, S. 334) gehören dazu unter anderem:

- Aufgabengerechter Einsatz der Arbeitskräfte mit ihren fachlichen und persönlichen Fähigkeiten
- Erfüllung der individuellen Ziele der Mitarbeitenden
- Befähigung der Belegschaft in neuen Situationen flexibel zu agieren und zu reagieren
- Deckung des Bedarfs an Fach- und Führungskräften
- Motivation und Bindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Optimierung des Wertschöpfungsprozesses und Erreichung der Unternehmensziele

Die enge Verknüpfung der Personalentwicklung mit den Unternehmenszielen bewirkt, dass eine regelmäßige Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der Ausrichtung der

Personalentwicklungsmaßnahmen nötig sind. Die Unternehmensziele sind auch abhängig vom Umfeld, in welchem das Unternehmen sich befindet. Ändert sich dieses, hat das Konsequenzen auf die Unternehmensziele und somit wieder auf die Ziele und Anforderungen in der Personalentwicklung. Die Einzelmaßnahmen für die Arbeitsperson müssen dementsprechend definiert und durchgeführt werden. Abbildung 2-4 stellt diese Zusammenhänge dar.

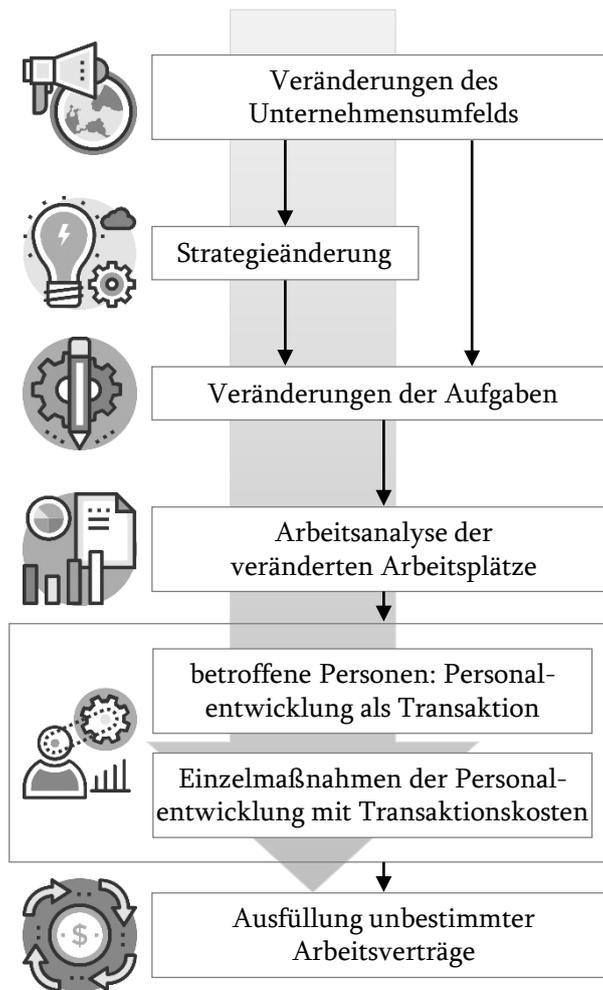


Abbildung 2-4: Wirkzusammenhänge zwischen Umfeldveränderungen des Unternehmens und Personalentwicklungsmaßnahmen in Anlehnung an DRUMM (2008, S. 336)

Die Personalentwicklung baut in diesem Kontext auf dem Prinzip der Organisationsentwicklung auf, welche zum Ziel hat, das Unternehmen beständig weiterzuentwickeln, sodass es im sich stets verändernden Umfeld weiterhin erfolgreich ist. Typisch für Unternehmen, die diesem Prinzip folgen ist, dass sie ihre Unternehmensangehörigen mit unbestimmten

bzw. unbefristeten Arbeitsverträgen einstellen, was die soeben beschriebene Notwendigkeit zur Anpassung der Personalentwicklungsmaßnahmen begründet. (DRUMM 2008, S. 335 f.)

Um angepasste Entwicklungsmaßnahmen ableiten zu können, muss jedoch zunächst ein detailliertes Verständnis der veränderten Aufgaben im Unternehmen geschaffen werden. Hier schließt sich der Kreis zur Arbeitsanalyse (s. a. Abschnitt 2.1.2). Durch die systematische Erfassung und Bewertung der Arbeitstätigkeiten ermöglicht sie ebendiese Aussage und dient als „Grundlage für die Gestaltung persönlichkeits- und gesundheitsförderlicher Arbeitsbedingungen sowie personaler Fördermaßnahmen“ (SCHAPER 2014A, S. 348).

Auf Basis einer spezifischen Analyse der Tätigkeiten und der Bedingungen, in welchen diese Tätigkeiten durchgeführt werden, können anschließend mithilfe einer Anforderungsanalyse die nötigen Leistungsvoraussetzungen und Personenmerkmale für den Arbeitsplatz bestimmt werden. Somit sind die Arbeits- und die Anforderungsanalyse zwei eng miteinander verzahnte Instrumentarien, welche sich jedoch geringfügig in der Ausrichtung ihres Hauptziels unterscheiden. Während bei der Arbeitsanalyse die Gestaltung und Optimierung der Arbeitstätigkeiten im Fokus steht, ist das Ziel der Anforderungsanalyse die Identifikation der erfolgskritischen Personenmerkmale für eine bestimmte Tätigkeit. (SCHAPER 2014A, S. 349) Ihr Ergebnis sind Anforderungsprofile, welche die Anforderungen darstellen, die ein Arbeitsplatz an die Beschäftigten stellt.

Das generelle Vorgehen ist in diesem Kontext jedes Mal ähnlich, auch wenn verschiedene Arbeiten unterschiedliche Ansätze zur Arbeits- und Anforderungsanalyse vorstellen. Die folgenden beiden Vorgehensweisen nach BERTHEL & BECKER (2013) und MCGEHEE & THAYER (1967) belegen das.

Um sicherzustellen, dass alle Anforderungen eines Arbeitsplatzes vollumfänglich ermittelt werden, schlagen BERTHEL & BECKER (2013, S. 248 f.) eine strukturierte Arbeitsplatzanalyse vor. Diese umfasst neben einer Arbeitsumfeld- und einer Interaktions- auch eine Aufgabenanalyse. Die Arbeitsumfeld- und Interaktionsanalyse betrachten das gesamte Arbeitssystem und im Wesentlichen die Rahmenbedingungen, innerhalb derer die Arbeitsperson ihre Tätigkeiten ausübt. Sie können zur Arbeitssystemanalyse zusammengefasst werden, welche Aussagen zur Arbeitsorganisation, zu den eingesetzten Arbeitsverfahren und Betriebsmitteln sowie zu den Arbeitsbedingungen, beispielsweise Umgebungseinflüsse und organisatorische Rahmenbedingungen, macht. Die Aufgabenanalyse fokussiert das Ziel des

spezifischen Arbeitsplatzes und analysiert die zur Zielerreichung notwendigen Einzelaktivitäten (WATZKA 2014, S. 30 f.).

MCGEHEE & THAYER (1967, S. 25 f.) berücksichtigen in ihrer Vorgehensweise zur Ermittlung von Trainingsbedarfen ebenfalls drei vergleichbare Analysebereiche, die „Organization Analysis“, die „Operations Analysis“ und die „Man Analysis“. Zunächst wird untersucht, wo und in welcher Form innerhalb der Organisation Training möglich und nötig ist. Dabei werden alle organisatorischen Faktoren berücksichtigt. Im zweiten Schritt werden systematisch Daten zur spezifischen Aufgabe oder einer Aufgabengruppe erhoben, mithilfe derer beschrieben wird, was eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter können muss, um die notwendigen Aufgaben zu erfüllen. Die „Man Analysis“ im dritten Schritt dient dazu, zu ermitteln, wie gut das Personal ihre Aufgaben erfüllt. Auch hier entstehen am Ende Anforderungsprofile, die definieren welche Anforderungen die Beschäftigten erfüllen müssen, um erfolgreich am Arbeitsplatz tätig zu sein.

### 2.2.3 Anforderungsprofile zur Personalqualifikation

Anforderungen beschreiben über welche Qualifikationen und Kompetenzen das Personal verfügen muss, um die Aufgaben an einem bestimmten Arbeitsplatz erfolgreich durchführen zu können (BRÖCKERMANN 2016, S. 42). Hierfür haben sich **Anforderungsprofile** etabliert. Nach REFA (1991A, S. 99) sind Anforderungsprofile „grafische Darstellungen der Anforderungshöhe einzelner Anforderungsarten, die in Arbeitssystemen auftreten.“ Sie enthalten neben den Anforderungsarten, die zur besseren Übersichtlichkeit in Kategorien unterteilt werden, auch eine Bewertung der benötigten Anforderungshöhe (REFA 1991A, S. 99). Der Vergleich mit einem Fähigkeitsprofil, welches die tatsächlich vorhandenen (= gemessenen/beurteilten) Qualifikationen und Fähigkeiten eines Mitarbeitenden dokumentiert, zeigt, ob Bedarf zur Weiterentwicklung des Personals besteht (JUNG 2011, S. 188 f.). Darüber hinaus können die Arbeitnehmerinnen und -nehmer durch den Vergleich bestmöglich auf aktuelle und zukünftige Arbeitsplätze zugewiesen werden (BECKER 2013, S. 452).

In diesem Zusammenhang müssen die beiden Begriffe Qualifikation und Kompetenz voneinander abgegrenzt werden, da sie häufig synonym verwendet werden, obwohl sie unter-

schiedliche Bedeutungen haben. Aufgrund der konträr geführten Diskussion um den Begriff Kompetenz muss an dieser Stelle das Verständnis für die vorliegende Arbeit definiert werden. BECKER (2013, S. 13) bezeichnet den Kompetenzbegriff als „diffuse Vokabel“, die nur mit Vorsicht benutzt werden sollte. Für ihn stellen Kompetenzen etwas auf einer Metaebene zwischen Qualifikation und Handlung dar, was weder richtig wahrnehmbar noch messbar oder direkt steuerbar ist (BECKER 2013, S. 13). Nach ERPENBECK (2012, S. 16) ist **Kompetenz** jedoch die Fähigkeit, in unerwarteten, offenen Situationen, selbstorganisiert und kreativ handeln zu können. Dieser Beschreibung folgt auch die vorliegende Arbeit. **Qualifikation** wird als die Gesamtheit der Fähigkeiten, genauer gesagt der Kenntnisse, Fertigkeiten und Verhaltensweisen verstanden, über die eine Person als Voraussetzung für die Ausübung einer beruflichen Tätigkeit verfügt oder verfügen muss (BRÖCKERMANN 2016, S. 37 f.). Sie werden in formellen oder informellen Lernprozessen erworben (BECKER 2013, S. 6). Diese Ansicht lässt erkennen, dass Qualifikation und Kompetenz durchaus unterschiedliche Aspekte darstellen und nicht vermischt oder gar synonym verwendet werden sollten. Eine erlangte Qualifikation bedeutet nicht, dass auch in allen offenen, komplexen oder problemhaltigen Situationen selbstorganisiert gehandelt werden könnte. Somit kann Qualifikation durchaus ohne Kompetenz existieren. Kompetentes Handeln ist jedoch immer an eine Qualifikation gebunden, da nur so die Grundlage für die Handlungsentscheidung gegeben ist. (BRÖCKERMANN 2016, S. 41)

Sowohl die Qualifikationen als auch die Kompetenzen, die an einem Arbeitsplatz benötigt werden, werden in einem Anforderungsprofil aufgelistet. Hierzu gibt es unterschiedliche Kategorisierungen für die Anforderungsarten, welche sich meistens an der Unterteilung gemäß des Genfer Schemas nach REFA orientieren. Hierbei werden vier grundlegende Anforderungsarten unterschieden: Können, Verantwortung, Belastung und Arbeitsbedingungen. Können wird weiter in Kenntnisse und Geschicklichkeit unterteilt. Belastung umfasst die geistige und die muskelmäßige Belastung. So ergeben sich nach dem Genfer Schema insgesamt die folgenden sechs Anforderungsarten (REFA 1991A, S. 44):

- **Kenntnisse:** Sie beruhen auf Ausbildung und Erfahrung und werden durch das geistige Können bestimmt (REFA 1991A, S. 47).
- **Geschicklichkeit:** Sie äußert sich in der Sicherheit und Genauigkeit von Bewegungen und beruht auf Anlagen, Übung, Erfahrung und Anpassung (REFA 1991A, S. 48).

- **Verantwortung:** Sie umfasst alles, was dafür sorgt, dass Arbeitsaufgaben ordnungsgemäß erfüllt werden und es zu keinen Störungen, Personen- oder Sachschäden kommt. Verantwortung zeigt sich deswegen in Form von Umsichtigkeit, Gewissenhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sorgfalt. (REFA 1991A, S. 49)
- **Geistige Belastung:** Sie entsteht, wenn ein Mensch Vorgänge beobachten, überwachen oder kontrollieren muss oder eine geistige Tätigkeit, zu denen beispielsweise das Überlegen, Entscheiden oder Koordinieren gehört, ausübt (REFA 1991A, S. 51).
- **Muskelmäßige Belastung:** Sie wird durch dynamische, statische oder einseitige Muskelarbeit erzeugt (REFA 1991A, S. 53).
- **Umgebungseinflüsse:** Sie wirken von außen auf den Menschen ein und können zu einer Störung bei seiner Tätigkeit oder sogar zu einer Gefährdung führen. Typischerweise werden hierzu Lärm, Klima, Beleuchtung oder Staub gezählt. (REFA 1991A, S. 54)

Häufig werden in der Praxis des Personalmanagements leicht angepasste Kategorien von Anforderungsarten herangezogen (BLICKLE 2014, S. 209). Diese sind Wissen (vor allem fachliches Wissen), Fertigkeiten (Abläufe und Verhaltensweisen, die zur Durchführung der Arbeitsaufgaben beherrscht werden müssen), Fähigkeiten (grundlegende, individuelle Handlungsgrundlagen, die weitestgehend stabil sind) sowie Interessen, Persönlichkeitseigenschaften und Werthaltungen (BLICKLE 2014, S. 209).

Unabhängig von der konkreten Kategorisierung werden die Anforderungsprofile auf Basis einer Anforderungsanalyse erstellt. Diese ist, wie auch die Arbeitsanalyse (s. Abschnitt 2.1.2), ein Instrumentarium der Arbeitsdiagnostik (SCHAPER 2014A, S. 349). Im besten Fall beruht eine Anforderungsanalyse auf einer Arbeitsanalyse, da sich die konkreten Arbeitsanforderungen erst durch die detaillierte Analyse der Tätigkeiten und Tätigkeitsbedingungen ergeben (SCHAPER 2014A, S. 349). Die Tätigkeitsbedingungen können über eine Analyse des Arbeitssystems (Systemanalyse) näher spezifiziert werden, wohingegen die Tätigkeiten mittels einer Aufgabenanalyse detailliert werden.

## 2.3 Montage als Anwendungsbereich der Arbeit

Das Arbeitssystem, welches zur Ermittlung der Arbeitsanforderungen betrachtet wird, beschränkt sich in der vorliegenden Arbeit auf die Montage produzierender Unternehmen. Die methodischen Ansätze können ebenfalls auf Arbeitsplätze in der Fertigung oder in anderen Unternehmensbereichen übertragen werden. Sie wurden allerdings speziell im Kontext der Montage entwickelt, weswegen diese im Folgenden genauer spezifiziert wird.

### 2.3.1 Begriffsklärung und Abgrenzung

Montage bezeichnet laut der VDI-Richtlinie 2815 den „Zusammenbau von Teilen und/oder Gruppen zu Erzeugnissen“ (VDI-Richtlinie 2815, S. 3). Ihr Ziel ist es, Produkte mit höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen in einer bestimmten Zeiteinheit herzustellen (WARNECKE ET AL. 1975, S. 11). Da eine Vollautomatisierung der Montage vor allem bei Großserienprodukten mit wenigen Varianten lohnenswert ist, steigende Variantenzahlen in kleinen Losgrößen jedoch stets zunehmen (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 4), spielt die manuelle Montage in produzierenden Unternehmen weiterhin eine große Rolle. Hierbei führt der Mensch „durch den Einsatz seiner Hände, seiner Fingerfertigkeit, seiner Sinnesorgane und seiner Intelligenz“ unter Zuhilfenahme von Werkzeugen und technischen Einrichtungen die Montagevorgänge durch (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 109).

### 2.3.2 Einbindung des Personals in die manuelle Montage

Basierend auf DIN 8593 und 8580 sowie der VDI-Richtlinie 2860 sind wesentliche Vorgänge in der Montage das Fügen, Handhaben, Kontrollieren, Justieren und Sonderoperationen (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 2). Ob diese Tätigkeiten vollständig von einem Menschen oder zumindest teilweise von einer Maschine ausgeführt werden, ist von den Leistungs- und Ergonomiekriterien der konkreten Aufgabe abhängig. Auf Basis der jeweiligen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten wird entschieden, ob entweder der Mensch oder eine Anlage optimal für die Ausführung geeignet ist. Diese Zuweisung wird Mensch-Maschine-Funktionsteilung genannt. (BOKRANZ & LANDAU 2006, S. 391) Neben der klaren

Aufteilung einzelner Arbeitsplätze auf einen der beiden Akteure, sind aber auch Mischformen denkbar, bei denen die Arbeitsperson durch eine Maschine bei ihren Tätigkeiten unterstützt wird. Das heißt, die Maschine wird als eine Art Werkzeug eingesetzt, bis hin zu dem Fall, dass die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter nur noch eine höherwertige Überwachungsfunktion einnimmt, weil die Maschine weitestgehend selbstständig die Montageoperationen durchführt. (BOKRANZ & LANDAU 2006, S. 392)

In dieser Arbeit werden Montagearbeitsplätze betrachtet, welche über einen wertschöpfenden Anteil manueller Tätigkeiten verfügen. Das heißt, dass der Mensch als aktives Element am Arbeitsplatz tätig ist, es sich jedoch nicht zwangsläufig um eine rein manuelle Montage handeln muss. Als Betrachtungsobjekt ist auch ein Hybridsystem denkbar, in welchem beispielsweise ausgewählte Prüf- oder Fügevorgänge automatisiert ablaufen und andere Vorgänge von der Fachkraft durchgeführt werden. (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 3)



## 3 Stand der Erkenntnisse

Basierend auf den im vorhergehenden Kapitel geschaffenen theoretischen Grundlagen und dem einheitlichen Begriffsverständnis, erfolgt in diesem Kapitel die Vorstellung bestehender Konzepte, Handlungsoptionen und Ansätze, welche die Basis für die inhaltliche Ausarbeitung der vorliegenden Forschungsarbeit bilden. Hierbei wird zunächst darauf eingegangen, welche Trends von außen auf Unternehmen wirken und ihre Arbeit beeinflussen (Abschnitt 3.1). Im Anschluss daran werden literaturbasiert unterschiedliche Optionen vorgestellt, wie Unternehmen auf diese Veränderungen reagieren können und wie sich die Arbeitswelt in der Produktion aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung verändert (Abschnitt 3.2). Dies führt dazu, dass sich Anforderungsprofile für die Belegschaft wandeln. Auch in diesem Themenkomplex werden aktuelle Ansätze diskutiert (Abschnitt 3.3), bevor auf Basis der Bewertung dieser Ansätze der Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit konkretisiert wird (Abschnitt 3.4).

### 3.1 Strukturwandel in der Arbeitswelt der Produktion

Wie im Abschnitt 1.1 erläutert, sind produzierende Unternehmen technologischen und organisatorischen Entwicklungen unterworfen, welche zu einem steten Wandel und zu ständiger Weiterentwicklung in der Produktion führen (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. XXXI). Ein Großteil dieser Entwicklungen beeinflusst jedoch nicht nur das produzierende Gewerbe. Vielmehr handelt es sich in den meisten Fällen um gesamtgesellschaftliche, innerhalb Deutschlands vorherrschende oder sogar global auftretende Megatrends, die sich auf viele Lebensbereiche auswirken (HEß 2008, S. 3). Diesen Trends ist gemein, dass sie tiefgreifende und nachhaltige gesellschaftliche, ökonomische, politische oder technologische Veränderungen darstellen, welche sich typischerweise langsam entwickeln und über einen langen Zeitraum spürbar sind (NAISBITT & ABURDENE 1990, S. 9 f.). Speziell im Umfeld von

Unternehmen versteht der Expertenkreis der Deutschen Gesellschaft für Personalführung (DGFP) unter dem Begriff *Megatrend* Erscheinungen, welche die folgenden Merkmale aufweisen (GEIGHARDT-KNOLLMANN 2011, S. 4):

- Sie resultieren in der Regel aus technischen und/oder volkswirtschaftlichen Entwicklungen.
- Sie sind hinsichtlich ihrer tatsächlichen Konsequenzen und Entwicklungen noch nicht fassbar.
- Sie betreffen eine Vielzahl von Unternehmen.
- Sie haben potenziell einen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.
- Sie wirken sich langfristig auf das Unternehmen aus.
- Sie machen interne strukturelle Anpassungen notwendig.
- Sie sind nicht oder nur eingeschränkt mit gängigen Lösungsmustern zu bearbeiten.

Solche Megatrends sind die übergeordnete Ursache für eine Vielzahl konkreter Entwicklungen (ABELE & REINHART 2011, S. 10 ff.), auf welche im Folgenden eingegangen wird. Der Großteil dieser Trends und ihrer Ausprägungen hat seinen Ursprung in demografisch-gesellschaftlichen Veränderungen. Sie wirken sich auf Unternehmen und ihre Art zu wirtschaften aus und führen damit zu technisch-ökonomischen Veränderungen. Die im Folgenden beschriebenen Megatrends haben also zwei Seiten der Betrachtung, welche für die vorliegende Arbeit relevant sind: Einerseits die übergeordneten, teilweise global auftretenden, gesellschaftlichen Veränderungen und andererseits die konkreten, technologischen Auswirkungen in den Unternehmen.

Megatrends beeinflussen zukünftig nicht nur, wie sich die Gesellschaft in Deutschland darstellen wird, sondern auch maßgeblich „WIE“ und „WAS“ produziert wird. Die Abbildung 3-1 zeigt in Anlehnung an VERNIM ET AL. (2019, S. 73) eine Auswahl der aktuell für die vorliegende Arbeit relevanten Megatrends und ihrer Ausprägungen, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

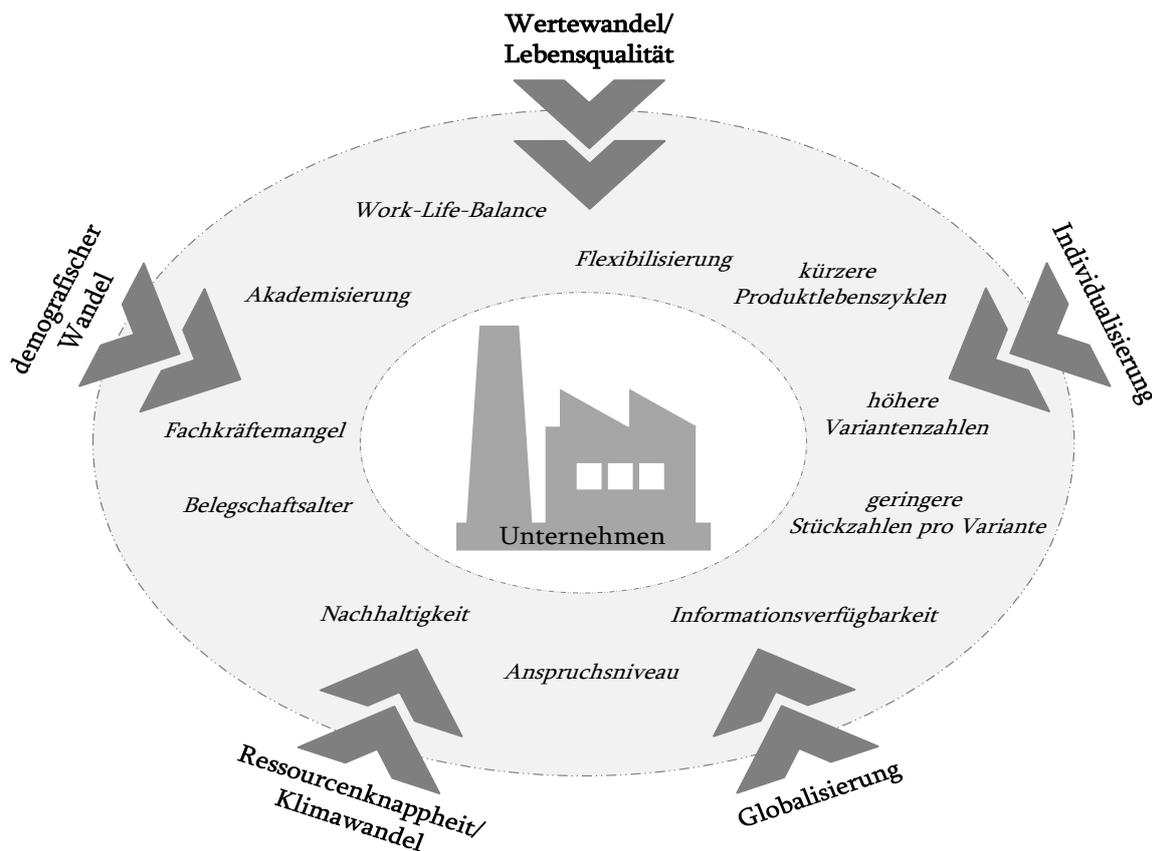


Abbildung 3-1: Trends, welche produzierende Unternehmen und ihr Umfeld aktuell beeinflussen in Anlehnung an VERNIM ET AL. (2019, S. 73)

**Demografischer Wandel:** Demografie ist die „Wissenschaft von der Bevölkerung. Sie beschreibt den gegenwärtigen Zustand der Bevölkerung (Größe, Altersaufbau, Geburtenhäufigkeit, Zuwanderung usw.) und leitet daraus Schlüsse für die Zukunft ab“ (THURICH 2011, S. 16). Die demografische Forschung untersucht unter anderem die Faktoren, die für Veränderungen in der Bevölkerung verantwortlich sind und identifiziert Regel- und Gesetzmäßigkeiten in diesem Kontext (KUTZNER 2009, S. 17). Die Alterung der Gesellschaft, interne und externe Migration sowie sinkende Geburtenzahlen in Folge niedriger Geburtenraten sind wesentliche demografische Trends, die als demografischer Wandel zusammengefasst werden (DREYER 2009, S. 37). Dieser Wandel ist auch in Deutschland längst angekommen. Die Geburtenrate ist seit mehreren Jahrzehnten auf einem niedrigen Niveau, was zusammen mit der zunehmenden Lebenserwartung insgesamt zu einer älter werdenden Bevölkerung führt. Erkennbar ist das unter anderem daran, dass sich in der Zeit von 1990

bis 2013 das Medianalter<sup>7</sup> der deutschen Bevölkerung von 37 auf 45 Jahre erhöhte. (PÖTZSCH & RÖBGER 2015, S. 11) Selbst eine starke Nettozuwanderung in den letzten Jahren wird einen Bevölkerungsrückgang in Deutschland auf lange Sicht voraussichtlich nicht verhindern (GROBECKER ET AL. 2018, S. 26). Die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser Veränderungen sind besonders für den Arbeitsmarkt enorm. Ende des Jahres 2015 bildeten Personen im Erwerbsalter (von 20 bis 64 Jahre) noch 61 % der Bevölkerung. Im Jahr 2060 wird dieser Anteil auf 52 % sinken. Diese Reduktion der Anzahl Erwerbstätiger führt dazu, dass das Rentenalter heraufgesetzt werden muss, also die Lebensarbeitszeit einer einzelnen Person verlängert wird, um die deutschen Sozialsysteme funktionsfähig zu erhalten. (GROBECKER ET AL. 2018, S. 27) Für produzierende Unternehmen bedeutet das, dass sie Maßnahmen ergreifen müssen, um den Erhalt der Arbeitsfähigkeit und die Produktivität bis ins hohe Belegschaftsalter sicherzustellen ( $\hat{=}$  *Belegschaftsalter* in Abbildung 3-1). Zusätzlich reduziert sich durch einen Trend zu höheren Bildungsabschlüssen ( $\hat{=}$  *Akademisierung* in Abbildung 3-1) die Anzahl verfügbarer Arbeitskräfte auf der mittleren Qualifikationsebene. Dieser *Fachkräftemangel* ist vor allem für produzierende Unternehmen in Deutschland eine große Herausforderung. (MAIER ET AL. 2014, S. 5 f.)

*Lebensqualität/Wertewandel:* Eng mit dem demografischen Wandel ist in der deutschen Gesellschaft ein Wertewandel verbunden, der sich vor allem in einer Höherstellung der Bedeutung der Lebensqualität äußert. Diese wird durch eine Vielzahl von Faktoren beschrieben, beispielsweise materieller Wohlstand, Bildung, Erholungsmöglichkeiten oder Kultur. Unter der Prämisse älter werdender Menschen ist die Erhaltung der Gesundheit einer der wichtigsten Aspekte zur Sicherung einer angemessenen Lebensqualität. (ABELE & REINHART 2011, S. 23) Die Vereinbarkeit von Privat- und Arbeitsleben bzw. das ausgewogene Verhältnis dieser beiden, steht vor allem für jüngere Generationen unter dem Schlagwort *Work-Life-Balance* im Fokus. Das Arbeitsleben soll zu den persönlichen Interessen passen und es Frauen und Männern gleichberechtigt ermöglichen, zu arbeiten sowie sich gleichermaßen um die Familie zu kümmern (BMAS 2017, S. 33). Die Lebensentwürfe der Gesellschaft werden insgesamt individueller und vielfältiger, was nach mehr Möglichkeiten zur *Flexibilisierung* der Arbeit verlangt. Neben klassischen Flexibilisierungsmaßnahmen,

---

<sup>7</sup> Das Medianalter bezeichnet das Alter, „welches eine Bevölkerung in eine jüngere und eine ältere Hälfte teilt“ (PÖTZSCH & RÖBGER 2015, S. 11).

wie Arbeitszeitkonten und Homeoffice, bieten viele Arbeitgeber auch individuelle Arbeitszeitmodelle oder langfristige Maßnahmen, wie Langzeit-Arbeitszeitkonten oder Sabbaticals an. (BMAS 2017, S. 75 f.) Der Drang nach mehr Selbstbestimmtheit und -verwirklichung zeigt sich auch im Wunsch der jüngeren Generationen nach mehr Möglichkeiten zur persönlichen Weiterentwicklung, mehr Eigenverantwortung und mehr Gestaltungsfreiheit (DOLLINGER ET AL. 2017, S. 82). Aber auch der Sinnhaftigkeit des eigenen Lebens und Arbeitens sowie den Auswirkungen auf die Umwelt wird mehr Bedeutung zugemessen. Um langfristig erfolgreich zu sein, müssen Unternehmen künftig deutlich nachhaltiger wirtschaften und handeln, als sie das bisher getan haben. Diese Bedeutung der **Nachhaltigkeit** ist auch im privaten Umfeld der Gesellschaft zu spüren. Es geht nicht nur um ökonomische, sondern auch um ökologische und soziale Nachhaltigkeit, um zukünftig das Gemeinwohl der Gesellschaft zu vermehren. (OPASCHOWSKI 2013, S. 208)

**Individualisierung:** Steigender Wohlstand, Bildung und Mobilität ermöglichen es Einzelpersonen, ihre Lebens- und Arbeitsbiografien individueller zu gestalten. Die Abhängigkeit des Individuums von stabilisierenden Elementen, wie Familie, Staat und Kirche, hat in den letzten Jahrzehnten abgenommen und ist einem zunehmenden Drang nach Individualisierung und Einzigartigkeit gewichen. (HEß 2008, S. 18) Diese Entwicklung zeichnet sich auch in der Wirtschaft ab. Das **Anspruchsniveau** der Kunden steigt kontinuierlich (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 1), sodass Unternehmen in zunehmend gesättigten Märkten gezwungen sind, ihre Produktpalette weiter zu differenzieren, um sich vom Wettbewerber abzuheben (LINDEMANN & BAUMBERGER 2006, S. 7). Dies führt zu **höheren Variantenzahlen** bei gleichzeitig **geringeren Stückzahlen pro Variante** (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. XXXVII) und insgesamt **kürzeren Produktlebenszyklen** (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. XXXV). Dadurch wird eine **gesteigerte Komplexität** in Entwicklung, Produktion und Vertrieb verursacht (LINDEMANN & BAUMBERGER 2006, S. 8).

**Globalisierung:** Je nach Betrachtungswinkel verändert sich der Fokus in der Definition der Globalisierung. AL-RODHAN & STAUDMANN (2006, S. 2) bezeichnen sie in ihrer Definition sehr allgemeingültig und wenig konkret als einen Prozess, der die Ursachen, den Verlauf und die Folgen der transnationalen und transkulturellen Integration menschlicher und nichtmenschlicher Aktivitäten umfasst. EASTERLY ET AL. (2004, S. 39) hingegen fokussieren diese Entwicklung bereits auf die Produktion: Sie verstehen Globalisierung als die Bewe-

gung von Gütern und Produktionsfaktoren über internationale Grenzen hinweg. Aus volkswirtschaftlicher Sicht wird in der globalisierten Welt versucht, den Einsatz von Produktionsfaktoren gesamtwirtschaftlich zu optimieren, was durch den Rückgang der Bedeutung nationaler Grenzen und die Nutzung globaler Produktionsmöglichkeiten beständig verbessert wird. In der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise rücken einzelwirtschaftliche Aktivitäten in den Fokus, die sich durch den Einsatz globaler Beschaffungsstrategien und die Nutzung der global günstigsten Produktionsmöglichkeiten weltweit ausbreiten. (KOCH 2014, S. 3) Eine treffende Zusammenfassung der Bedeutung und der Auswirkungen der Globalisierung liefert KOCH (2014, S. 9 f.): „Globalisierung ist ein dynamischer Prozess, der die wirtschaftliche Vernetzung der Welt durch den zunehmenden Austausch von Gütern, Dienstleistungen, Kapital und Arbeitskräften vorantreibt, die wirtschaftliche Bedeutung nationaler Grenzen ständig verringert und den internationalen Wettbewerb intensiviert; sodass durch das Zusammenwachsen aller wichtigen Teilmärkte die Möglichkeiten internationaler Arbeitsteilung immer intensiver genutzt werden, sich der weltweite Einsatz der Ressourcen laufend verbessert, ständig neue Chancen aber auch Risiken entstehen und die nationalen und internationalen politischen Akteure gezwungen sind, sich verändernde Rollen bei der Gestaltung der Globalisierung zu übernehmen, die eine Zunahme interkultureller Interaktionen und Herausforderungen mit sich bringen.“ Durch den globalen Austausch und rund um den Globus verfügbare Informationen und Produkte ( $\hat{=}$  *Informationsverfügbarkeit* in Abbildung 3-1), steigen auch die Ansprüche der Kunden ( $\hat{=}$  *Anspruchsniveau* in Abbildung 3-1). Neben steigenden Qualitätsanforderungen erwarten Kunden auch zunehmend individuellere Produkte (s. vorhergehender Abschnitt), die schneller zur Verfügung stehen und permanent weiterentwickelt werden. Kürzere Produktlebenszyklen, beschleunigte Entwicklungszeiten und kürzere Durchlaufzeiten bei zumindest gleichbleibender Qualität sind die Folge in den Unternehmen. (VERNIM ET AL. 2019, S. 72 f.)

Globalisierung ist somit ein Treiber für eine Reihe von Entwicklungen, die mittelfristig dazu führen, dass sich Unternehmen und ihre Belegschaft permanent anpassen und weiterentwickeln müssen, um im zunehmenden Wettbewerb, unter sich ständig verändernden Rahmenbedingungen (weiterhin) erfolgreich zu sein. Beständig hohe Aufmerksamkeit und adäquate, meist schnelle Reaktionen sind nötig, damit dies gelingt. (KOCH 2014, S. 77)

***Ressourcenknappheit/Klimawandel:*** Neben den bisher genannten Entwicklungen beeinflusst die Verknappung von Ressourcen vor allem die Art und Weise, wie etwas produziert

wird. Der global auftretende Klimawandel verändert die Nachfrage nach Produkten und wirkt sich somit darauf aus, was produziert wird. (ABELE & REINHART 2011, S. 10) Anhaltendes Wirtschaftswachstum und die zunehmende Weltbevölkerung führen zu einer Weiterentwicklung der Gesellschaft, die eine Knappheit von Rohstoffen und anderen Ressourcen bedingt und nach einem sparsamen Einsatz dieser verlangt (HEB 2008, S. 16). Gleichzeitig steigen dadurch die Rohstoffpreise, was produzierende Unternehmen dazu bringt, ihre Herstellungsprozesse zu überdenken und gegebenenfalls rohstoff- oder energieintensive Prozesse und Materialien zu substituieren. Die Kunden verstärken diese Bemühungen durch entsprechende Qualitätsansprüche und eine stetig steigende Nachfrage nach nachhaltig produzierten Produkten ( $\hat{=}$  *Nachhaltigkeit* in Abbildung 3-1). (ABELE & REINHART 2011, S. 17)

Zusammenfassend gilt, dass das Umfeld für produzierende Unternehmen in den letzten Jahren durch die Megatrends deutlich volatiler, unsicherer und somit komplexer und mehrdeutiger wurde, was durch das englische Akronym VUCA (volatility, uncertainty, complexity, ambiguity) zusammengefasst wird. Damit Unternehmen in diesem Umfeld weiterhin erfolgreich agieren können, müssen sie in der Lage sein, mit disruptiven Veränderungen umzugehen und den VUCA-Entwicklungen mit entsprechender Agilität, dem passenden Wissensmanagement und der nötigen Flexibilität gegenüberzutreten. (KAIVO-OJA & LAURAEUS 2018, S. 27) Der folgende Abschnitt erläutert, welche konkreten Handlungsoptionen sich dafür speziell im Kontext der Industrie 4.0 ergeben.

### 3.2 Digitale Transformation in produzierenden Unternehmen und Veränderungen für die Produktionsarbeit

Damit Unternehmen weiterhin auf dem Markt bestehen können und national sowie international konkurrenzfähig bleiben, müssen sie Veränderungen und ihre Auswirkungen antizipieren, um schneller als die Wettbewerber reagieren zu können und die entstehenden Chancen bestmöglich für sich zu nutzen (ABELE & REINHART 2011, S. 10). Dadurch bleiben sie sowohl für Kunden als auch für ihr Personal attraktiv (VERNIM ET AL. 2019, S. 72). Letzteres ist vor allem im Kontext des zunehmenden Fachkräftemangels essenziell, um weiterhin hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu gewinnen und langfristig an das Unternehmen zu binden (MATT & RAUCH 2014, S. 159). Hierfür müssen auch innerhalb der

Produktion die passenden Rahmenbedingungen geschaffen werden, um ein Umfeld zu gestalten, in dem Mitarbeitende produktiv wirken können und langfristig motiviert sind, sich für das Unternehmen einzusetzen (VERNIM ET AL. 2019, S. 72).

Dieses Produktionsumfeld wird jedoch durch die zuvor beschriebenen Einflussfaktoren komplizierter, was laut BAUERNHANSL ET AL. (2014, S. 14 f.) innerhalb der Unternehmen dazu führt, dass Abläufe und Prozesse an Komplexität zunehmen. In der Folge müssen die betroffenen Systeme, allen voran das Produktionssystem, sich angleichen, da entsprechend dem „Gesetz von der erforderlichen Varietät“ nach ASHBY (1956, S. 207) nur Komplexität mit Komplexität umgehen bzw. sie kompensieren kann. Ein System ist komplex, wenn es eine Vielzahl von Faktoren gibt, welche die Komponenten eines Problems beeinflussen, wenn diese Faktoren intransparent sind, wenn eine Vielzahl an Beziehungen zwischen ihnen besteht (= Vernetztheit) und sie sich somit wechselseitig beeinflussen und wenn gleichzeitig über ihre Wirkungszusammenhänge zunächst nur wenig bekannt ist (SCHÖNWANDT 2013, S. 22). Das Umfeld, in dem sich Produktionsunternehmen heute bewegen, zeigt entsprechend dieser Definition eine umfassende Komplexität (s. Abschnitt 3.1). Die Unternehmen müssen sich daran anpassen, indem sie ihre innere Komplexität entsprechend erhöhen, um auf die VUCA-Entwicklungen reagieren zu können. Eine, in den letzten Jahren entstandene und seitdem stark vorangetriebene, Möglichkeit hierauf zu reagieren, ist die Industrie 4.0 oder allgemein die digitale Transformation der Unternehmen. Das Konzept der vierten industriellen Revolution ist jedoch so umfassend, dass zunächst ein Überblick geschaffen werden muss, was alles hierunter fällt und was das für produzierende Unternehmen bedeuten kann. Auf dieser Basis werden anschließend technologische Umsetzungsmöglichkeiten der Industrie 4.0 im Unternehmen vorgestellt und die Veränderungen, die dies für die Produktionsarbeit bewirkt, erläutert.

### 3.2.1 Konzept der Industrie 4.0

Literaturreviews dienen dazu, den aktuellen Stand der Forschung und Technik eines bestimmten Themenkomplexes darzustellen und zukünftigen Forschungsbedarf abzuleiten (WEBSTER & WATSON 2002, S. XIII). Um einen Überblick in der Begriffsvielfalt der sehr breit gefassten Konzepte Industrie 4.0 und Digitalisierung zu schaffen und die wichtigsten Themenfelder zu identifizieren, wurden bereits einige Review-Paper veröffentlicht. Das

Ziel dieser Veröffentlichungen ist es, die Inhalte und Zusammenhänge der genannten Konzepte und Begriffe zu analysieren, zu strukturieren und zu klassifizieren.

**Industrie-4.0-Framework nach KAMBLE ET AL. (2018)**

KAMBLE ET AL. (2018) geben in ihrem Review einen Überblick über die wichtigsten Forschungstrends im Bereich der Industrie 4.0 und bewerten sie. Ihr Ziel war es, einen Rahmen für den Begriff und die allgemeinen Methoden darin zu definieren. Sie schufen ein nachhaltiges Industrie-4.0<sup>8</sup>-Framework“ (KAMBLE ET AL. 2018, S. 419). Es ist in Abbildung 3-2 dargestellt und zeigt die identifizierten Industrie-4.0-Technologien und wie diese unter Einsatz verschiedener Industrie-4.0-Prinzipien und der Integration in die Unternehmensprozesse die Unternehmensleistung verbessern.

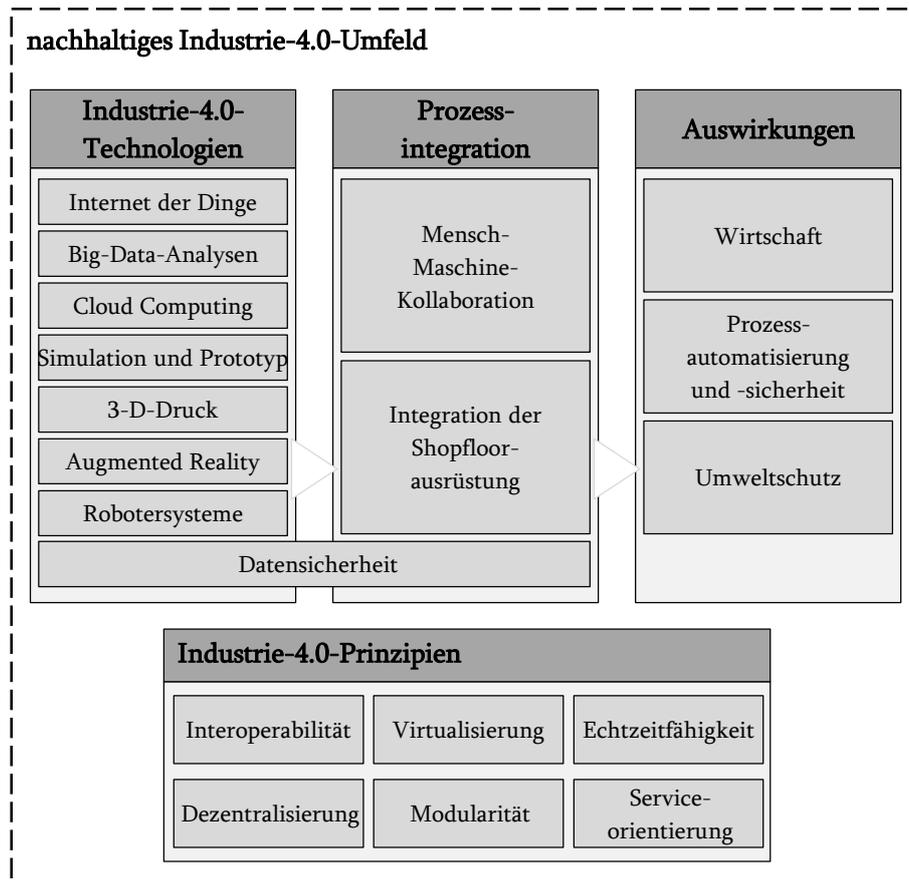


Abbildung 3-2: Industrie-4.0-Framework nach KAMBLE ET AL. (2018)

<sup>8</sup> In englischsprachiger Literatur wird häufig die englische Schreibweise „Industry 4.0“ verwendet. Nachdem der Begriff jedoch zuerst und maßgeblich in Deutschland proklamiert wurde (vor allem durch KAGERMANN ET AL. (2013A)), verwendet die vorliegende Arbeit die deutsche Schreibweise.

Zur Erarbeitung des Frameworks führten die Autoren eine umfangreiche initiale Literaturrecherche durch, in welcher sie eine paarweise Schlagwortsuche zu Industrie 4.0 und zu produktionsbezogenen Schlagwörtern durchführten. Die so gewonnenen 85 relevanten Publikationen analysierten sie hinsichtlich ihrer bibliometrischen Daten. Hierbei wurde beispielsweise neben den Keywords auch untersucht, aus welchen Ländern die Veröffentlichungen stammen oder welchen Forschungsansatz sie verwenden, um Industrie 4.0 zu klassifizieren.

### **Kategorien der Industrie 4.0 nach LU (2017)**

LU (2017) schlug einen zweistufigen Ansatz zur Literaturanalyse vor, welcher sich am Vorgehen von WEBSTER & WATSON (2002) orientierte. Basierend auf einer Suche in den beiden Datenbanken Web of Science und Google Scholar mit dem Stichwort "Industry 4.0", erhielt der Autor für den Zeitraum von 2011 bis 2016 103 Artikel. Von diesen wurden 88 als relevant für die Aufnahme in die Analyse erachtet. Die Publikationen wurden anschließend in fünf Kategorien unterteilt, welche lauten (LU 2017, S. 2):

- Konzept und Perspektiven der Industrie 4.0
- CPS-basierte Industrie 4.0
- Interoperabilität in der Industrie 4.0
- Schlüsseltechnologien der Industrie 4.0
- Anwendungen von Industrie 4.0

Zu jeder Kategorie wurde der Stand der Technik, wie er in den 88 Publikationen vorgestellt wurde, extrahiert. Die Kategorien decken hierbei ein breites Spektrum des Begriffs ab, stellen aber keinen besonderen Bezug zur Produktion her.

### **Forschungsmodell der Smart Factory von OSTERRIEDER ET AL. (2019)**

Um den Stand der Forschung bezüglich des Smart-Factory-Konzepts zu untersuchen und weiteren Forschungsbedarf abzuleiten, schlugen OSTERRIEDER ET AL. (2019) eine Literaturrecherche unter Verwendung einer Suchmatrix vor, die auf allgemeinen Terminologien des

Konzepts der intelligenten Fabrik und des Internets der Dinge (IoT) basiert. Mithilfe der Suchmatrix in vier verschiedenen Datenbanken (EBSCOhost, Emerald, ProQuest und Science Direct) identifizierten die Autoren 106 relevante Publikationen, die im Detail analysiert wurden. Der Hauptbeitrag ihrer Arbeit ist die Kategorisierung der Veröffentlichungen in acht thematische Perspektiven innerhalb des Themengebiets der intelligenten Fabrik, dargestellt in Abbildung 3-3. Jede Perspektive wurde hinsichtlich ihres Betrachtungsraums konkretisiert und entsprechende Forschungsziele zugeordnet. Damit bilden diese Kategorien ein Forschungsmodell für die Smart Factory, welches einen Rahmen für zukünftige Forschung bietet, aber nicht zwischen konkreten Technologien oder Anwendungsfällen unterscheidet, die produzierende Unternehmen direkt in ihrer Produktion einsetzen können. Zudem ist die verwendete Suchmethode, bei der eine vierfache Wiederholung durchgeführt wurde, sehr zeitaufwändig. Dies erschwert die Anwendung des Ansatzes bei komplexeren Suchen oder bei Suchen mit einer großen Ergebnisanzahl.

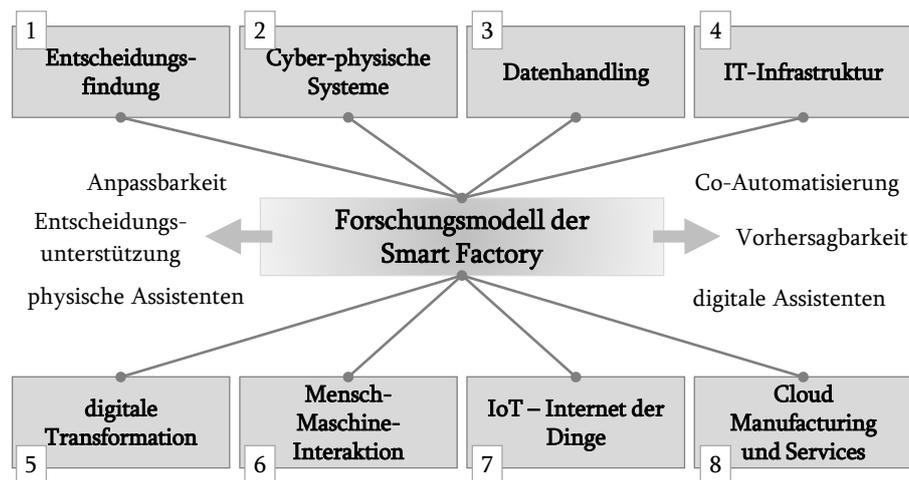


Abbildung 3-3: Forschungsmodell der Smart Factory nach OSTERRIEDER ET AL. (2019, S. 12)

### Schlüsseltechnologien der Industrie 4.0 und Charakteristika zukünftiger Produktionssysteme von WICHMANN ET AL. (2019)

Die Literaturübersicht von WICHMANN ET AL. (2019) konzentriert sich auf Technologien, Trends, Herausforderungen und Möglichkeiten von Industrie 4.0 im Produktionsumfeld. Neben der Voraussetzung, dass berücksichtigte Publikationen nach der Veröffentlichung des Abschlussberichts des Arbeitskreises Industrie 4.0 (KAGERMANN ET AL. 2013B) erschie-

nen sein mussten, mussten sie auch das Schlagwort „Industrie/Industry 4.0“ im Titel enthalten und direkten Produktionsbezug haben. So stellten die Autoren eine ausreichende Relevanz der ausgewählten 50 Quellen sicher. In ihrer Analyse identifizierten die Autoren 17 Schlüsseltechnologien der Industrie 4.0, welche die Produktion verändern. Auffällig ist, dass außer Robotik und Additiver Fertigung sich alle anderen Technologien im Wesentlichen damit beschäftigen, Daten zu sammeln, zu vernetzen und zu ordnen, um die Produktionsprozesse zu optimieren. Darunter fallen beispielsweise CPS, Sensoren, Big Data, RFID oder Virtual Reality. Neben den Schlüsseltechnologien wurden auch Charakteristika zukünftiger Produktionssysteme extrahiert, welche die Vorteile der Industrie 4.0 darstellen. Die drei am häufigsten genannten waren „dynamische Produktionssysteme“, „gesteigerte Vernetzung“ und „dezentrale, autonome Produktionssysteme“.

### **Fazit der Erkenntnisse der Literaturreviews**

Allen vorgestellten Ansätzen ist gemein, dass die Reviews gut strukturiert und zielgerichtet durchgeführt wurden. Jede der Veröffentlichungen setzt zwar einen geringfügig anderen Schwerpunkt, jedoch fokussieren alle den Themenkomplex Industrie 4.0 sehr gut. Es sind jedoch große Unterschiede hinsichtlich der Tiefe und dem Detailgrad, in dem die verschiedenen Technologien, Anwendungsfälle und Charakteristika des Themengebiets diskutiert werden, erkennbar.

Obwohl alle oben genannten Beiträge den Beginn eines drastischen Anstiegs der Veröffentlichungen in den verschiedenen Bereichen von Industrie 4.0 ab dem Jahr 2016 zeigten, verwendeten die meisten nur Daten bis einschließlich zum Jahr 2017 und untersuchten eine relativ geringe Anzahl von Veröffentlichungen. In den meisten Fällen mussten die Publikationen den Terminus „Industry/Industrie 4.0“ bereits im Titel haben. Hierdurch wurden allerdings Arbeiten ausgeschlossen, die sich nicht mit dem übergeordneten Themenkomplex, sondern mit einzelnen Teilaspekten der Industrie 4.0 beschäftigen, wodurch Detailbetrachtungen einzelner Technologien und ihrer Vorteile verhindert werden.

Darüber hinaus konzentrierte sich keine der genannten Studien speziell auf die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Montage produzierender Unternehmen. Eine Betrachtung der Veränderungen für die Arbeit und die dadurch entstehenden Anwendungsfälle in die-

sem Bereich fand daher nicht statt. Außerdem wurde in keiner der Studien dem Produktionspersonal besondere Aufmerksamkeit gewidmet oder das Potenzial für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter explizit betrachtet.

Die Technologien, die von den Verfassern identifiziert wurden, ähnelten sich jedoch in hohem Maße, weshalb sie als Ausgangspunkt für die Charakterisierung einer Smart Factory herangezogen werden können.

### 3.2.2 Digitalisierungslösungen für die digitale Transformation zur Smart Factory

Digitalisierungslösungen, wie in Abbildung 3-4 dargestellt, bieten umfangreiche Möglichkeiten, die zu Beginn des Abschnitts 3.2 geforderte Erhöhung der internen Komplexität im Unternehmen zu erreichen, um anschließend den Umgang mit ihr zu ermöglichen. Nur so gelingt es den Unternehmen, auf die auf sie einwirkenden Trends und ihre Ausprägungen zu reagieren. Somit muss ein Wandel der Unternehmen zur Smart Factory, welche im Abschnitt 1.1 eingeführt wurde und im Folgenden genauer charakterisiert wird, erfolgen.

Die Smart Factory zeichnet sich in erster Linie durch eine intensive horizontale und vertikale **Vernetzung** der Unternehmenselemente aus. Diese Vernetzung wird durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht und stellt ein neues Leitbild für produzierende Unternehmen dar (RAMSAUER 2013, S. 7). Beständig weiterentwickelte Sensoren und Aktoren ermöglichen einfachere, schnellere und kostengünstigere Anwendungen. Die Weiterverarbeitung der ausgetauschten Informationen bietet den vernetzten Objekten die Möglichkeit, zu kommunizieren und im nächsten Schritt sogar zu lernen und in bestimmten Situationen selbstständig zu agieren. Sie werden somit zu **intelligenten Systemen und Objekten**. (JASPERNEITE 2012) Dies erlaubt eine zielgerichtete **Automatisierung** einzelner (Teil-)Prozesse und führt insgesamt zu einem gesteigerten Automatisierungsgrad in der Produktion. Gleichzeitig sind Unternehmen sich jedoch den Vorteilen menschlicher Arbeitskräfte bewusst, weswegen verstärkt eine produktive Symbiose zwischen **Mensch und Maschine** angestrebt wird. Kreativität, Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sind nach wie vor Eigenschaften des Menschen, die eine Maschine nie im selben Maß oder nur unter sehr großem Aufwand in vergleichbarem Maß erzielen kann. (SPATH ET AL. 2013B, S. 52 ff.) Der Mensch wird somit in der Smart Factory als integraler Bestandteil gesehen.

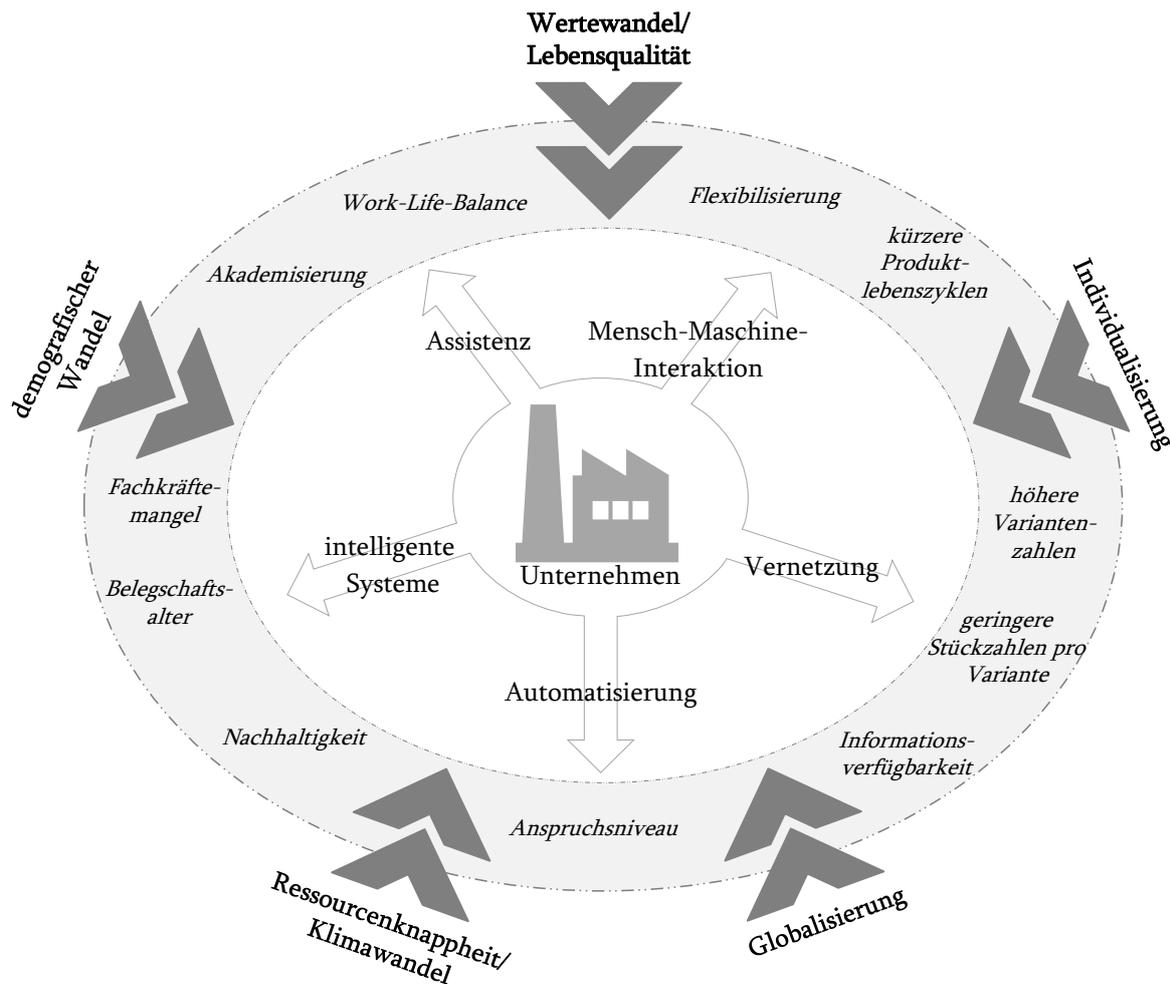


Abbildung 3-4: Handlungsoptionen produzierender Unternehmen zum Umgang mit äußeren Einflüssen in Anlehnung an VERNIM ET AL. (2019, S. 73)

Die Technologie dient als „Fähigkeitsverstärker physischer und kognitiver Leistungen“ (BOTTHOF & HARTMANN 2015, S. 4). Ihre Aufgabe ist es, die Menschen bei ihrer Arbeit zu unterstützen und mit ihnen zu interagieren. Für das Produktionspersonal bedeutet die zunehmende Individualisierung der Produkte und die damit einhergehenden geringeren Losgrößen eine Zunahme der Komplexität in ihrem Aufgabengebiet, da mit mehr Varianten, höheren Qualitätsanforderungen und mehr Mensch-Maschine-Schnittstellen umgegangen werden muss. Der fortschreitende demografische Wandel verstärkt zusätzlich den Bedarf nach einer Unterstützung der Mitarbeitenden. (TEUBNER ET AL. 2017, S. 66) **Assistenzsysteme** helfen sowohl kognitiv als auch physisch bei immer umfassenderen, variablen und komplexen Arbeitstätigkeiten.

Diese Entwicklungen ziehen neben den technischen und organisatorischen Veränderungen auch eine Reihe von Auswirkungen für die Belegschaft, ihre Tätigkeit und somit ihr Qualifikationsprofil nach sich (DOMBROWSKI ET AL. 2014, S. 141). Auf sie wird im folgenden Abschnitt ausführlich eingegangen.

### 3.2.3 Zukunftsbilder für die Arbeit in produzierenden Unternehmen

Um die Auswirkungen der zuvor erläuterten Veränderungen auf die manuelle Arbeit zu beschreiben, muss zunächst eine gesamtheitliche Vorstellung davon bestehen, in welchem Maße und welcher Kombination die Veränderungen innerhalb der gesamten Produktionsarbeit eintreten. Erst danach kann konkretisiert werden, wie sich die Arbeitsbedingungen innerhalb der manuellen Montage verändern und zu welchen Konsequenzen dies für die Mitarbeitenden führt (Abschnitt 3.2.4).

In der Literatur werden verschiedene Zukunftsbilder für die Entwicklung der Produktionsarbeit in Deutschland vorhergesagt. Ein Zukunftsbild beschreibt eine Hypothese künftiger Entwicklungen, um diese im Anschluss zu diskutieren. Das Ziel ist es, komplexe Zukunftsthemen in einem durchgängigen Gesamtbild anschaulich zu beschreiben und greifbar zu machen. Hierbei werden verschiedene Perspektiven berücksichtigt und meistens mehrere Entwicklungsmöglichkeiten dargestellt, um Diskussionen zu strukturieren, die wichtigsten Kernfragen zu identifizieren und eine Bewertung vorzunehmen. (BMBF 2015, S. 8) Die verschiedenen Zukunftsbilder unterscheiden sich in ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und darin wie konkret sie die Mitarbeitenden in ihrer Betrachtung fokussieren und sie zukünftig noch als relevantes und aktives Element in der Produktionsumgebung betrachten. Im Folgenden werden zunächst allgemeine, auf die gesamte Wirtschaft in Deutschland bezogene Zukunftsbilder vorgestellt, bevor Arbeiten erläutert werden, die konkrete Szenarien für die Produktionsarbeit beschreiben.

#### **Szenarien zu den Auswirkungen der Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt im Jahr 2030 nach LANDMANN & HEUMANN (2016)**

Mittels der sogenannten Foresight-Methode, einer strategischen Vorausschau, untersuchen die Autoren, welche Auswirkungen die Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt im

Jahr 2030 in Deutschland haben könnte. Eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe, bestehend aus Fachleuten für digitale Transformation und Arbeitsmarktexperten, entwickelte die sechs folgenden Szenarien für Deutschland (LANDMANN & HEUMANN 2016, S. 16 ff.):

- ***Ingenieursnation mit Herzchen:*** Unternehmen haben die digitale Transformation vollzogen und sind international wettbewerbsfähig. Durch die Technisierung der Produktion sinkt vor allem die Nachfrage nach Facharbeitern im mittleren Qualifikationsbereich, ein bedingungsloses Grundeinkommen verhindert extreme soziale Unterschiede.
- ***Silicon Countryside mit sozialen Konflikten:*** Nur wenige Unternehmen haben ein wettbewerbsfähiges, digitales Geschäftsmodell entwickelt, weswegen viele Geringqualifizierte keinen Arbeitsplatz mehr haben. Das Sozialsystem steht kurz vor dem Zusammenbruch.
- ***Rheinischer Kapitalismus 4.0:*** Es herrscht eine technologiefreundliche Stimmung in der vollständig digitalisierten Industrienation und die internationale Wettbewerbsfähigkeit wurde ausgebaut. Die meisten Menschen arbeiten als Selbstständige und erfahren große Nachfrage nach ihrer Arbeitsleistung. Besonders in den unteren Bildungsschichten herrscht jedoch hohe Arbeitslosigkeit und das bei einem sehr niedrigen Niveau der sozialen Absicherung.
- ***Digitale Hochburgen mit abgehängtem Umland:*** Außerhalb der Metropolregionen leidet die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft, da ein flächendeckender Ausbau der digitalen Infrastruktur verpasst wurde. In den Großstädten haben sich die Arbeitsverhältnisse kaum verändert, wohingegen der Arbeitsmarkt außerhalb der Metropolen sehr schwach ist.
- ***Digitale Evolution im föderalen Wettbewerb:*** Die Bundesländer haben einen sehr heterogenen Stand im Infrastrukturausbau, was den Erfolg der dort ansässigen Unternehmen beeinflusst. Die Produktion ist geprägt durch einen hohen Automatisierungsgrad. Hoch qualifizierte Fachkräfte sind äußerst gefragt und arbeiten häufig sehr flexibel und freiberuflich, während schwache Regionen wenige Möglichkeiten für ähnlich Qualifizierte oder Geringqualifizierte bieten.
- ***Digitales Scheitern:*** Die digitale Infrastruktur hat sich im Vergleich zum Jahr 2016 nicht weiterentwickelt. Deutschland ist im internationalen Vergleich nicht mehr

wettbewerbsfähig, da der Staat nicht die notwendigen Voraussetzungen für die Digitalisierung schaffen konnte. Es herrscht eine technologieunfreundliche Stimmung, der Arbeitsmarkt ist in allen Bereichen schwach und bietet sehr niedrige Gehälter.

### **Zukunftsbild des BMBF (2015) für das Jahr 2025**

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Hightech-Strategie beschriebene Zukunftsbild beschreibt praxisnah die industrielle Produktion im Jahr 2025. Fokusthemen dieses Zukunftsszenarios sind (BMBF 2015, S. 13 ff.):

- ***Individualisierte Produktionen:*** Kundenindividuelle Produkte werden trotz hoher Anlageninvestitionen in einer vernetzten, modularisierten und standardisierten Fabrik kostengünstig erzeugt.
- ***Vernetzte Unternehmen:*** Um für unerwartete Ereignisse eine hohe und schnelle Anpassungsfähigkeit zu realisieren, werden produktionsrelevante Prozesse unternehmensübergreifend vernetzt und aufeinander abgestimmt.
- ***Wettbewerbsvorteile flexibler Wertschöpfungsnetzwerke:*** Unternehmen arbeiten in horizontal und vertikal vernetzten Wertschöpfungsketten zusammen. Durch die umfassende Nutzung von Dienstleistungen innerhalb des Netzwerks wird eine hohe Zeit-, Qualität- und Kostenoptimierung ermöglicht.
- ***Nebeneinander von offenen und geschlossenen Produktionsnetzwerken:*** Während Auslastungsspitzen können freie Produktionskapazitäten anderer Unternehmen innerhalb der Netzwerke genutzt werden. Trotz der Vielfalt neuer Partnerorganisationen in den Netzwerken bleibt die persönliche Vertrauensbeziehung bei langjährigen Kooperationen aber von hoher Bedeutung.
- ***Arbeitskomfort durch intelligente Assistenzsysteme:*** Der Einsatz intelligenter Systeme unterstützt und entlastet die Produktionsbelegschaft. Der Fachkräftemangel führt zu einer personenorientierten Planung und Steuerung in den Unternehmen, was die Vereinbarkeit von Familie und Beruf weiter steigert.

**Perspektiven zur Entwicklung der Arbeit in der Industrie 4.0 nach HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL (2017)**

Auf Basis von Literaturrecherchen lässt sich ein breites Spektrum möglicher Entwicklungsperspektiven der Arbeit in der Industrie 4.0 herausarbeiten. HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL (2017, S. 363 ff.) identifizierten zu diesem Spektrum die zwei Pole „*Upgrading von Qualifikationen*“ und „*Polarisierung von Qualifikationen*“.

Ersterer bezeichnet eine Aufwertung der Qualifikationen, die auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt werden kann. Beispielsweise erfolgt sie quasi-automatisch, da einfache Tätigkeiten durch eine zunehmende Automatisierung mehr wegfallen. Aber auch komplexere Aufgaben werden durch die zunehmende Verfügbarkeit von Informationen am Arbeitsplatz aufgewertet (ZUBOFF 1988, S. 5 ff.). Dieses Phänomen wird als „skill-biased technological change“ bezeichnet und in umfangreichen Studien und Veröffentlichungen, beispielsweise von AUTOR ET AL. (1998, S. 1169 f.), CARD & DINARDO (2002) oder BRYNJOLFSSON & MCAFEE (2016, S. 163 ff.), ausführlich erläutert. Die Kernaussage ist, dass technologischer Wandel Personen mit mehr Humankapital begünstigt. Arbeitsorganisatorisch zeichnet sich diese Entwicklungsperspektive nach HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL (2017, S. 364) dadurch aus, dass es keine definierten Aufgaben für einzelne Beschäftigte gibt und das Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösendem Problem im und am technologischen System handelt.

Die zweite Entwicklungsperspektive sagt eine zunehmende Polarisierung der Qualifikationen vorher, welche davon ausgeht, dass im mittleren Qualifikationsbereich viele Aufgaben automatisiert werden können und somit wegfallen. Gleichzeitig werden anspruchsvolle, hochqualifizierte Aufgaben sowie einfache Tätigkeiten, die keiner Routine unterliegen und somit nicht automatisierbar sind, zunehmen. (ACEMOGLU & AUTOR 2011, S. 1070 ff.) BRYNJOLFSSON & MCAFEE (2016, S. 169) erläutern, dass nicht das Anspruchslevel einer Tätigkeit entscheidend für eine Automatisierung ist, sondern vielmehr, wie leicht die Tätigkeit zu automatisieren ist und ob eine Maschine sie besser ausführen könnte als ein Mensch. Die Arbeitsorganisation dieser Tendenz entspricht häufig einer Kombination aus Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung im hochqualifizierten Tätigkeitsbereich und einer zunehmenden Strukturierung und Standardisierung im niedrigqualifizierten Aufgabenbereich (HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL 2017, S. 366).

**Automatisierungs- vs. Werkzeug Szenario nach WINDELBAND & SPÖTTL (2011)**

Die am häufigsten herangezogenen Zukunftsbilder sind das *Automatisierungsszenario* und das *Werkzeug Szenario* nach WINDELBAND & SPÖTTL (2012). Während ersteres darauf basiert, dass die Autonomie versierter Fachkräfte durch das Vordringen fortschrittlicher Technik bei Anlagen und Maschinen eingeschränkt wird, werden im Werkzeug Szenario Systeme mit Werkzeugcharakter für qualifizierte Fachkräfte entwickelt (WINDELBAND & SPÖTTL 2012, S. 217). Diese beiden Entwicklungsrichtungen wurden im Rahmen einer Früherkennungsstudie am Anwendungsfall in der Logistik identifiziert. Dabei wurde erkannt, dass die zunehmende Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 dazu führen kann, dass die Technik genutzt wird, um Prozesse weiter zu automatisieren und die Fehlerhäufigkeit zu reduzieren. Das Aufgaben- und Anforderungsprofil an die Facharbeiter vereinfacht sich damit zunehmend ( $\hat{=}$  *Automatisierungsszenario*). Neue Technologien im Kontext der Digitalisierung können jedoch auch als Werkzeuge genutzt werden, um Arbeitsabläufe zu optimieren und die dadurch bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern frei gewordenen Kapazitäten für andere Aufgaben zu nutzen ( $\hat{=}$  *Werkzeug Szenario*). Diese Anreicherung führt zu umfangreicheren und vielfältigeren Aufgabenfeldern für die Belegschaft. (WINDELBAND & SPÖTTL 2011, S. 11)

**Drei Hauptaufgaben des zukünftigen Produktionspersonals nach SPATH ET AL. (2012) und SPATH ET AL. (2013A)**

SPATH ET AL. (2012, S. 52) und SPATH ET AL. (2013A, S. 48 ff.) stellen in ihren Beiträgen den Menschen in den Mittelpunkt ihrer Szenarien und unterscheiden drei Hauptaufgaben der Arbeitsperson in einer zukünftigen Produktionsumgebung. Der „*Mensch als Sensor*“ ergänzt und korrigiert bei Bedarf Informationen, wenn die technischen Möglichkeiten der Sensorik begrenzt sind oder eine vollautomatische Überwachung nicht rentabel umgesetzt werden könnte, um ein möglichst vollständiges und zuverlässiges Bild des Produktionsstatus zu erhalten. Er schließt somit Lücken in einer durch CPS überwachten Wertschöpfungskette (SPATH ET AL. 2012, S. 52) und optimiert die Gesamtsensorleistung des Systems (SPATH ET AL. 2013A, S. 48).

Der „*Mensch als Entscheider*“ muss aktiv werden, wenn die selbststeuernden Systeme an die Grenzen ihrer Entscheidungsfähigkeit gelangen, weil beispielsweise gegenläufige Prioritäten einzelner Aufträge aufeinander treffen oder die unregelmäßige, automatische Einplanung von Aufträgen zu Kapazitätsspitzen an einzelnen Anlagen führt (SPATH ET AL. 2012, S. 52). In diesen zeitkritischen Situationen muss der Mensch sehr schnell reagieren und trotz der hohen Komplexität der Systeme qualifizierte Entscheidungen treffen, wofür er eine passgenaue Aggregation und Visualisierung aller relevanten Informationen benötigt (SPATH ET AL. 2013A, S. 50). Die starke Kundenauftragsorientierung verlangt zukünftig noch mehr Flexibilität in den Produktionsprozessen als bisher, was dazu führt, dass menschliche Arbeit weiterhin eine zentrale Rolle innerhalb der Produktion spielen wird.

Der „*Mensch als Akteur*“ übernimmt weiterhin operative Aufgaben, die von hoher Flexibilität und dem Einsatz von Kapazitäten annähernd im Kundentakt geprägt sind. Hierfür sind umfangreiche Unterstützungsmaßnahmen, beispielsweise durch mobile und echtzeitfähige Geräte, notwendig, mit welchen räumlich, zeitlich und örtlich hochflexibles Arbeiten ermöglicht wird. (SPATH ET AL. 2012, S. 52 f.)

Es kann zusammengefasst werden, dass in der Literatur derzeit kein einheitliches bzw. allgemeingültiges Bild der zukünftigen Entwicklung der Arbeit im Kontext des technologischen Wandels existiert. Ein breites Spektrum an Zukunftsszenarien ist denkbar, welche sich je nach Ausgestaltung durch die Unternehmen negativ oder positiv auf das operative Personal in der Produktion auswirken können. In einigen Ausprägungen ähneln sich die vorgestellten Zukunftsbilder jedoch. Sie werden im folgenden Abschnitt erläutert und um weitere, speziell auf die Arbeit in der Montage fokussierte Veränderungen ergänzt.

### 3.2.4 Veränderungen der Arbeit innerhalb der manuellen Montage

Relevante und häufig vorgestellte Veränderungen, welche das Produktionspersonal betreffen, sind nach VERNIM ET AL. (2016, S. 569 ff.) und VERNIM ET AL. (2019, S. 75):

- Produktionsmitarbeitende arbeiten zukünftig zeitlich und örtlich flexibler.
- Monotone und repetitive Standardtätigkeiten fallen aufgrund zunehmender Automatisierung vermehrt weg.
- Komplexe Fragestellungen zur Lösung auftretender Probleme nehmen zu.

- Die Interaktion mit technischen Geräten aller Art wird intensiviert, beispielsweise durch Assistenzsysteme, mobile Geräte etc.
- Die Vernetzung mit technischen Systemen nimmt weiter zu und damit auch die Informationsflüsse zwischen den Systemen und der Belegschaft.
- Um mit den fortschreitenden technologischen Entwicklungen Schritt zu halten, wird die Bereitschaft der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu permanenter Weiterentwicklung und -bildung gefordert.
- Die Lebensarbeitszeit der Produktionsmitarbeitenden steigt an und Assistenzsysteme ermöglichen einen verlängerten produktiven Einsatz.

Allen Veränderungen ist gemein, dass sie das Arbeitssystem und die -organisation in den Unternehmen beeinflussen und daher nach sozialer Innovation und Transformation verlangen (RUMP & EILERS 2017, S. 79 f.). Damit können die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Beschäftigten reguliert werden, sodass die voraussichtlich zunehmende Arbeitsverdichtung sowie -geschwindigkeit, die ausgeweitete Erreichbarkeit und Transparenz in allen Prozessen die Belegschaft langfristig nicht überfordert, sondern zum Nutzen sowohl auf der Arbeitgeber- als auch Arbeitnehmerseite führt (RUMP & EILERS 2017, S. 81). Die Auswirkungen auf die Arbeitsbedingungen der Produktionsmitarbeitenden können nach HACKER & SACHSE (2014, S. 51 ff.) anhand der Anforderungen durch die Arbeitsaufgaben, die zur Verfügung stehenden Ressourcen und die auf die Ausführenden einwirkenden Belastungen beschrieben werden. DOMBROWSKI & WAGNER (2014, S. 352) vermuten im Rahmen einer Umsetzung von Industrie 4.0 steigende Personalanforderungen, da sowohl die Komplexität der Arbeitsaufgaben durch die Interaktion und die Bedienung von Automatisierungstechnik als auch die Variabilität der Aufgaben zunimmt. WASCHULL ET AL. (2020, S. 7) und BECKER & STERN (2016, S. 407) sowie die Studien der PROGNOSE AG (2012, S. 36 ff.) und von VÖGLER-LUDWIG & DÜLL (2013, S. 23 ff.) bestätigen diese Einschätzung.

Die Handlungsspielräume der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden durch die vermehrte Interaktion mit technischen Systemen ebenfalls verändert. Je nach konkreter Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Interaktionen kann dies zu erweiterten oder eingeschränkten Handlungsspielräumen für den Menschen führen (DOMBROWSKI & WAGNER 2014, S. 352). Im Falle einer ungünstigen Gestaltung dieser Interaktion kann dies eine

Überlastung oder fehlerhaftes Handeln der Mitarbeitenden begünstigen, wenn sie beispielsweise durch die Menge angezeigter Informationen kognitiv überfordert werden (BENGLER ET AL. 2017, S. 55). Der Umgang mit neuen Kommunikationstechnologien sowie die Anreicherung der Arbeitsaufgabe durch Planungs- oder Entscheidungsprozesse erfordern neue Kompetenzen der Belegschaft. Hinsichtlich der Belastungen wird erwartet, dass die Arbeitsumgebung menschenzentriert gestaltet wird und dadurch positive Veränderungen entstehen. Jedoch können sowohl durch komplexere Aufgabenstellungen als auch durch eine eingeschränkte Interaktion mit anderen Menschen Belastungen für die arbeitenden Personen hervorgerufen werden. (DOMBROWSKI & WAGNER 2014, S. 352)

Da die Veränderungen der Arbeit des Produktionspersonals aufgrund der Vielzahl an Trends und ihrer Ausgestaltung in der industriellen Praxis nicht allgemeingültig vorhergesagt werden können, müssen die Anforderungsprofile der Mitarbeitenden situationsbedingt ermittelt werden. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, die eine Anleitung und Anregung hierfür liefern. Sie werden im Folgenden eingeführt und ihre Tauglichkeit für den Einsatz im fortschreitenden digitalen Wandel der Produktionsarbeit bewertet.

### 3.3 Ermittlung von Anforderungen in der Personalentwicklung

Nach BECKER (2013, S. 915) ist die Anforderungsanalyse Bestandteil der Bedarfsanalyse im Personalwesen. Sie stellt die schulischen und beruflichen Abschlüsse, Qualifikationen, Fähigkeiten, Kompetenzen, Erfahrungen und Fertigkeiten dar, welche nötig sind, um die Tätigkeiten einer Stelle erfolgreich durchzuführen. Um die Anforderungen eines Arbeitsplatzes ausreichend zu erfüllen, muss die Arbeitsperson die entsprechenden Merkmale mitbringen, welche unter dem Begriff Kompetenzen zusammengefasst werden. Die beiden Begrifflichkeiten Anforderung und Kompetenz beschreiben inhaltlich somit dasselbe Merkmal, jedoch aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse werden im Anforderungsprofil festgehalten. Wie im Abschnitt 2.2.3 erläutert, müssen dafür detaillierte Kenntnisse über die notwendigen Tätigkeiten und Tätigkeitsbedingungen vorliegen, welche im Rahmen einer Arbeitsanalyse gewonnen werden. Somit ist die Anforderungsanalyse eine spezielle Form der Arbeitsanalyse, bzw. basiert auf einer solchen.

Um diese Kenntnisse zu erlangen, muss zunächst der betrachtete Arbeitsplatz bzw. das jeweilige Arbeitssystem, in dem die Arbeitsperson tätig ist, analysiert werden. Diese Analyse der Arbeitssituation wird Arbeitssystemanalyse genannt. Sie schließt den gesamten Arbeitsplatz einschließlich aller an ihm enthaltenen Arbeitssystemelemente und sein Umfeld ein. Außerdem werden die gestellten Aufgaben, die geltenden Arbeitsbedingungen und Interaktionen mit anderen Personen berücksichtigt. (BERTHEL & BECKER 2013, S. 248) Zunächst wird das Arbeitssystem in seine Bestandteile zerlegt und neben den einzelnen Elementen auch die Beziehungen der Elemente untereinander und ihre Wirkungen aufeinander untersucht. Die Analyse der organisatorischen Rahmenbedingungen sowie der Arbeitsaufgaben erlaubt im Anschluss die Untersuchung der Arbeitstätigkeiten und die Ableitung der benötigten Anforderungen. (MCGEHEE & THAYER 1967, S. 25)

Für Unternehmen ist es das Ziel, an den einzelnen Arbeitsplätzen jeweils eine Übereinstimmung der Arbeitsplatzanforderungen mit den Personenmerkmalen und Qualifikationen der jeweiligen Arbeitsperson zu erreichen (KAUFFELD & MARTENS 2014, S. 212). Ist diese Übereinstimmung nicht gegeben, besteht Handlungsbedarf, um die Über- oder Unterqualifikation zu beheben und Leistungsverluste zu vermeiden (VERNIM ET AL. 2019, S. 87 f.). Typischerweise werden Anforderungsanalysen deshalb vor allem nach der Neugestaltung oder Veränderung von Arbeitsplätzen oder bei der Neubesetzung von Stellen durchgeführt (KAUFFELD & MARTENS 2014, S. 212). In diesen Fällen sind der Aufbau, der Inhalt und die Funktion der betrachteten Arbeitssysteme bereits klar definiert, was die Durchführung der Analyse erleichtert und die Qualität des Ergebnisses positiv beeinflusst.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Arbeitsplätze und -systeme, ist es nicht möglich eine eindeutige, methodische Vorgehensweise für die Anforderungsermittlung vorzugeben. Vielmehr müssen strukturiert und systematisch Hypothesen und plausible Überlegungen zu den Arbeitsplätzen aufgestellt werden, von welchen anschließend die Anforderungen abgeleitet werden. (WATZKA 2014, S. 30) Dennoch gibt es Modelle und Untersuchungen, welche die Erstellung der unternehmensspezifischen Profile unterstützen. Einige der am häufigsten in der Praxis Eingesetzten werden im folgenden Abschnitt beleuchtet.

In der Literatur existieren verschiedene Arten von Anforderungs- bzw. Kompetenzkatalogen, welche unterstützen, geeignete Elemente für die Beschreibung von Stellen zu finden und zu benennen. Dabei können einerseits allgemeingültige Kataloge unterschieden werden, die bereits seit längerem etabliert sind und die versuchen, ein umfassendes Spektrum

möglicher Arbeitsplätze abzudecken. Andererseits gibt es gerade im Kontext der Digitalisierung eine Reihe neuerer Arbeiten, die sich vor allem mit den Auswirkungen auf die Industrie 4.0 beschäftigen und Anforderungskataloge für digitales Arbeiten vorstellen.

### 3.3.1 Allgemeine Kompetenzmodelle

Als sehr etabliert im Bereich des Personalmanagements gelten der Kompetenzatlas von HEYSE & ERPENBECK (2009) und das Five-Factors-Modell (FFM) von THURSTONE (1934).

#### **Kompetenzatlas nach HEYSE & ERPENBECK (2009)**

Der Kompetenzatlas von HEYSE & ERPENBECK (2009) unterscheidet vier Kompetenzgruppen, welchen insgesamt 64 Teilkompetenzen zugeordnet sind. Neben der Gruppe „Personale Kompetenzen“ werden die „Aktivitäts- und Handlungskompetenzen“, „Sozial-kommunikative Kompetenzen“ und „Fach- und Methodenkompetenzen“ unterschieden. Die 64 Teilkompetenzen sind immer einer Hauptgruppe zugeordnet, können anteilig jedoch auch zu anderen Kompetenzgruppen gehören. Der Kompetenzatlas entstand im Jahr 2004, indem 300 kompetenzerfassende Begriffe von 150 Personen aus den Fachbereichen Personalführung, Erwachsenenbildung und Lernpsychologie den vier Hauptgruppen, auch Basiskompetenzen genannt, zugeordnet wurden. (HEYSE & ERPENBECK 2004, S. XXI)

#### **Five-Factors-Modell nach THURSTONE (1934)**

Das Five-Factors-Modell (FFM) wird auch Big-Five-Modell genannt, da es die Persönlichkeitsmerkmale, die ein Mensch haben kann, in fünf wesentliche Faktoren kategorisiert. Sie wurden in einer umfangreichen Faktorenanalyse identifiziert und dienen dazu, die personalen Fähigkeiten eines Menschen sowohl mittels Selbst- als auch Fremdeinschätzung zu beschreiben. (THURSTONE 1934) Nach HOLTBRÜGGE (2015, S. 129) lauten sie: Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Gewissenhaftigkeit und Verträglichkeit. Sie wurden in der Vergangenheit häufig in Studien verwendet und weiterentwickelt, weshalb die exakten Bezeichnungen der Faktoren manchmal variieren (STEMMLER ET AL. 2016, S. 370).

### 3.3.2 Untersuchungen zukünftiger Kompetenzen im Kontext der digitalen Transformation

Seit dem stetigen Voranschreiten des digitalen Wandels, wird in der Literatur zunehmend diskutiert, welche Kompetenzveränderungen durch die steigende Digitalisierung auf die Arbeitenden zukommen. Ähnlich wie bei der Beschreibung der Veränderung der Arbeit aufgrund der Digitalisierung in den Abschnitten 3.2.3 und 3.2.4, ist es auch für die Kompetenzveränderungen nicht möglich, eindeutige und unternehmensspezifische Aussagen zu treffen. Die Veränderungen hängen von zu vielen Einflüssen und Parametern ab, die nicht für jedes Unternehmen gleich sind. Verschiedene Studien und Untersuchungen beschäftigen sich zwar mit der Fragestellung. Jedoch können sie lediglich verschiedene Szenarien und Richtungen für die Veränderungen aufzeigen. Dabei verwenden sie unterschiedliche Forschungsmethoden und legen ihren Schwerpunkt auf verschiedene Aspekte der Fragestellung. Fünf der bekanntesten und somit relevanten Arbeiten in diesem Kontext werden im Folgenden vorgestellt, wobei vor allem auf ihre Untersuchungsschwerpunkte und Vorgehensweisen eingegangen wird.

#### **Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 der acatech**

Im Rahmen der von ACATECH (2016) durchgeführten Kompetenzentwicklungsstudie wurde zunächst der gegenwärtige Zustand der betrachteten Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 analysiert und auf dieser Basis ihre zukünftigen Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfe ermittelt. Im Fokus standen vor allem kleine und mittlere Unternehmen. In der Befragung wurden sowohl zukünftige Unternehmenskompetenzen als auch zukünftige Fähigkeiten der Beschäftigten abgefragt und die Unternehmen um eine Einschätzung ihrer Bedarfe gebeten. (ACATECH 2016, S. 12 ff.)

Im Anschluss an die Studienergebnisse wurden Handlungsempfehlungen für die Politik, Wirtschaft und Bildungsinstitutionen abgeleitet, die beinhalteten, welche Randbedingungen geschaffen werden sollten und welche inhaltliche Ausrichtung zukünftige Aus- und Weiterbildungsangebote fokussierten sollten, um die Unternehmen bei der digitalen Transformation voranzubringen. Zusätzlich wurde ein Orientierungskonzept entwickelt, das Qualifizierungsoptionen in Bezug auf Digitalisierung, Assistenzsysteme und flexible Lernmethoden aufzeigt und Unternehmen unterstützen soll, die Kompetenzentwicklung ihrer

Beschäftigten voranzutreiben. Dieses Konzept stützt sich jedoch in erster Linie auf die Maßnahmen zur Kompetenzentwicklung und nicht auf die Ermittlung der benötigten Kompetenzen.

### **FutureWork@Production von Detecon Consulting**

Die Analyse „FutureWork@Production“ der Managementberatung Detecon Consulting skizziert die Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Arbeitsplätze in einzelnen Produktionsbereichen (WAGNER ET AL. 2017). Im Fokus der Analyse stehen die Jobprofile „Entwicklungsingenieur“, „Produktionsplaner“, „Kommissionierer“, „Betriebsingenieur“, „Instandhalter“, „Qualitätsprüfer“ und „CRM-Analyst“. Die Profile decken eine große Bandbreite der Produktionsbereiche ab, umfassen jedoch lediglich die genannten Stellen und keine anderen Profile. Anhand dieser Jobprofile wird beschrieben, wie sich die Tätigkeiten der Mitarbeitenden, die Arbeitsumgebung und die eingesetzten Werkzeuge bis zum Jahr 2022 verändern werden. (DETECON INTERNATIONAL GMBH 2016) Eine Vorgehensweise für Unternehmen, um individuelle Jobprofile zu erstellen, wird nicht zur Verfügung gestellt.

### **„Arbeit 4.0: Arbeiten in der digitalen Welt“ des Clusters „it's OWL“**

Das Ziel des genannten Forschungsprojekts war die Erstellung einer Praxisstudie, um unternehmensspezifische Herausforderungen einer digitalisierten Arbeitswelt zu analysieren und die vorhandenen Potenziale mitarbeitergerecht und wertschöpfend einzusetzen. Zur Beschreibung der unternehmensspezifischen Situation wurden Handlungsfelder identifiziert, zu denen das anwendende Unternehmen Leitfragen beantworten kann, um eine Herleitung benötigter Kompetenzen und Qualifikationen vorzunehmen. (ALTEMEIER ET AL. 2017) Die Leitfragen geben eine gute Orientierung zur ersten Näherung der zukünftig benötigten Kompetenzen. Allerdings sind sie nicht in ein ganzheitliches Vorgehen eingebettet, sondern werden lediglich am Beispiel der Integration einer Virtual-Reality-Brille als Assistenzsystem erläutert.

## **Verbundprojekt „Kompetenzmanagement für die Facharbeit in der High-Tech-Industrie“ (PROKOM 4.0)**

Im Projekt PROKOM 4.0 wurden Konzepte für das betriebliche Kompetenzmanagement entwickelt und erprobt, die einen besonderen Schwerpunkt auf die Erkennung zukünftiger Kompetenzanforderungen in der Facharbeit und die Entwicklung geeigneter Qualifizierungsmaßnahmen setzen. Es entstand unter anderem ein Leitfaden, mit dessen Hilfe Personalverantwortliche eine unternehmensspezifische Bestandsaufnahme ihres Kompetenzmanagements durchführen und anschließend Maßnahmen zur Kompetenzentwicklung auf Basis identifizierter Anforderungsänderungen ableiten können. (BFW GMBH 2017) Dieser Leitfaden liefert gute Ansätze zur Ermittlung der aktuellen Situation am Arbeitsplatz und unterstützt durch den strukturierten Aufbau der unterschiedlichen Befragungsblöcke die Schaffung eines zukünftigen Anforderungsprofils. Zusätzlich wurden weitere Instrumente zum Kompetenzmanagement auf strategischer Ebene (MIETZNER ET AL. 2017) oder zur Ermittlung einer passgenauen Qualifizierung (GLOYSTEIN 2017) entwickelt. Insgesamt sind die erarbeiteten Lösungen inhaltlich gut geeignet, um unternehmensindividuelle Aussagen über zukünftige Anforderungsprofile zu machen, die Durchführung ist jedoch sehr umfangreich, da das gesamte Unternehmen und die strategische Ausrichtung untersucht wird.

### **Kompetenzen der Zukunft: Arbeit 2030**

Der Herausgeberband von MOLINA ET AL. (2018) beschäftigt sich mit der zentralen Frage, wohin sich die Kompetenzen der Erwerbsarbeit zukünftig entwickeln müssen und wie diese Weiterentwicklung im Unternehmen organisiert werden kann (ZEPPENFELD & OLMANN (2018), MICHAILOWA & RÖHRIG (2018)). Beiträge aus der Wissenschaft und der Praxis stellen Kompetenzmanagement-Konzepte für die Zukunft sowie Praxisbeispiele vor. Eine einheitliche, anwendbare Lösung, welche Unternehmen in ihrem individuellen Umfeld einsetzen können, wird jedoch nicht gegeben.

### 3.4 Ableitung des Handlungsbedarfs und der Zielsetzung

Die Erläuterungen der vorhergehenden Abschnitte dieses Kapitels lassen drei Rückschlüsse bezüglich des wissenschaftlichen Handlungsbedarfs hinsichtlich der Anforderungsermittlung für die manuelle Montage in der digitalen Transformation zu.

Zunächst wurde gezeigt, dass produzierende Unternehmen in hohem Maß durch externe Megatrends beeinflusst werden, die zu signifikanten Veränderungen innerhalb der Produktion führen. Beispielsweise führt der zunehmende Wunsch der Kunden nach mehr Individualisierung zu mehr Produktvarianten, was die Produktion vor Herausforderungen stellt. Es existieren zwar unterschiedliche Publikationen, welche Ansätze zur Strukturierung der Industrie 4.0 entwickelten und Technologien identifizierten, die in diesem Kontext besonders relevant sind. Allerdings sind diese Ansätze sehr allgemeingültig und umfassend. Sie fokussieren eher die technischen Möglichkeiten im Bereich der IT und weniger konkrete Anwendungsfälle für die Produktion.

Der zweite Rückschluss, der auf Basis des ersten abgeleitet werden kann, ist, dass es für Unternehmen aktuell kein methodisches Vorgehen gibt, mit welchem individuelle Auswirkungen der Veränderungen im eigenen Umfeld für die Produktionsarbeitsplätze und die daran tätigen Personen ermittelt werden können. Es existieren zwar eine Reihe möglicher Zukunftsbilder für die Produktionsarbeit, jedoch sind auch diese allgemeingültig. Eine Übertragung auf unternehmensspezifische Gegebenheiten ist mit hohem Aufwand verbunden und nicht explizit vorgesehen.

Hinsichtlich zukünftiger Kompetenzen der Produktionsbelegschaft und der an sie gestellten Anforderungen gilt Ähnliches. Verschiedene Studien widmen sich diesen Themen, jedoch weisen auch sie Lücken und Herausforderungen bei der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit auf konkrete Unternehmen auf. Alle vorgestellten Arbeiten versuchen allgemeingültige und unternehmensunabhängige Aussagen zu treffen. Keine der Arbeiten befasst sich im Speziellen mit den Besonderheiten der Montage und den operativen Montagearbeitsplätzen. Hierdurch wird es für ein einzelnes Unternehmen schwierig, die vorgestellten Konzepte auf das eigene Umfeld und die spezifischen Arbeitssituationen zu übertragen. Oftmals ist spezielles Expertenwissen oder die Erfahrung der Methodenentwickelnden nötig, wodurch es für Unternehmen aufwändig und kostenintensiv wird, entsprechende Analysen durchzuführen. Etablierte Kompetenzmodelle und -kataloge, wie der

Kompetenzatlas von HEYSE & ERPENBECK (2004) oder das Five-Factors-Modell, initiiert von THURSTONE (1934), könnten zwar Abhilfe schaffen. Allerdings decken sie verschiedene Arten von Arbeit und Arbeitsplätzen ab. Der Großteil der in ihnen beschriebenen Eigenschaften und Personenmerkmale trifft auf Führungskräfte oder Tätigkeiten im indirekten Bereich zu. Es handelt sich in beiden Fällen nicht um anwendbare Methoden, mit denen strukturiert Anforderungen eines Arbeitsplatzes ermittelt werden können, sondern eher um umfassende, theoretische Zusammenstellungen möglicher Kompetenzausprägungen. Aufgrund ihres Alters ist bei beiden Ansätzen außerdem nicht gewährleistet, dass alle Anforderungen, die im Laufe der Zeit durch sich wandelnde Arbeitsbedingungen an Wichtigkeit gewonnen haben, auch in ausreichender Form berücksichtigt sind.

In der folgenden Abbildung 3-5 werden diese Rückschlüsse noch einmal zusammengefasst und die daraus resultierende Forschungslücke aufgezeigt.

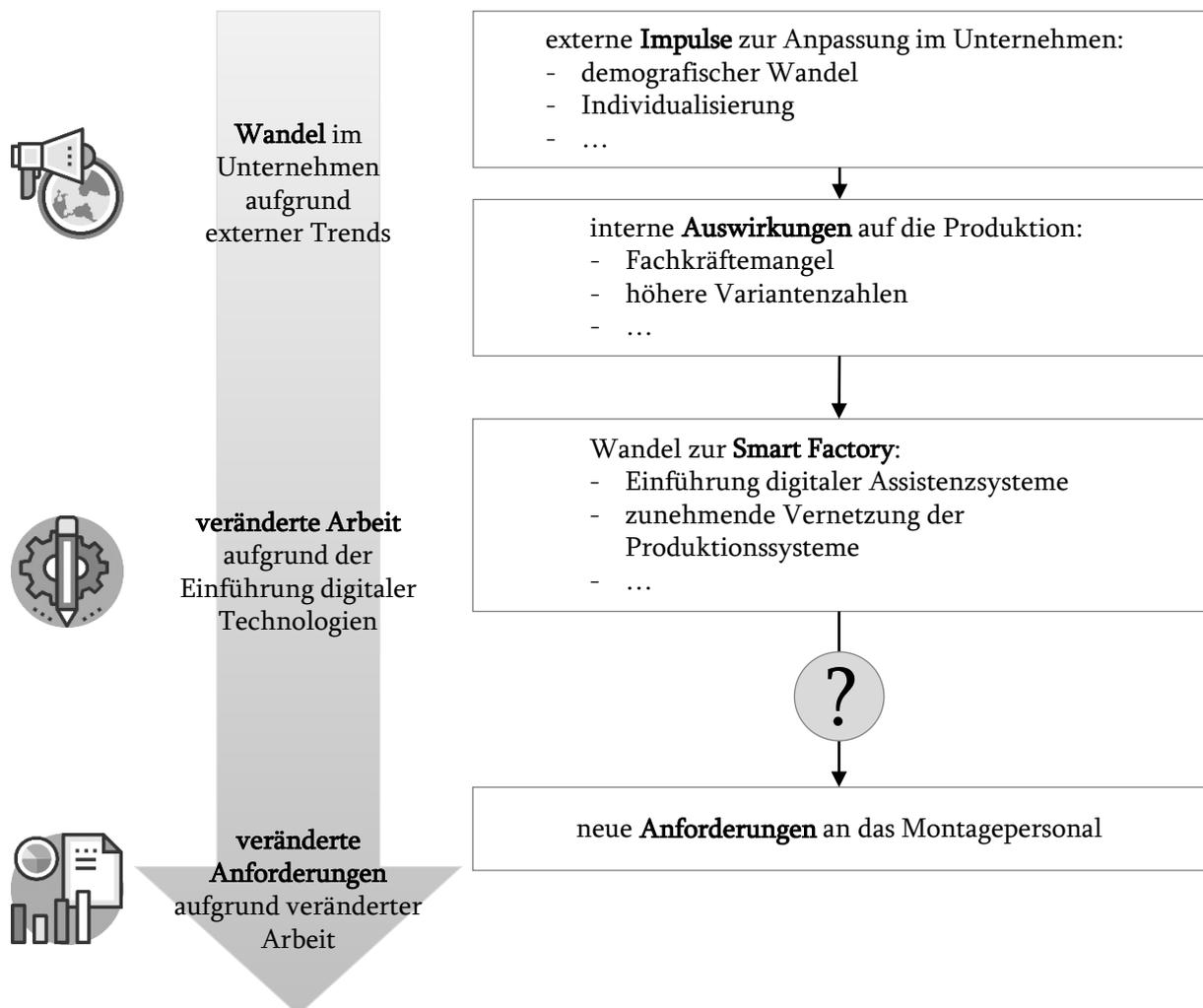


Abbildung 3-5: Herausforderung und Forschungslücke im beschriebenen Kontext

Es besteht Forschungsbedarf zu der Frage, wie auf Basis veränderter Arbeitsbedingungen, welche durch den Wandel zu einer Smart Factory herbeigeführt werden, neue oder veränderte Anforderungen an das Montagepersonal abgeleitet werden können.

Die vorliegende Arbeit ist der Anwendungsforschung zuzuordnen. Daher ist es ihr Ziel, eine anwendungsorientierte Lösung zu entwickeln, mit deren Hilfe produzierende Unternehmen für konkrete Arbeitsplätze in ihrer Montage Aussagen über zukünftige Kompetenzbedarfe bzw. Anforderungen an das Montagepersonal machen können.

Aktuelle Ergebnisse aus der Literatur können allenfalls dazu verwendet werden, den Lösungsraum zu beschreiben und eine Sammlung möglicher Anforderungen zu liefern. Einfache und in Unternehmen anzuwendende Lösungsansätze zur Anforderungsermittlung in der Smart Factory wurden bisher jedoch keine identifiziert.

Somit besteht das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit darin, *eine anwendbare Methode für Unternehmen zu schaffen, mit deren Hilfe effizient und effektiv die benötigte Personalsituation für manuelle Arbeitsplätze in der digitalen Transformation zu einer Smart Factory geschaffen* werden kann.

## 4 Anforderungen und Konzeption der Methode

Dieses Kapitel beschreibt zunächst Anforderungen, die an die zu entwickelnde Methode gestellt werden (Abschnitt 4.1). Sie dienen einerseits als Leitplanken, um Orientierung während der inhaltlichen Erarbeitung im Kapitel 5 zu bieten, andererseits werden sie für die abschließende Evaluierung des Ergebnisses im Kapitel 6 herangezogen. Aufbauend darauf werden die Grundstruktur der Methode und das Vorgehen zur ihrer Entwicklung beschrieben (Abschnitt 4.2).

### 4.1 Anforderungen an die Methode

Um die am Ende des vorherigen Kapitels beschriebene Forschungslücke zu schließen, wird eine Methode in drei Schritten entworfen, welche es Unternehmen ermöglicht, die Anforderungen für manuelle Montagearbeitsplätze in einer Smart Factory zu ermitteln.

Eine *Method*e beschreibt nach LINDEMANN (2009, S. 57) ein planmäßiges und regelbasiertes Vorgehen, nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind. Sie ist als Vorschrift zu verstehen, zielorientiert und auf die Lösung einer Aufgabenstellung oder eines Problems fokussiert. Dabei gibt sie die Abfolge und die Art und Weise der Durchführung von Tätigkeiten zur Erreichung eines Ziels vor und definiert Werkzeuge, die an ausgewählten Stellen anzuwenden sind. HÄDER (2015, S. 13) beschreibt eine Methode daher als ein System von Handlungsanweisungen, mit denen bestimmte Erkenntnisse realisiert, Resultate erzielt oder Informationen gesammelt werden können. Methoden können durchaus auch zur Unterstützung konkreter Schritte in einer anderen Methode eingesetzt werden. (LINDEMANN 2009, S. 57 f.) In dieser Arbeit wird der Begriff Methode als übergeordnete Bezeichnung für ein definiertes Vorgehen zur Zielerreichung verstanden.

Die in dieser Forschungsarbeit entwickelte Methode stellt ein Vorgehen in drei Schritten dar, wobei für jeden Schritt definierte Werkzeuge geschaffen werden, die bei der Durchführung unterstützen. Um den eingangs beschriebenen Forschungsbedarf zielgerichtet zu

decken, werden Anforderungen an die Gestaltung und Ausführung der Methode gestellt. Eine **Anforderung** bezeichnet nach ISO 29148-2018 (S. 4) eine Aussage, die einen Bedarf sowie damit einhergehende Beschränkungen und Voraussetzungen ausdrückt. Das bedeutet, eine Anforderung ist der spezifische, präzise und widerspruchsfreie Ausdruck für einen oder mehrere Bedarfe (ISO 29148-2018, S. 5). Im Rahmen der präskriptiven Studie der Design Research Methodology nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009, S. 141 f.) gilt die Definition von Anforderungen als ein wichtiger, erster Schritt, um zunächst zu klären, welche Faktoren besonders relevant sind, um eine zielführende Lösung zu entwickeln.

Für die Anforderungsdefinition der entwickelten, wissenschaftlichen Methode wird nach Gütekriterien (= allgemeine Anforderungen), anwendungsbezogenen Anforderungen und inhaltlichen Anforderungen unterschieden. Die hier definierten Anforderungen dienen im Kapitel 6 zur Bewertung der Vorgehensweise im Rahmen der durchgeführten Evaluation. Zur einheitlichen Bewertung der Erfüllung der definierten Anforderungen wird die in der folgenden Tabelle 4-1 dargestellte Metrik verwendet.

Tabelle 4-1: Metrik zur Bewertung der Anforderungserfüllung

Ausprägung der Anforderung	Symbol
nicht erfüllt	
teilweise erfüllt	
größtenteils erfüllt	
voll erfüllt	
nicht entscheidbar	

#### 4.1.1 Allgemeine und anwendungsbezogene Anforderungen

Um die Wissenschaftlichkeit einer methodischen Vorgehensweise sicherzustellen, müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein. Die drei sogenannten Gütekriterien sind Objektivität, Reliabilität und Validität. Wenn sie erfüllt sind, ist gewährleistet, dass das Ergebnis der Methode nicht willkürlich oder zufällig zustande gekommen ist. (HELFRICH 2016, S. 95)

- **Objektivität:** Erfüllt eine Methode dieses Kriterium, ist sichergestellt, dass eine andere Anwenderin oder ein anderer Anwender bei einer Untersuchung desselben Sachverhalts mit denselben Werkzeugen zu einem vergleichbaren Resultat kommt. (BORTZ & DÖRING 2006, S. 326) Das Ergebnis einer Methode darf folglich nicht davon abhängig sein, wer die Durchführung vornimmt. (HELFRICH 2016, S. 96)
- **Reliabilität:** Sie bezieht sich bei einer methodischen Vorgehensweise auf die Zuverlässigkeit. Wenn bei wiederholten Messungen unter vergleichbaren Bedingungen dasselbe Ergebnis entsteht, gilt eine Methode als zuverlässig und damit reliabel (HELFRICH 2016, S. 96). Sie ist somit ein Maß für die Reproduzierbarkeit einer Vorgehensweise (HÄDER 2015, S. 105).
- **Validität:** Dieses Kriterium kann auch als Gültigkeit bezeichnet werden. Eine Methode ist valide, also gültig, wenn sie genau das erfasst, was erfasst werden soll (HELFRICH 2016, S. 97). Sie stellt nach HÄDER (2015, S. 109) somit die inhaltliche Funktionstüchtigkeit der Methode sicher.

Neben diesen allgemeingültigen Anforderungen an eine wissenschaftliche Vorgehensweise werden für die vorliegende Arbeit die folgenden anwendungsbezogenen Anforderungen definiert. Sie müssen für die praktische Anwendung der geschaffenen Vorgehensweise erfüllt sein:

- **Übertragbarkeit:** Sie bezeichnet die Möglichkeit das Vorgehen auf unterschiedliche Situationen und Anwendungsfälle innerhalb des im Abschnitt 1.3 beschriebenen Betrachtungsrahmens zu übertragen. Dabei wird sichergestellt, dass das Vorgehen sowohl für andere Arbeitsplätze als auch in unterschiedlichen, produzierenden Unternehmen und verschiedenen Branchen anwendbar ist. Das bedeutet, dass die Werkzeuge der Methode mit vertretbarem Aufwand an arbeitsplatz-, unternehmens- bzw. branchenspezifische Gegebenheiten anpassbar sind. Gegebenenfalls müssen die Werkzeuge der Methodenschritte dahingehend erweiterbar sein, dass bewertungsrelevante Einflussfaktoren oder Kriterien für den spezifischen Anwendungsfall ergänzt werden können.

- **Nachvollziehbarkeit:** Die Ergebnisse der Methode müssen für anwendende Personen nachvollziehbar erreicht werden, damit ihnen im Nachgang vertraut werden kann. Die transparente Gestaltung der Bewertungsschritte, die das Verständnis unterstützt, geht damit eng einher. Hierzu müssen Zusammenhänge klar erkennbar sein, Formulierungen verständlich gewählt werden sowie das Vorgehen in sich konsistent, d. h. widerspruchsfrei, gestaltet sein.
- **Anwendbarkeit:** Die Vorgehensweise muss so aufgebaut und beschrieben sein, dass Nutzende sie ohne zusätzliche Vorkenntnisse zur Durchführung verwenden können. Dazu muss sie detailliert beschrieben sowie einfach und intuitiv gestaltet sein. Die Methode sollte eine möglichst schnelle und vorbereitungsarme Durchführung erlauben, sodass Aufwand und Nutzen in bestmöglichem Verhältnis zueinander stehen. Es sind keine aufwändigen Datenerhebungen oder -analysen nötig, um Ergebnisse zu generieren. Zusätzlich muss die Methode eine Lösung für den jeweiligen Kontext, in dem sie durchgeführt wird, liefern. Dies bedeutet, dass sie nicht nur bei theoretischer Betrachtung zu einer Lösung führen darf, sondern sie muss auch im industriellen Kontext der vorgesehenen Anwendung eine praktische Lösung bieten.

### 4.1.2 Inhaltliche Anforderungen

Die inhaltlichen Anforderungen an die Methode beschreiben, wie der Inhalt bzw. die Ergebniserreichung gestaltet sein soll. Hierfür wurden die folgenden vier Anforderungen definiert:

- **Lösungsorientierung:** Das Vorgehen zur Anforderungsermittlung in der Smart Factory ist so zu gestalten, dass es sowohl für die zuständigen Produktionsverantwortlichen als auch für die zuständigen Personalreferenten eine Unterstützung bei der Identifikation benötigter Qualifizierungsmaßnahmen darstellt. Eine vollständige quantitative Lösung kann in diesem Kontext nicht allgemeingültig erreicht werden, da Vorhersagen über die Zukunft getroffen werden müssen, die aufgrund ihres prospektiven Charakters nicht mit vollständiger Sicherheit gemacht werden können. Deswegen soll die Methode so aufgebaut sein, dass sie

möglichst konkrete Aussagen bezüglich der benötigten Anforderungen liefert, so dass diese in möglichst guter Näherung zu einer quantitativen Aussage kommen.

- ***Ganzheitlichkeit:*** Um eine umfassende Analyse benötigter Qualifizierungsmaßnahmen zu ermöglichen, soll die Methode eine ganzheitliche, d. h. vollständige, Aussage zu künftigen Anforderungen am Montagearbeitsplatz in einer Smart Factory machen und nicht nur bestimmte Anforderungsfelder berücksichtigen. Um dies zu bewerkstelligen, ist es wichtig, nicht nur Trends, sondern auch technische und nicht-technische Einflüsse und Veränderungen an den Arbeitsplätzen, in die Analyse zu integrieren.
- ***Anwendungsbereichsorientierung:*** Die Zielgruppe für die entwickelte Methode sind produzierende Unternehmen mit einem signifikanten Anteil manueller Montage in ihrer Produktion, die aufgrund zunehmender Digitalisierung Veränderungen an den Arbeitsplätzen und Tätigkeiten ihrer Belegschaft erwarten. Diesen Schwerpunkt soll die Methode vermitteln. Darüber hinaus sollen die in ihr enthaltenen Werkzeuge so gestaltet sein, dass Nutzende aus dieser Zielgruppe sie problemlos verstehen und anwenden können. Dies bezieht sowohl eine entsprechende sprachliche als auch inhaltliche Anpassung ein.
- ***Flexibilität:*** Innerhalb des beschriebenen Anwendungsbereichs soll die Methode für jeden Arbeitsplatz verwendbar sein. Zusätzlich soll sie adaptierbar sein, sollten sich die Trends und äußeren Einflüsse, welche auf die Arbeitsplätze wirken, zukünftig verändern. So kann sichergestellt werden, dass das wissenschaftliche Vorgehen zur Ermittlung der Anforderungen auch weiterhin genutzt werden kann.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die spezifizierten Anforderungen nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind, sondern sich gegenseitig beeinflussen und bedingen. Beispielsweise wirkt die Erreichung der Ganzheitlichkeit, d. h. die Betrachtung umfassender Kriterienkataloge, unter Umständen negativ auf die Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit der Methode, weil die Bewertung umfangreicher und umständlicher wird. Zusammenhänge dieser Art sind bereits bei der Entwicklung der Methodenschritte und werkzeuge zu berücksichtigen und bei Bedarf entsprechende Kompromisse zu implementieren.

## 4.2 Leitgedanke und Grundstruktur der Methode

Um die im Abschnitt 1.3 beschriebene Zielstellung dieser Arbeit zu erreichen, muss die Methode aus zwei Sichtweisen dargestellt und entwickelt werden.

1. **Wissenschaftliche Sichtweise:** Sie stellt die Betrachtung aus Entwicklersicht dar und beschreibt, wie in der vorliegenden Forschungsarbeit vorgegangen wurde, um die Anwendungsmethode und die dafür nötigen Werkzeuge zu entwickeln.
2. **Anwendungssichtweise:** Sie stellt die Betrachtungsweise der anwendenden Person der Methode dar und beschreibt aus dieser Sicht, welche Werkzeuge, Anleitungen und Gestaltungshinweise zu nutzen sind, um eine erfolgreiche Durchführung zu gewährleisten.

Die nachfolgenden Ausführungen erläutern wie die Methode aus beiderlei Sichtweisen gestaltet ist. Abbildung 4-1 stellt das Vorgehen zur wissenschaftlichen Erarbeitung sowie die Grundstruktur der Anwendungsmethode dar. In den Abschnitten 5.2 bis 5.4 werden die Werkzeuge der Methode entwickelt. Dies stellt die wissenschaftliche Sichtweise dar. Die Anwendung dieser Werkzeuge wird aus Anwendungssicht im Abschnitt 6.1 genauer erläutert.

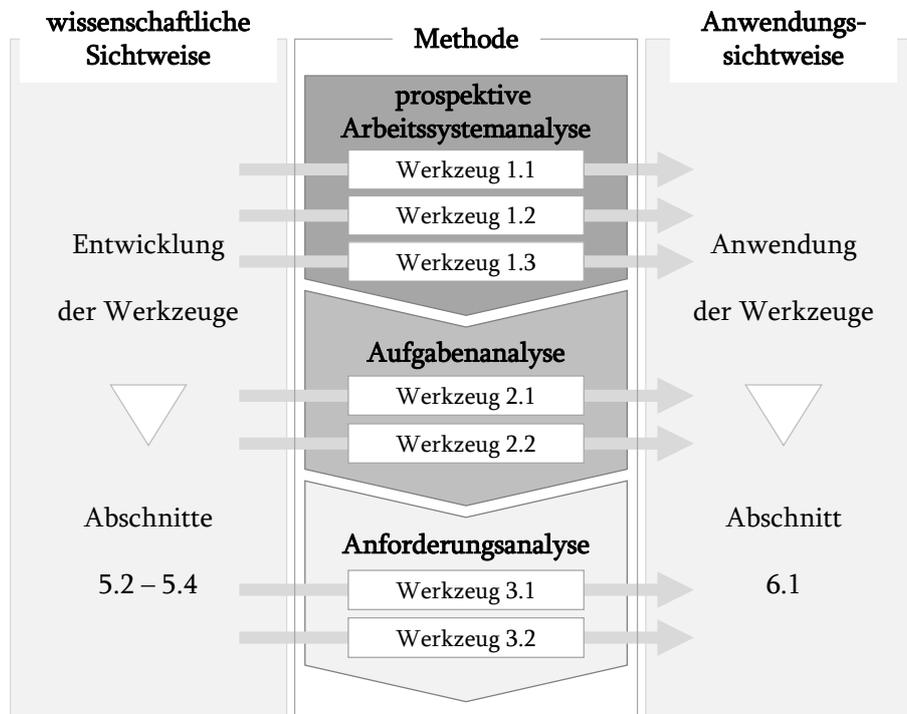


Abbildung 4-1: Sichtweisen und Grundstruktur der Methode

Um die industrielle Nutzung sicherzustellen, muss die Methode ein passendes Aufwand-Nutzen-Verhältnis für die Anwendenden schaffen. Dies gelingt durch eine anforderungsgerechte Gestaltung der Methode, wie im vorhergehenden Abschnitt 4.1 ausgeführt. Die Anwendbarkeit wird sichergestellt, indem die Anwendungsmethode schrittweise aufgebaut ist, sodass die Nutzenden jederzeit nachvollziehen können, wie der Ablauf gestaltet ist und welche Vorgänge als nächstes durchzuführen sind. In der Abbildung 4-1 ist die schrittweise Methode in der Mitte der Grafik zwischen der wissenschaftlichen Sicht und der Anwendungssicht dargestellt. Für jeden der drei Methodenschritte prospektive Arbeitssystemanalyse, Aufgabenanalyse und Anforderungsanalyse müssen die entsprechenden Werkzeuge und Hilfsmittel wissenschaftlich erarbeitet werden, die herangezogen werden, um den jeweiligen Methodenschritt durchzuführen. Dies entspricht der präskriptiven Studie gemäß der Design Research Methodology nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009).

Inhaltlich orientiert sich die zu entwickelnde Methode zur Anforderungsermittlung in der digitalen Transformation in ihrer Struktur an den beiden Verfahren zur Arbeitsplatzanalyse von BERTHEL & BECKER (2013) und zur Analyse der Trainingsbedarfe nach MCGEHEE & THAYER (1967). Beide wurden im Abschnitt 2.2.2 vorgestellt und schlagen vor, den Arbeitsplatz bzw. das Arbeitsumfeld im Detail zu analysieren, um möglichst spezifisch die Anforderungen des Arbeitsplatzes zu beschreiben. Für den Anwendungsfall und den Aufbau der Methode dieser Arbeit (s. Abbildung 4-1) bedeutet dies, dass zunächst das prospektive Arbeitssystem, das durch die digitale Transformation zur Smart Factory entstehen wird, beschrieben werden muss, um spezifische Anforderungen eines zukünftigen Arbeitsplatzes zu ermitteln. Erst dann können Aussagen über die konkreten Arbeitsaufgaben an diesem zukünftigen Arbeitsplatz gemacht werden. Dies entspricht im Wesentlichen einer *prospektiven Arbeitssystemanalyse*, bei der die Beschreibung der Arbeitsmittel, der Arbeitsumgebung sowie der Arbeitsorganisation erfolgt (BLICKLE 2014, S. 209). Im Anschluss erfolgt die *Aufgabenanalyse*, welche der Ableitung der spezifischen Anforderungen gleichkommt. Bei dieser stehen die Leistungsvoraussetzungen von Personen, die für die erfolgreiche Bewältigung der jeweiligen Aufgaben benötigt werden, im Mittelpunkt (BLICKLE 2014, S. 209). Danach erfolgt der Schritt der *Anforderungsanalyse*, in welchem das zukünftige Anforderungsprofil des Arbeitsplatzes mit dem heutigen Kompetenzprofil der Arbeitsperson verglichen wird. Auf dieser Basis werden schließlich Handlungsempfehlungen für die Qualifizierung der Belegschaft entwickelt.



## 5 Konkretisierung und Entwicklung der Methode

*„Der beste Weg, die Zukunft vorauszusagen, ist, sie zu gestalten.“*

*(Willy Brandt, 1913-1992)*

Während im Kapitel 4 die Anforderungen an die zu entwickelnde Methode und ihre Grundstruktur beschrieben wurden, widmet sich das folgende Kapitel der Erarbeitung und Anwendung der drei genannten Methodenbausteine und stellt damit die präskriptive Studie im Forschungsvorgehen vor (s. Abschnitt 1.4.3). Das einleitende Zitat von Willy Brandt kann als Motto für die Schaffung der beschriebenen Methode verstanden werden. Es illustriert, dass die aktive Gestaltung der Zukunft eine Möglichkeit ist, um sicherzustellen, dass sie auch in dieser Form eintritt. Unternehmen kann dies in die Lage versetzen, trotz aller Unsicherheiten, die durch den schnellen Wandel der Gesellschaft und der Technologien entstehen, selbstbestimmt und proaktiv ihre eigene Zukunft zu beeinflussen. Besonders im Produktionsumfeld, das im digitalen Wandel von einer Vielzahl technologischer Veränderungen geprägt ist, bietet sich ein großer Handlungsspielraum für die Unternehmen die Zukunft zu gestalten. Dies kann jedoch nur erfolgreich gelingen, wenn trotz aller Unsicherheiten eine strukturierte und fundierte Entscheidung bezüglich der zukünftigen Gestaltung der Arbeitssysteme ermöglicht wird.

### 5.1 Kapitelüberblick – Gesamtheit der Methode

In diesem Abschnitt werden auf Basis der im vorherigen Kapitel erläuterten Grundstruktur detailliert die einzelnen Bausteine und Werkzeuge der Methode skizziert. Für beide Sichtweisen auf die Methode werden die einzelnen Entwicklungs- und Anwendungsschritte in Abbildung 5-1 dargestellt. Die Schnittstelle sind jeweils die Methodenwerkzeuge in der Mitte. Zu jedem Werkzeug folgt ein Abschnitt in diesem Kapitel, in dem erläutert wird, wie es entwickelt wurde, bevor im Abschnitt 6.1 die Anwendung erläutert wird.

Im Methodenschritt *prospektive Arbeitssystemanalyse* zielen die Werkzeuge 1.1 und 1.2 auf die Beantwortung der Forschungsfrage 1 aus Abschnitt 1.4.2 ab. Werkzeug 1.3 ermöglicht die Beantwortung der Forschungsfrage 2. Die Forschungsfrage 3 wird vom Methodenschritt *Aufgabenanalyse* beantwortet. Die *Anforderungsanalyse* mit ihren Richtlinien zur Darstellung des Anforderungsprofils und zur Ableitung von Handlungsempfehlungen liefert schließlich die Antwort auf Forschungsfrage 4.

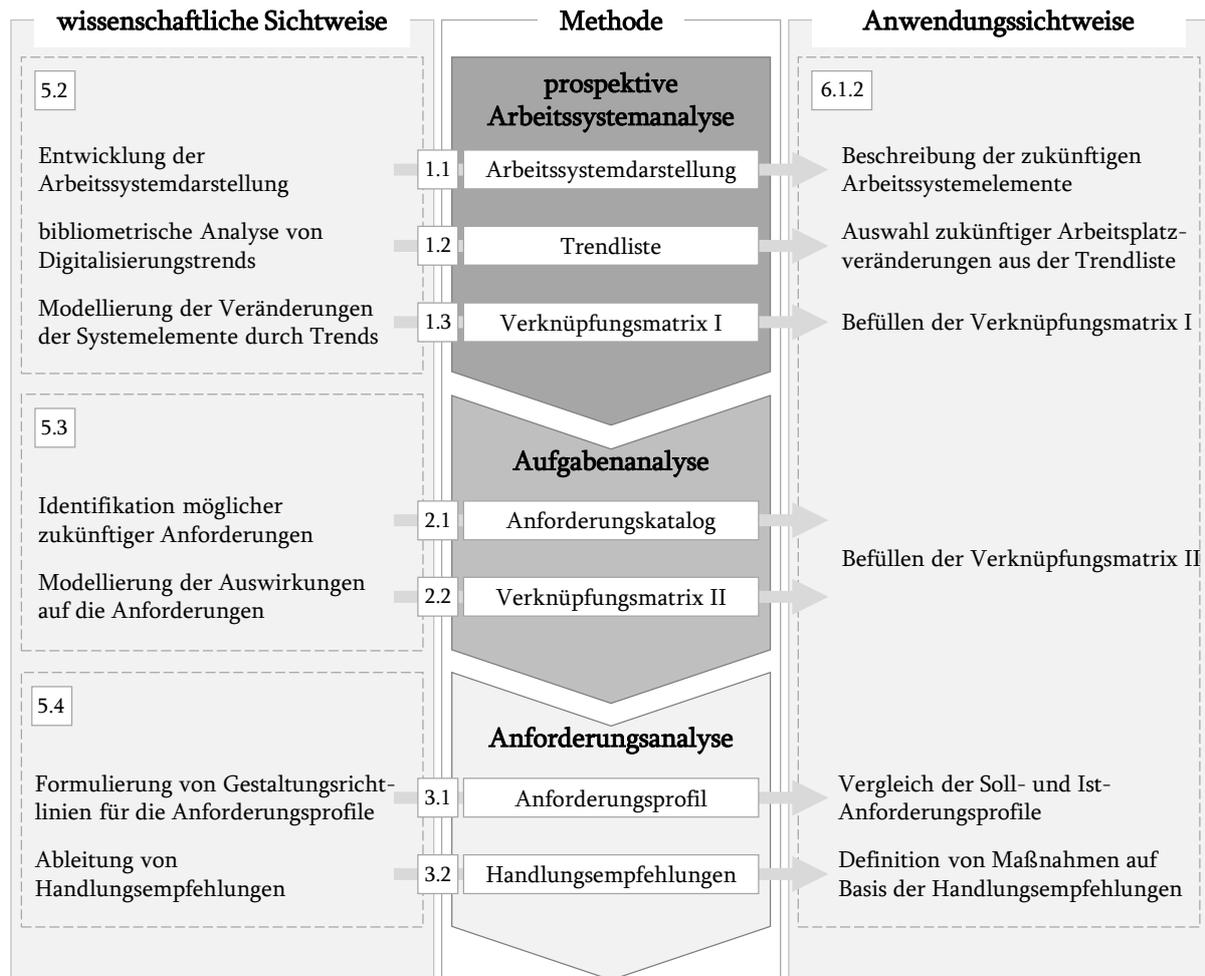


Abbildung 5-1: Methodisches Vorgehen zur Ermittlung zukünftiger Anforderungen in der Smart Factory

Die drei Methodenschritte entsprechen den Teilzielen und Schritten zur Zielerreichung wie sie eingangs im Abschnitt 1.3 erläutert wurden.

Die Basis für die Ermittlung und Beschreibung konkreter Anforderungen ist ein detailliertes Systemverständnis, mit dessen Hilfe ein konkretes und belastbares Zukunftsbild für den Montagearbeitsplatz geschaffen werden kann. Das Ziel des ersten Methodenschritts ist es,

dieses zu entwickeln. Dafür werden der anwendenden Person verschiedene Werkzeuge zur Verfügung gestellt. Zunächst verschafft sie sich mittels einer Systemanalyse ein vertieftes Verständnis für den betrachteten Arbeitsplatz und die darin enthaltenen Komponenten (Werkzeug 1.1 – Arbeitssystemdarstellung). Mit der Unterstützung der Trendliste (Werkzeug 1.2) kann anschließend festgestellt werden, welche Veränderungen am Arbeitsplatz aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung zu erwarten sind. Mittels einer Verknüpfungsmatrix I (Werkzeug 1.3) wird ermittelt, wo, in welcher Form und wie stark die Veränderungen die einzelnen Systemelemente beeinflussen.

Mit dieser Aussage erfolgt im zweiten Schritt die Ableitung zukünftiger Anforderungen. Dazu nutzen die Anwendenden das Werkzeug 2.1, einen Anforderungskatalog, welcher eine Übersicht möglicher Kompetenzen in der Smart Factory bietet. Aus diesen Anforderungen werden mit einer weiteren Verknüpfungsmatrix II (Werkzeug 2.2) die extrahiert, welche aufgrund der veränderten Systemelemente zukünftig eine Veränderung erfahren oder neu hinzukommen.

Die veränderten Anforderungen werden schließlich im dritten Schritt in ein Anforderungsprofil (Werkzeug 3.1) übertragen. Hierfür ist eine Bewertung der Ausprägung einer jeden Anforderung nötig. So entsteht das Soll-Anforderungsprofil des betrachteten zukünftigen Arbeitsplatzes. In einem Vergleich mit dem aktuell vorhandenen Ist-Kompetenzprofil der Arbeitsperson werden Qualifizierungspotenziale identifiziert. Die Personalverantwortlichen können mit dem Werkzeug 3.2 (Handlungsempfehlungen) konkrete Maßnahmen für ihre Belegschaft erarbeiten.

## 5.2 Baustein 1 – Zukünftige Gestaltung des Montagesystems

Das Ziel des ersten Bausteins ist es, ein möglichst detailliertes Systemverständnis des zukünftigen Arbeitsplatzes zu schaffen, das auch die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitsplatzelementen aufzeigt. Mit diesen Informationen kann ermittelt werden, wo und in welcher Form sich ein externer Einfluss im Arbeitssystem niederschlägt, beispielsweise durch die Integration einer neuen Technologie am Arbeitsplatz. Außerdem bewirken die Einflüsse Veränderungen bei den Systemelementen. Um das Systemverständnis für

diese Veränderungen zu schaffen, wurden für den Methodenschritt *prospektive Arbeitssystemanalyse* drei Werkzeuge für die Anwendung entwickelt.

Mit diesen Werkzeugen werden die beiden Forschungsfragen

1) *Welche Trends im Umfeld produzierender Unternehmen sind ausschlaggebend für die Transformation in eine Smart Factory und welche davon beeinflussen in welchem Maß das Arbeitssystem und die darin durchzuführende Arbeit?*

und

2) *Mittels welcher methodischen Vorgehensweise kann dieser Einfluss auf die Arbeit im beschriebenen Arbeitssystem möglichst quantitativ bestimmt werden?*

beantwortet.

### 5.2.1 Werkzeug 1.1: Systemdarstellung des manuellen Montagearbeitsplatzes

Um die anwendende Person zu unterstützen, sich eine klare Vorstellung des zukünftigen Montagearbeitsplatzes zu schaffen, wurde die in Abbildung 5-2 gezeigte Darstellung eines Arbeitssystems in der manuellen Montage entwickelt.

Das Ziel der Arbeitssystemdarstellung ist es, eine allgemeingültige Struktur zu bieten, mit der Montagearbeitsplätze beschrieben werden können. Sie stellt sicher, dass bei der Anwendung keine wesentlichen Elemente und Aspekte des Arbeitsplatzes übersehen werden. Nach VERNIM ET AL. (2019, S. 78 f.) hilft eine solche Darstellung, die systemrelevanten Elemente am Arbeitsplatz und ihre Interaktion zu identifizieren. Diese werden im späteren Verlauf der Vorgehensweise analysiert und bewertet.

Die Basis für die Weiterentwicklung des gezeigten Arbeitssystems sind die von REFA und SCHMIDTKE (1993) definierten Systemelemente (s. Abschnitt 2.1.3). Jedoch weisen bisherige Systemdarstellungen meist einen eher abstrakten Charakter auf. Sie legen keinen speziellen Fokus auf Montagearbeitsplätze, sondern beschreiben allgemeingültig Arbeitssysteme jeder Art. Ihre Darstellungsform ist daher nicht hauptsächlich dafür gedacht, eine ausführliche Arbeitsplatzbeschreibung zu ermöglichen, sondern eher dafür, die prinzipielle Struktur und die grundlegenden Elemente darzustellen und auf dieser Basis anschließend eine ergonomische Bewertung des Arbeitssystems vorzunehmen (SCHMIDTKE 1976, S. 9 ff.).

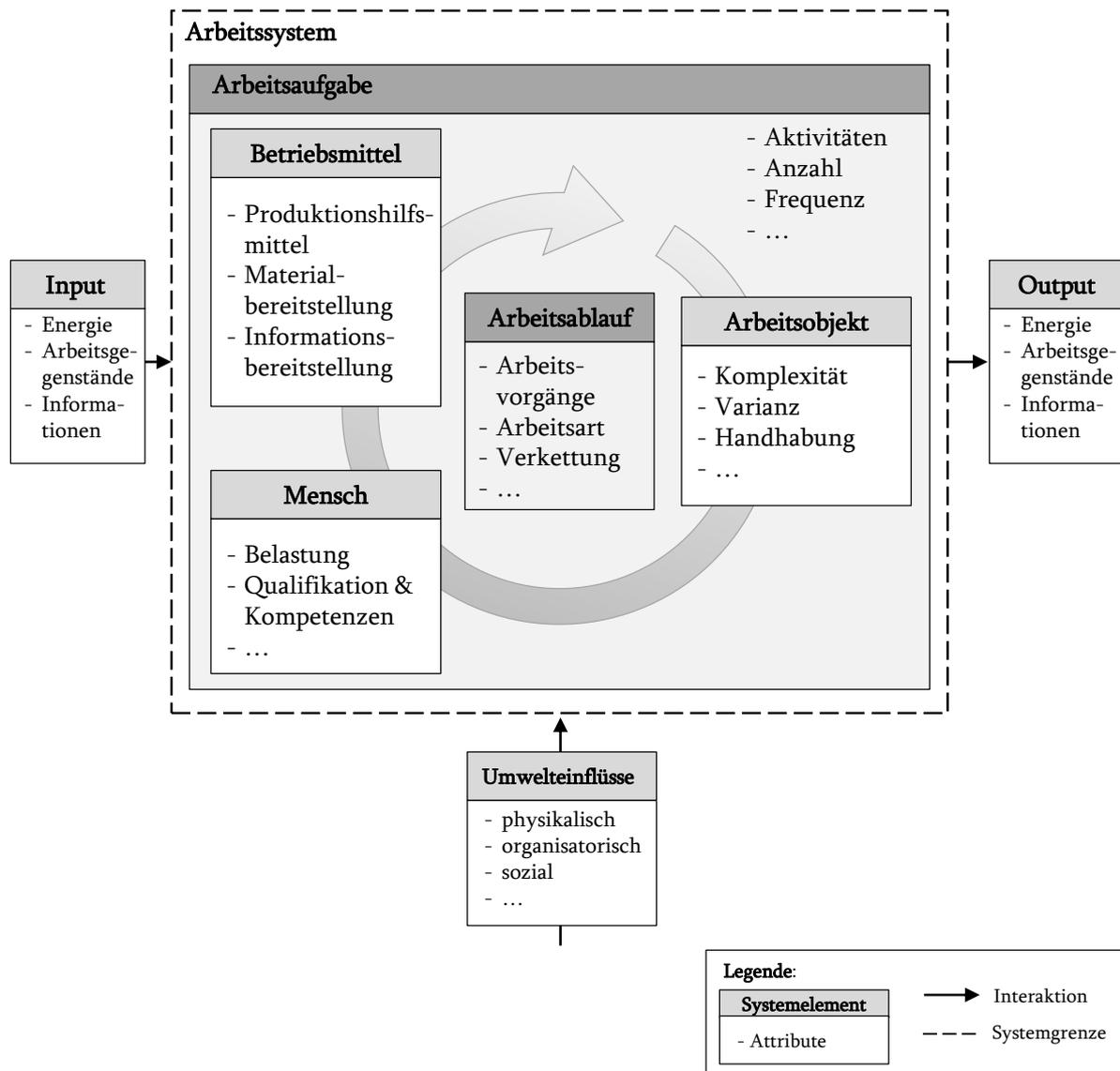


Abbildung 5-2: Arbeitssystem in der manuellen Montage

Durch die Spezialisierung auf den Anwendungsfall des Arbeitsplatzes in der manuellen Montage entsteht eine detailliertere Darstellungsform, die bei der Nutzung dabei unterstützt, einen spezifischen Arbeitsplatz umfassend zu beschreiben, um ihn im weiteren Verlauf für die Identifikation von Arbeitsanforderungen zugrunde zu legen.

Das Arbeitssystem dient dazu, einen gegebenen Input in einen vorgegebenen Output zu verwandeln. Dies geschieht durch die Erfüllung einer Arbeitsaufgabe, welche an einem Montagearbeitsplatz meistens darin besteht, ausgewählte Bauteile zu montieren. Die Arbeitsaufgabe beschreibt die notwendigen Aktivitäten, die vom Menschen ausgeführt werden müssen. Der Arbeitsablauf hingegen konkretisiert die räumliche und zeitliche Abfolge

dieser Aktivitäten und der daran beteiligten Elemente. Daher ist er in der Abbildung 5-2 symbolisiert durch einen kreisförmigen Pfeil, welcher die Elemente Betriebsmittel, Arbeitsobjekt und Mensch miteinander verbindet (TROPSCHUH 2018, S. 52). In der klassischen REFA-Lehre werden Betriebs- und Arbeitsmittel in einem Systemelement zusammengefasst. Für die hier entwickelte Darstellung wurden beide getrennt voneinander betrachtet. Das Arbeitsmittel entspricht hierbei dem Arbeitsobjekt, also dem Produkt bzw. Bauteil an dem montiert wird bzw. welches durch die Montage entsteht.

Tabelle 5-1: Attribute der Arbeitssystemelemente

<b>Element</b>	<b>Attribut</b>	<b>beispielhafte Ausprägungen am Arbeitsplatz</b>
Mensch	Belastung	Art (physisch, psychisch), Dauer, Umfang,...
	Qualifikation & Kompetenzen	Fähigkeiten, Fertigkeiten, Ausbildungsstand, Erfahrung,...
	Disposition & Konstitution	Körperbau, Kulturkreis, Alter, Intelligenz,...
Betriebsmittel	Produktionshilfsmittel	Werkzeuge, Bedienhilfen, Lastenhandhabung,...
	Materialbereitstellung	Art (Schüttgut, Batch,...), Anzahl, Frequenz,...
	Informationsbereitstellung	Frequenz, Umfang, Art der Darstellung,...
Arbeitsobjekt	Komplexität	Anzahl Teile, Schwierigkeit der Aufgabe,...
	Varianz	Anzahl, Frequenz, Schwierigkeit,...
	Handhabung	Vorrichtung, Werkstückträger,...
Input	Energie	Elektrizität, Druckluft,...
	Arbeitsgegenstände	Rohstoffe, Halbfabrikate, Betriebs- und Hilfsstoffe,...
	Information	Arbeitsanweisungen, Zeichnungen, Arbeitspläne,...
Output	Arbeitsgegenstände	Qualität, Quantität,...
	Energie	Emission, Wärme,...
	Information	Auftragspapiere, Prüfdokumente,...
Umwelteinflüsse	physikalisch, chemisch, biologisch	Lärm, Temperatur, Lichtverhältnisse, Luft,...
	organisatorisch	Entlohnung, Eingruppierung, Arbeitszeiten, Führungsstil,...
	sozial	Gruppendynamik, Konjunktur, privates Umfeld, Führungsstil,...
Arbeitsablauf	Arbeitsvorgänge	Verrichtung, Bewegungsabläufe, Tätigkeitsart,...
	Arbeitsart	körperlich (mechanisch, motorisch), geistig (kreativ, kombinatv),...
	Verkettung	starr, elastisch, lose,...

Die größte Veränderung ist, dass die Systemdarstellung nicht mehr nur die Systemelemente und ihre Interaktionen untereinander im Rahmen des Arbeitsablaufs umfasst, sondern, dass jedes Systemelement durch entsprechende Attribute genauer erläutert wird (TROPSCUH 2018, S. 52). Attribute werden in der Softwareentwicklung im Rahmen der objektorientierten Programmierung dazu genutzt, eine Klasse näher zu beschreiben bzw. sie zu charakterisieren. Sie entsprechen im Wesentlichen also Eigenschaften. Typischerweise werden sie durch Substantive oder Adjektive dargestellt. (NOACK 2001, S. 93) Während Abbildung 5-2 vor allem das Zusammenspiel der einzelnen Elemente miteinander darstellt, detailliert die Tabelle 5-1 die einzelnen Systemelemente und zeigt, welche Ausprägungen die Attribute beispielhaft annehmen können. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da Montagearbeitsplätze so individuell gestaltet werden können, dass es nicht möglich erscheint, alle denkbaren Ausprägungen in einer Liste zu sammeln. Durch die umfassende Darstellung denkbarer Attribute liefert sie jedoch eine gute Näherung für die Beschreibung eines Arbeitsplatzes. Die Anwendenden müssen gegebenenfalls weitere, spezielle Attribute für ihre Anwendungsfälle hinzufügen.

Da im späteren Verlauf auf Basis der Arbeitssystembeschreibung die Anforderungen an die Beschäftigten abgeleitet werden, muss bei der Detaillierung der Systemelemente besonderer Fokus auf die gelegt werden, die eine Belastung für die Mitarbeitenden darstellen bzw. aus denen konkrete Anforderungen an die Belegschaft entstehen könnten.

Der Mensch als Ausführer im Arbeitssystem manuelle Montage spielt dabei eine Schlüsselrolle. Er wird über seine Leistungsvoraussetzungen charakterisiert, die er mitbringt, um eine Arbeitsaufgabe erfolgreich zu erfüllen. Für die vorliegende Systembeschreibung sind vor allem die Belastungen, welche am Arbeitsplatz auf ihn zukommen, entscheidend. Hierbei wird typischerweise zwischen physischen und psychischen Belastungen unterschieden, welche durch die Arbeitsaufgabe, die -organisation und die -umgebung entstehen (BULLINGER 1994, S. 30). Des Weiteren sind die Konstitution und Disposition eines Menschen wesentliche Bestimmungsgrößen seiner Leistung. Auch wenn diese beiden Größen und ihre dazugehörigen Aspekte nur schwer oder gar nicht veränderlich sind, sollten sie für die Beschreibung des Arbeitssystems berücksichtigt werden, da sie eine Limitation darstellen, die in der späteren Anforderungsanalyse unbedingt beachtet werden sollte.

Auch Betriebsmittel beeinflussen durch den Umfang, die Dauer sowie die Art ihres Einsatzes die entstehenden Belastungen für die Beschäftigten (BULLINGER 1994, S. 31). Klassifiziert wurde dieses Systemelement gemäß DIN 6385 (S. 7). Es werden jedoch für die vorliegende Systemdarstellung nur die Betriebsmittel berücksichtigt, die auch am Arbeitsplatz zum Einsatz kommen können. Hierzu gehören Produktionshilfsmittel, die Material- und die Informationsbereitstellung. Zu ersteren zählen Werkzeuge, bei denen beispielsweise die Art der Bedienung, beispielsweise über Kopf, einhändig etc., oder die Masse spezifiziert werden sollte. Die Materialbereitstellung wirkt sich durch die Art der Bereitstellung, beispielsweise als Schüttgut oder als Einzelanlieferung, durch die Häufigkeit, also die Frequenz der Bereitstellung und den jeweiligen Umfang pro Bereitstellung, direkt auf die Mitarbeitenden aus.

In der ursprünglichen Systemdarstellung nach REFA (1993, S. 120) ist zwar das Arbeitsobjekt nicht explizit enthalten, da es jedoch aufgrund seiner Gestaltung einen wesentlichen Einfluss auf die Tätigkeiten der Mitarbeitenden und ihre Belastung hat, wurde es in die Systemdarstellung aufgenommen. Hierfür wurde die Einordnung nach LUCZAK (1998, S. 27) zu Grunde gelegt, der in seiner Arbeitssystemdarstellung das Arbeitsobjekt als Arbeitsgegenstand interpretiert, auf den der Mensch über die Arbeitsmittel einwirkt. Für die Konkretisierung des zukünftigen Arbeitssystems spielen vor allem die Attribute Komplexität, Varianz und Handhabung des Arbeitsobjekts eine große Rolle. Sie bestimmen, welche Anforderungen aus dem Arbeitsobjekt heraus für die Arbeitsperson entstehen.

Als Attribute des Systemelements Input wurde auf die von REFA (1993, S. 120 f.) vorgestellten Kategorien Arbeitsgegenstände, Energie und Information zurückgegriffen. Die Unterteilung des Outputs bezieht sich ebenfalls auf diese Quelle, wobei bei den Arbeitsgegenständen ein spezieller Fokus auf der Qualität und Quantität der Produkte oder Halbzeuge liegt.

Die Kategorisierung der Umwelteinflüsse richtet sich ebenfalls nach REFA (1993, S. 121). Hierbei sollte besonderes Augenmerk auf Einflüsse und Veränderungen gelegt werden, welche im Kontext aktueller Megatrends auftreten und indirekt den Arbeitsplatz beeinflussen könnten. Als Beispiel sei an dieser Stelle der Wertewandel in der Gesellschaft angeführt, der eventuell eine veränderte Leistungsbereitschaft oder Priorisierung des Stellenwerts der beruflichen Leistung der Belegschaft verursacht, ohne dass sich die absoluten Leistungsmerkmale der einzelnen Beschäftigten offensichtlich verändern.

Der Arbeitsablauf als räumliches und zeitliches Zusammenwirken von Mensch, Arbeitsmitteln und den restlichen Elementen im Arbeitssystem (DIN 6385, S. 7) beschreibt, wer, wo, wann und womit den Input in das System gemäß der Arbeitsaufgabe in den Output überführt (REFA 1993, S. 124). Die Arbeitsvorgänge beschreiben die einzelnen Abschnitte des Ablaufs und werden weiter unterteilt in verschiedene Bewegungselemente (vom Menschen ausgeführt) oder Prozesselemente (von Betriebsmitteln ausgeführt) (REFA 1993, S. 125 f.). Weitere Attribute sind die Verkettung der verschiedenen Arbeitsplätze und die Arbeitsart, welche aussagt, ob körperliche oder geistige Arbeitsvorgänge durchgeführt werden müssen.

### 5.2.2 Werkzeug 1.2: Trendliste

Die als zweites Werkzeug zu nutzende Trendliste unterstützt die Produktionsverantwortlichen, ein belastbares Bild des zukünftigen Montagearbeitsplatzes zu schaffen. Auf dieser Basis können anschließend Veränderungen für die Arbeit ermittelt werden. Sie stellt eine Sammlung aktueller Digitalisierungstrends und -technologien dar, welche an Montagearbeitsplätzen in einer Smart Factory eingesetzt werden können. Sie kann somit als Ideenpool oder Inspiration für die Verantwortlichen dienen, wenn noch keine belastbare Vorstellung für den zukünftigen Arbeitsplatz besteht.

Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern gibt eine Übersicht zum jeweiligen Zeitpunkt, zu dem sie erstellt wurde. Das Verfahren zur Entwicklung dieser Trendliste ist auf ähnliche Problemstellungen übertragbar und kann jederzeit erneut durchgeführt werden, um neueste Entwicklungen im Kontext der Produktion zu berücksichtigen.

### **Grundlagen zur Bibliometrie**

Zur Entwicklung der Trendliste wurde als wissenschaftliche Methode hauptsächlich die bibliometrische Analyse eingesetzt. Bibliometrie bezeichnet die Anwendung mathematischer und statistischer Methoden auf Bücher und andere Formen der Publikation mit dem Ziel, quantitative Aussagen über die Wissenschaftskommunikation zu tätigen (PRITCHARD 1969). Es steht vor allem die Zählung und Analyse der schriftlichen Publikationen

im Fokus (BALL & TUNGER 2005, S. 15). Der typische Anwendungsfall bibliometrischer Analysen ist die Bewertung der Wahrnehmung von Veröffentlichungen bzw. ihrer urhebenden Forschungsgruppe anhand bibliometrischer Kennzahlen, wie beispielsweise dem h-Index. So ist es möglich, Aussagen über die Wirkung, die internationale Sichtbarkeit und damit die wissenschaftliche Publikationsleistung zu geben (BALL & TUNGER 2005, S. 15).

In der Bibliometrie wird unterschieden zwischen Daten, die in erster Linie zum Auffinden der Publikation dienen, und solchen, die eine Analyse des Inhalts erlauben. Erstere sind beispielsweise die Autorennamen, das Erscheinungsjahr oder der Name sowie der Band der Zeitschrift, in welcher die Arbeit veröffentlicht wurde. Letztere umfassen unter anderem den Titel, Schlagwörter (sog. Keywords) oder die Abstracts zu Beginn der Veröffentlichung (HAVEMANN 2009, S. 8). Je nach Datenbank, welche zur Gewinnung der Beiträge verwendet wird, sind unterschiedliche Daten und gegebenenfalls auch die Volltexte der Publikationen zugänglich (HAVEMANN 2009, S. 8 f.).

Durch die Darstellung der Entwicklung von Artikeln zu einem bestimmten Thema in der Vergangenheit und durch die Analyse des Zitationsverhaltens dazu in der Gegenwart kann die bibliometrische Analyse zur Trenderkennung in einem Themengebiet eingesetzt werden. Die Zuwächse in der Nennung können genutzt werden, um eine Aussage über die zukünftige Entwicklung des Themas abzuleiten. (BALL & TUNGER 2005, S. 35)

Diese Erweiterung der bibliometrischen Analyse wurde in der vorliegenden Arbeit genutzt, um die Trendliste herzuleiten.

### **Entwurfsmethode zur Entwicklung der Trendliste**

Die in Abbildung 5-3 dargestellte Entwurfsmethode zeigt das wissenschaftliche Vorgehen zur Entwicklung der Trendliste.

Im ersten Schritt wird eine ausführliche Vorstudie durchgeführt. Ihr Ziel ist es, einen Überblick über die Literatur im betrachteten Themengebiet zu erhalten und geeignete Suchbegriffe zu identifizieren, mit denen eine initiale Literatursuche gestartet werden kann. Als Quellen sind einschlägige Fachbücher und Publikationen relevanter Institutionen geeignet, welche sich mit der Ausgangssituation befassen.

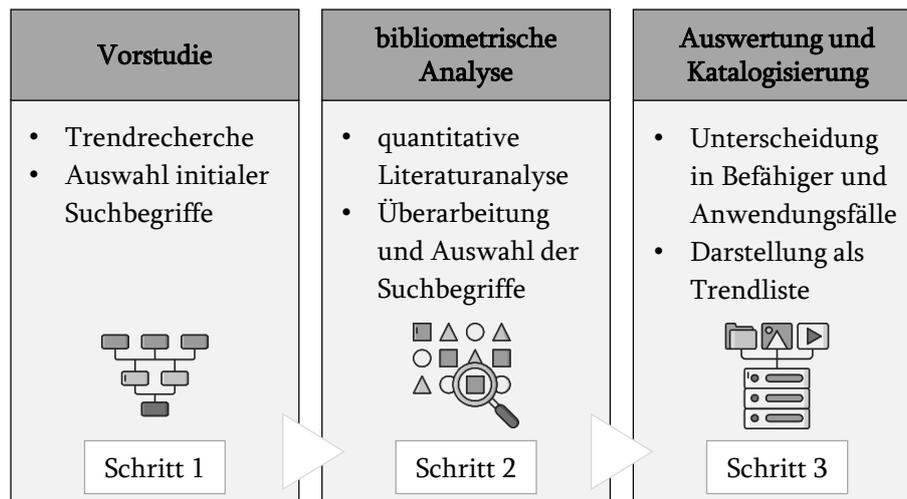


Abbildung 5-3: Entwurfsmethode zur Entwicklung einer Trendliste

Die identifizierten initialen Suchbegriffe dienen als Input für eine quantitative Literaturanalyse (= bibliometrische Analyse). Hierbei wird eine große Anzahl wissenschaftlicher Publikationen mittels Literaturdatenbanken identifiziert, anhand definierter Suchbegriffe ausgewählt und anschließend hinsichtlich ihres Inhalts analysiert. Um den subjektiven Einfluss des Durchführenden bei der Wahl der initialen Suchbegriffe zu minimieren, bieten sich mehrstufige Suchverfahren an, während derer die Suchbegriffe beständig überarbeitet und erweitert werden. Erst wenn das Abbruchkriterium bzw. Zielkriterium der Literaturrecherche erreicht ist, beispielsweise keine weiteren relevanten Trends mehr identifiziert werden, wird die Suche eingestellt und die Auswertung der gefundenen Literatur beginnt.

In diesem dritten Schritt werden die Publikationen hinsichtlich zuvor definierter Kriterien analysiert. Möglich ist hier beispielsweise das Erscheinungsdatum der Publikation, die Herkunft oder die verwendeten Forschungsmethoden. Für die Trendliste erfolgt in diesem Schritt die Unterscheidung der identifizierten Trends in Befähiger und Anwendungsfälle. Ein Befähiger ist eine Technologie, durch deren Einsatz eine Digitalisierung von Prozessen ermöglicht wird. Ein Anwendungsfall ist die praktische Umsetzung eines organisatorischen oder ausführenden Prozesses, bei dem ein Anwender (beispielsweise ein Unternehmen oder eine Arbeitsperson) eine oder mehrere spezifische digitale Technologien (d. h. Befähiger) zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe einsetzt. Anschließend folgt die Aufbereitung der Ergebnisse.

### Schritt 1 – Vorstudie zur Ermittlung initialer Suchbegriffe

Um einen ganzheitlichen Blick auf den Montagearbeitsplatz der Zukunft zu ermöglichen, müssen nicht nur konkrete technologische Veränderungen berücksichtigt werden, sondern auch globale, gesellschaftliche und organisatorische Veränderungen, denen Unternehmen ausgesetzt sind. Sie beeinflussen mehr oder weniger direkt die Produktionsarbeit. Eine schrittweise Einschränkung des Betrachtungsbereichs von auftretenden Trends, wie in Abbildung 5-4 dargestellt, führt dazu, dass in der finalen Trendliste die Befähiger und Anwendungsfälle enthalten sind, die auch einen relevanten Einfluss auf die Mitarbeitenden an ihren Arbeitsplätzen in der manuellen Montage der Smart Factory haben werden. Trends, die auf höheren Unternehmensebenen relevant sind, wie beispielsweise der Digitale Schatten oder Zwilling, wurden nicht betrachtet, da sie keine direkten Auswirkungen auf die Montagemitarbeitenden haben. Ausgehend von der finalen Trendliste können in den weiteren Methodenschritten die Anforderungen abgeleitet werden, welche zukünftig an die Belegschaft gestellt werden.

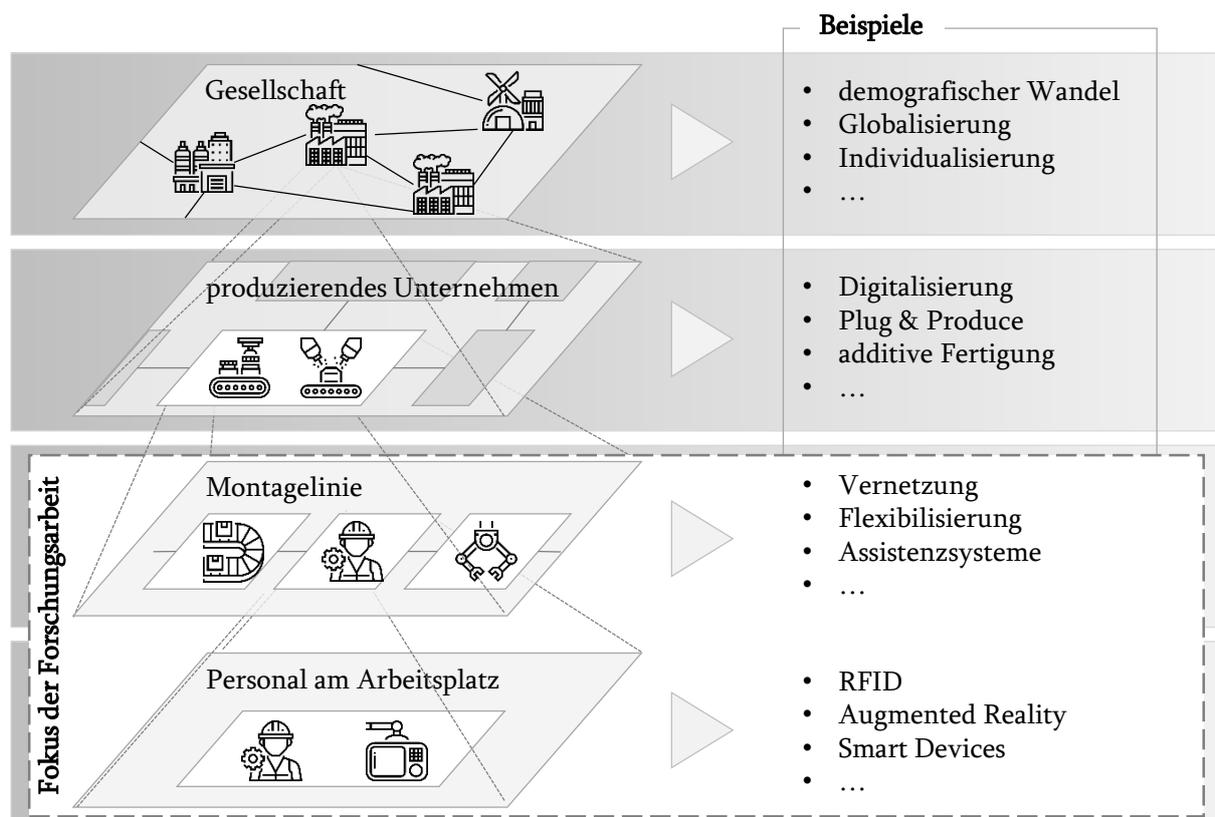


Abbildung 5-4: Vorgehen der Veränderungsanalyse in der Arbeitswelt der Produktion

Zunächst wurden auf Basis einer quantitativen Literaturrecherche die wichtigsten Trends innerhalb der Gesellschaft sowie für produzierende Unternehmen identifiziert. Dazu wurden 34 einschlägige Fachbücher, Studien und Berichte herangezogen, die ab dem Jahr 2008 die Trends für die deutsche Wirtschaft und vor allem für die Produktion untersuchten. Diese Literaturliste ist im Anhang C aufgeführt.

Im Rahmen dieser Recherche wurden die in Abbildung 5-4 dargestellten Betrachtungsebenen identifiziert und jeder Ebene Trends zugeordnet. Diese Zuordnung ist nicht uneindeutig, da sie häufig von der konkreten Umsetzung abhängt. So können beispielsweise RFID-Tags sowohl zur unternehmensweiten Identifikation und Steuerung von Produkten verwendet werden als auch zur Identifikation einer Mitarbeiterin oder eines Mitarbeiters an ihren Arbeitsplätzen, sodass sie sich am dortigen Assistenzsystem einloggen können. Die Technologie RFID (radio-frequency identification) könnte also auch auf der Betrachtungsebene „Montagelinie“ eingeordnet werden. Für die vorliegende Arbeit wurde die Zuordnung zum Arbeitsplatz gewählt, da sich dort die konkreten Auswirkungen für die Arbeitsperson zeigen. Im Fokus der Forschungsarbeit stehen aber beide Betrachtungsebenen, sowohl die Montagelinie als auch das Personal am Arbeitsplatz.

Auf Basis dieser Zuordnung wurden die in Tabelle 5-2 aufgelisteten initialen Suchbegriffe für die bibliometrische Analyse ausgewählt. Sie alle erlauben einen direkten Bezug zwischen manuellem Montagearbeitsplatz und der dort tätigen Arbeitsperson. Zusätzlich wurden Überbegriffe definiert, welche die Fokusbereiche Digitalisierung und Produktion adressieren. Da als Suchdatenbank Scopus verwendet wurde und Wert auf eine internationale Suche gelegt wurde, wurde die gesamte Literaturstudie englischsprachig durchgeführt.

Tabelle 5-2: Initiale Suchbegriffe für die bibliometrische Analyse

Nr.	Themengebiet	Trend	Suchbegriff
1	kognitive Assistenzsysteme	Assistenzsysteme	assist*
		Visualisierung	visual*
		Virtual Reality	virtual reality*
		Augmented Reality	augmented reality*
2	physische Assistenzsysteme	Assistenzsysteme	assist*
		Robotik	robo*; grip*
		Ergonomisierung	ergo*
		mobile Geräte	tablet; laptop; smartphone; wearable
3	Informationsträger	Intelligente Objekte	intelligen*; smart
		RFID	rfid
		CPS	cps
		QR	qr; bar code
		IT	information techno*
4	Vernetzung	Cloud Computing	cloud*
		Internet der Dinge	internet of things; internet
		Intelligente Fabrik	smart factory
		Konnektivität	app*; intranet; social media
		Interoperabilität	interoperab*
5	Organisation der Arbeit	Selbstorganisation	self-organi*
		horizontale Integration	horizontal integration
		vertikale Integration	vertical integration
		wandlungsfähig	versatile
6	Überbegriffe	Digitalisierung	digital*
		Produktion	manual assembly; production
		Industrialisierung	industr*; 4.0
		flexibel	flexib*

\* = verwendet in Suchmaschinen als Platzhalter für beliebige Endung des Wortes

## Schritt 2 – bibliometrische Literaturstudie

### *Studiendesign*

In der Abbildung 5-5 ist, basierend auf der Entwurfsmethode für die Trendliste aus Abbildung 5-3, das detaillierte Vorgehen für die systematische Literaturrecherche dargestellt, welche den nötigen Input für die quantitative Analyse bildet. Dieser Ablauf kann für beliebige Literaturrecherchen zur Trenderkennung verwendet werden. Um die Übertragbarkeit zu gewährleisten, wurde das Vorgehen als Ablaufdiagramm dargestellt. Es zeigt die Abfolge von Entscheidungen und Anweisungen. Das Flussdiagramm bzw. der hier gewählte Programmablaufplan stellt gemäß DIN 66001 (S. 2) die Verarbeitungsfolgen in einem Programm dar. Aufgrund der schrittweisen Darstellungsform, in der sowohl die Verbindungen als auch die In- und Outputs zwischen den einzelnen Prozessschritten gezeigt werden können, eignen sich diese Diagramme auch außerhalb der IT dazu, Abläufe und Prozesse zu beschreiben. Die Bedeutung der in Abbildung 5-5 verwendeten Symbole wird im Anhang D genauer erläutert.

Der Schritt 1 der Entwurfsmethode, die Vorstudie, liefert Input für die bibliometrische Analyse in Form initialer Suchbegriffe. Diese Analyse entspricht dem Schritt 2 der Entwurfsmethode. Zunächst werden die initialen Suchbegriffe kategorisiert. Hierbei werden die Themengebiete und ihre Suchbegriffe in Gruppen zusammengefasst. Aus diesen Gruppen können verschiedene Suchkombinationen gebildet werden. Jedoch wird nur die relevanteste Kombination für die Literatursuche verwendet, alle anderen werden verworfen. Mit dieser Suchkombination beginnt der eigentlich Suchlauf in der gewählten Literaturdatenbank. In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde die Datenbank Scopus verwendet. Mit ihr können die Volltexte der Veröffentlichungen durchsucht werden. Die gefundenen Publikationen werden anschließend einer zweistufigen Relevanzprüfung unterzogen. Zunächst wird der Titel überprüft und anschließend der Abstract. In beiden Fällen werden nicht relevante Publikationen verworfen. Bei den anderen werden die Autoren-Keywords identifiziert und analysiert. Autoren-Keywords sind eine bestimmte Art von Schlüsselwörtern, welche nicht vom Herausgeber des Mediums, in dem der Beitrag publiziert wurde, vergeben werden, sondern von den Autoren selbst ausgewählt und zugewiesen wurden. Somit liefern sie einen sehr guten Hinweis auf den inhaltlichen Schwerpunkt des Papers. Sind im Vergleich zu den initialen Suchbegriffen neue, bisher nicht berücksichtigte Begriffe

enthalten, werden diese in die Kategorisierung aufgenommen und die Suche erneut durchgeführt. Werden keine neuen Begriffe mehr identifiziert, wird sie beendet. Im Schritt 3 der Entwurfsmethode werden die Publikationen hinsichtlich verschiedener bibliometrischer Daten ausgewertet und die aktuelle Liste der Keywords wird zur finalen Trendliste weiterverarbeitet.

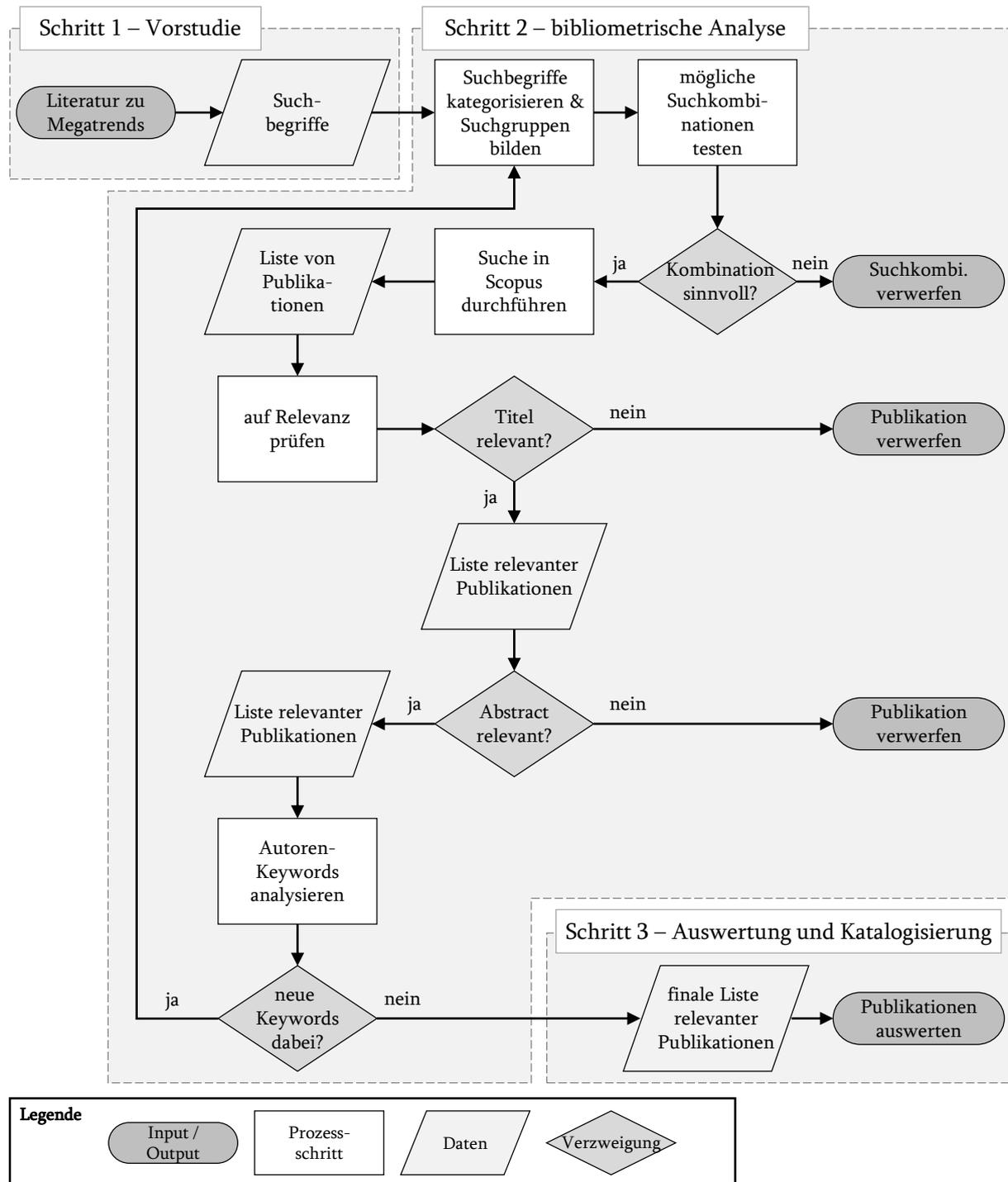


Abbildung 5-5: Studiendesign der bibliometrischen Analyse in Anlehnung an VERNIM ET AL. (2020)

*Studiendurchführung*

Dieser Abschnitt erläutert die praktische Anwendung der zuvor beschriebenen Vorgehensweise zur quantitativen Literaturrecherche mit dem Ziel, die Trendliste für Digitalisierungstechnologien und -anwendungsfälle zu schaffen, die den Anwendenden der Methode zur Anforderungsermittlung im Baustein 1 zur Verfügung gestellt wird.

Im ersten Schritt wurden auf Basis der initialen Suchbegriffe aus Tabelle 5-2 Suchgruppen mithilfe boolescher Operatoren gebildet. ODER (OR) stellt eine Disjunktion dar, UND (AND) eine Konjunktion. Eine Suchgruppe verbindet die Suchbegriffe des jeweiligen Themengebiets mittels dem booleschen Operator OR. Für den Suchlauf 1 wurden alle initialen Suchbegriffe berücksichtigt, die Tabelle 5-3 zeigt. Jede Suchgruppe bekam eine fortlaufende Nummer von 1 bis 6.

Tabelle 5-3: Suchgruppen für die Testläufe im Vorfeld zu Suchlauf 1

1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">kognitive Assistenzsysteme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>assist*</td> </tr> <tr> <td>visual*</td> </tr> <tr> <td>„virtual reality“*</td> </tr> <tr> <td>„augmented reality“*</td> </tr> </tbody> </table>	kognitive Assistenzsysteme		OR	assist*	visual*	„virtual reality“*	„augmented reality“*	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">physische Assistenzsysteme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="8" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>assist*</td> </tr> <tr> <td>robo*</td> </tr> <tr> <td>grip*</td> </tr> <tr> <td>ergo*</td> </tr> <tr> <td>tablet</td> </tr> <tr> <td>laptop</td> </tr> <tr> <td>smartphone</td> </tr> <tr> <td>wearables</td> </tr> </tbody> </table>	physische Assistenzsysteme		OR	assist*	robo*	grip*	ergo*	tablet	laptop	smartphone	wearables	3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Informationsträger</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>intelligen*</td> </tr> <tr> <td>smart</td> </tr> <tr> <td>cps</td> </tr> <tr> <td>rfid</td> </tr> <tr> <td>„bar code“*</td> </tr> <tr> <td>„information techno“*</td> </tr> </tbody> </table>	Informationsträger		OR	intelligen*	smart	cps	rfid	„bar code“*	„information techno“*
kognitive Assistenzsysteme																																
OR	assist*																															
	visual*																															
	„virtual reality“*																															
	„augmented reality“*																															
physische Assistenzsysteme																																
OR	assist*																															
	robo*																															
	grip*																															
	ergo*																															
	tablet																															
	laptop																															
	smartphone																															
	wearables																															
Informationsträger																																
OR	intelligen*																															
	smart																															
	cps																															
	rfid																															
	„bar code“*																															
	„information techno“*																															
4	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Vernetzung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="8" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>cloud</td> </tr> <tr> <td>internet</td> </tr> <tr> <td>„internet of things“</td> </tr> <tr> <td>„smart factory“</td> </tr> <tr> <td>app</td> </tr> <tr> <td>intranet</td> </tr> <tr> <td>social media</td> </tr> <tr> <td>interoperab*</td> </tr> </tbody> </table>	Vernetzung		OR	cloud	internet	„internet of things“	„smart factory“	app	intranet	social media	interoperab*	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Überbegriffe für Produktion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>digital*</td> </tr> <tr> <td>„manual assembly“</td> </tr> <tr> <td>production</td> </tr> <tr> <td>industr*</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>flexib*</td> </tr> </tbody> </table>	Überbegriffe für Produktion		OR	digital*	„manual assembly“	production	industr*	4.0	flexib*	6	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Organisation der Arbeit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">OR</td> <td>self-organi*</td> </tr> <tr> <td>„horizontal integration“</td> </tr> <tr> <td>„vertical integration“</td> </tr> <tr> <td>versatile</td> </tr> </tbody> </table>	Organisation der Arbeit		OR	self-organi*	„horizontal integration“	„vertical integration“	versatile
Vernetzung																																
OR	cloud																															
	internet																															
	„internet of things“																															
	„smart factory“																															
	app																															
	intranet																															
	social media																															
	interoperab*																															
Überbegriffe für Produktion																																
OR	digital*																															
	„manual assembly“																															
	production																															
	industr*																															
	4.0																															
	flexib*																															
Organisation der Arbeit																																
OR	self-organi*																															
	„horizontal integration“																															
	„vertical integration“																															
	versatile																															

\* = verwendet in Suchmaschinen als Platzhalter für beliebige Endung des Wortes  
 „xxx“ = verwendet, damit Suchmaschine den gesamten Ausdruck als einen Suchbegriff interpretiert

Mit diesen Suchgruppen bzw. den entsprechenden Themengebieten wurden verschiedene Suchkombinationen gebildet, indem sie mit dem booleschen AND oder OR verbunden wurden. Der Operator AND grenzt die Suche ein und verkleinert die Anzahl gefundener Publikationen. Die Verwendung des Operators OR vergrößert den Suchraum und erhöht damit die Trefferanzahl.

Theoretisch können vollfaktorielle Kombinationen der sechs Suchgruppen mit den beiden Operatoren gebildet werden. Es sind jedoch nicht alle inhaltlich sinnvoll, weshalb nur Kombinationen gebildet und getestet wurden, welche auf Basis der Inhalte der Suchbegriffe schlüssige Zusammenhänge darstellten. Das Ziel der Testläufe war es, die Qualität der Suchergebnisse verschiedener Suchkombinationen zu testen und die geeignetste für den ersten Suchlauf zu identifizieren. Diese Suchkombination sollte die folgenden Kriterien bestmöglich erfüllen:

- Gesamtzahl gefundener Publikationen: < 4.000; bei höheren Zahlen ist eine Darstellung als Liste in Scopus nicht mehr möglich
- Anteil Fachzugehörigkeit „Engineering“: mindestens 20 %
- Anteil relevanter Publikationen: > 40 %, um Blindleistung bei der Plausibilitätsprüfung möglichst gering zu halten

In der Tabelle 5-4 sind im oberen Teil die getesteten Kombinationen und im unteren Teil ihre Testergebnisse dargestellt. Neben der Nummer des Testlaufs wird die Trefferanzahl der Suche in der Literaturdatenbank Scopus („Publikationen gesamt“) angezeigt. Die Spalte „Fachzugehörigkeit in %“ gibt an, zu welchem prozentualen Anteil die Publikation den dreien am häufigsten zugeordneten wissenschaftlichen Fachrichtungen angehört. Mit diesem Filter wird sichergestellt, dass die Veröffentlichung in hohem Maß dem Fachgebiet „Engineering“ zugeordnet ist, welches aufgrund des thematischen Schwerpunkts der Montage, das am besten geeignete ist. Andere Fachgebiete, wären beispielsweise „Computer Sciences“ oder „Social Sciences“, deren thematischer Fokus aber nicht zum Themenschwerpunkt passt. Die Spalten „Titel relevant“ und „Anteil in %“ zeigen die eigentliche Ergebnisse. Als relevant wurden Veröffentlichungen eingestuft, deren Titel einen oder mehrere der Suchbegriffe oder zumindest Wortteile davon enthielten und daher vermuten ließen, dass auch der Volltext sich inhaltlich mit diesen Begriffen beschäftigt. Ihr Anteil an den „Publikationen gesamt“ wurde anschließend in Prozent ausgewiesen. Die letzte Spalte gibt

an, ob außer der Suchkombination noch weitere Einschränkungen bzw. Filter in Scopus gesetzt wurden.

Tabelle 5-4: Mögliche Suchkombinationen und Ergebnisse der Testläufe zur Ermittlung der am besten geeigneten Suchkombination für den Suchlauf 1

		Nr.	Suchkombinationen				
ohne weitere Einschränkungen	A	1 AND 2 AND 3 AND 4 AND 5 AND 6					
	B	(1 OR 2) AND 3 AND 4 AND 5 AND 6					
	C	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND 5 AND 6					
	D	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND (5 OR 6)					
mit weiteren Einschränkungen	E	(1 OR 2) AND 3 AND 4 AND 5 AND 6					
	F	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND 5 AND 6					
	G	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND 5 AND 6					
	H	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND 5 AND 6					
	I	(1 OR 2) AND (3 OR 4) AND (5 OR 6)					

**Testläufe**

Nr.	Publikationen gesamt	Fachzugehörigkeit in %			Titel relevant	Anteil in %	Einschränkungen innerhalb der Suchkombination
A	5	CS (57,1)	Eng (28,6)	Bus (14,3)	1	20,00	keine weitere Einschränkung
B	25	CS (39,0)	Eng (22,0)	MatS (9,8)	4	16,00	keine weitere Einschränkung
C	145	CS (25,6)	Eng (24,8)	MatS (14,0)	9	6,21	keine weitere Einschränkung
D	18.740	CS (30,9)	Eng (21,8)	MatS (7,4)	k. A.	k. A.	keine weitere Einschränkung
E	9	Eng (45,0)	CS (30,0)	MatS (10,0)	2	22,22	LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENG")
F	64	Eng (47,1)	CS (18,4)	MatS (14,0)	8	12,50	LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENG") inkl. „flexib**“ OR „versatile“
G	21	CS (42,4)	Eng (24,2)	Bus (9,1)	9	42,86	ohne „flexib**“ OR „versatile“
H	8	Eng (50,0)	CS (37,5)	Engy (6,3)	7	87,50	LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENG") ohne „flexib**“ OR „versatile“
I	15.820	CS (31,5)	Eng (21,3)	SoS (8,3)	k. A.	k. A.	ohne „flexib**“ OR „versatile“

k. A. = keine Angabe      CS = Computer Sciences      Eng = Engineering      Bus = Business, Management & Accounting  
 MatS = Material Sciences      Engy = Energy      SoS = Social Sciences

Im vorliegenden Fall waren die Suchgruppen 1 und 2 thematisch sehr ähnlich, da sie beide das Themengebiet Assistenzsysteme adressierten. Deshalb wurden sie, abgesehen von einem initialen Testlauf, immer mit einem ODER kombiniert und damit sozusagen als Einheit betrachtet. Dasselbe galt für "Informationsträger" und "Vernetzung". Auch sie wurden in den meisten Testläufen durch ein ODER kombiniert.

Die Suchkombinationen in den Testläufen A und B lieferten in Summe sehr wenige Ergebnisse, weswegen die Suchkombination für den Lauf C weiter gefasst wurde. Hierbei war jedoch der Anteil relevanter Publikationen sehr gering, weswegen für die Testläufe E, F und H die zusätzliche Einschränkung auf das Fachgebiet Engineering (Eng) vorgenommen wurde. Dieser Filter in Scopus bewirkt, dass bei einer Suche nur noch solche Publikationen als Ergebnis aufgeführt werden, die dem Fachgebiet Engineering zugeordnet sind. Es können jedoch auch mehrere Fächer ausgewählt werden, weshalb der Filter nicht ausschließlich wirkt. Dies erklärt, warum bei diesen Suchkombinationen auch noch andere Fächer gelistet sind. Die ODER-Verknüpfung der Suchgruppen 5 und 6 in den Suchläufen D und I führte zu einer enorm großen Anzahl gefundener Publikationen, welche nicht mehr auswertbar waren, daher können keine Angaben zur Anzahl und dem Anteil relevanter Titel gegeben werden. Deshalb wurden die entsprechenden Kombinationen im weiteren Verlauf der Literaturrecherche ausgeschlossen. Darüber hinaus führten sie zu vielen Veröffentlichungen, welche hauptsächlich den Fachbereichen Sozial- oder Computerwissenschaften zugeordnet waren. Aus diesem Grund wurde die Suchgruppe 6 zunächst aus der weiteren Literatursuche ausgeschlossen, da die in ihr enthaltenen Begriffe nicht die Produktion fokussieren.

Die Integration der Suchgruppe 5 mittels ausschließendem UND konzentrierte die Ergebnisse der Suche auf die Themenschwerpunkte Industrie 4.0 und Montage. Bei den Suchkombinationen der Testläufe E und F war zwar der Anteil an Engineering-Veröffentlichungen sehr hoch, der Anteil relevanter Ergebnisse lag jedoch bei beiden deutlich unter 40 %, weshalb diese Kombinationen ebenfalls verworfen wurden. Eine kurze Überprüfung der Ergebnisse im Testlauf F ergab, dass ein großer Anteil der gefundenen Artikel auf die Suchbegriffe „flexib\*\*“ und „versatile“ zurückzuführen war. Diese beiden Begriffe sind jedoch inhaltlich sehr weit gefasst, weswegen sie für die Testläufe G, H und I ausgeschlossen wurden. Der Testlauf G brachte auch ohne die Einschränkung auf das Themengebiet Engineering

einen vielversprechenden Anteil relevanter Ergebnisse. Durch die Einschränkung im Testlauf H stieg dieser sogar bis auf knapp 90 %. Als die vielversprechendste Suchkombination wurde daher die in den Testläufen G und H verwendete identifiziert, wobei die Suchgruppe 6 ebenso wie die Suchbegriffe „flexib\*“ und „versatile“ ausgeschlossen wird. Zusätzlich wird die Einschränkung auf das Fachgebiet Engineering vorgenommen.

Auf Basis der Testergebnisse wurden für den Suchlauf 1 die drei in Tabelle 5-5 dargestellten Hauptsuchgruppen gebildet und mit UND verbunden. Hauptsuchgruppe I bestand aus den kombinierten Suchbegriffen der Gruppen "kognitive und physische Assistenzsysteme". Die Suchbegriffe der Themengebiete "Informationsträger" und "Vernetzung" bildeten die Hauptsuchgruppe II, während die Hauptsuchgruppe III nur die Überbegriffe der Produktion beinhaltete.

Tabelle 5-5: Hauptsuchgruppen für den Suchlauf 1

Hauptsuchgruppe I		
OR	kognitive Assistenzsysteme	1
	physische Assistenzsysteme	2
AND		
Hauptsuchgruppe II		
OR	Informationsträger	3
	Vernetzung	4
AND		
Hauptsuchgruppe III		
Überbegriffe		5

Zusätzlich wurden für den Suchlauf in der Literaturlatenbank Scopus die folgenden Einschränkungen vorgenommen, um möglichst aktuelle und hochwertige Suchergebnisse zu erhalten:

- Erscheinungszeitraum der Publikationen<sup>9</sup>: 2016 – 10/2019 (Studie durchgeführt im Oktober 2019)
- Publikationsart<sup>10</sup>: Journalbeitrag (article), Reviewpaper (review paper) oder Konferenzbeitrag (conference paper)
- Fachgebietszugehörigkeit in Scopus<sup>11</sup>: Ingenieurwissenschaften (Engineering)

Als Beginn des Untersuchungszeitraums wurde das Jahr 2016 gewählt, da ab diesem Zeitraum ein deutlicher Anstieg der Publikationen im Themengebiet zu verzeichnen ist (VERNIM ET AL. 2020, S. 2). Anschließend wurde der Suchlauf in Scopus durchgeführt. Er führte zu einer Liste von 3.204 Publikationen. Sie wurden einer ersten Relevanzprüfung unterzogen, bei der die Titel der Publikationen untersucht wurden. Enthielten diese einen oder mehrere der Suchbegriffe, wurde die Veröffentlichung behalten. Enthielten sie keinen der Suchbegriffe, wurde die Publikation verworfen. Nach diesem Schritt umfasste die Liste relevanter Publikationen noch 126 Artikel. Diese wurden der zweiten Relevanzprüfung unterzogen, bei der die Abstracts der Veröffentlichungen analysiert wurden. Damit wurde entschieden, ob der Artikel tatsächlich inhaltlich relevant ist und Digitalisierung bzw. ihre Technologien das Schwerpunktthema des Beitrags darstellten. Nach dieser Untersuchung blieben 87 Veröffentlichungen in der Liste relevanter Publikationen bestehen, der Rest wurde verworfen. Dies entspricht 2,7 % aller gefundenen Artikel.

Im nächsten Schritt wurden die Autoren-Keywords der Publikationen extrahiert und ihre Häufigkeit der Nennung gezählt. Insgesamt wurden in den 87 Veröffentlichungen 354 Author-Keywords vergeben, von denen 207 unterschiedliche waren. Bei der Analyse wurde festgestellt, dass lediglich 15 dieser Begriffe für ca. 75 % aller Nennungen (266 Nennungen in Summe) verantwortlich sind. Diese sind im linken Teil der Tabelle 5-6 dargestellt. Es sind die acht Begriffe fett hervorgehoben, die im Vergleich zur initialen Suche neu hinzugefügt wurden. Der rechte Teil zeigt die auf Basis der Ergebnisse der Keyword-Analyse überarbeiteten und neu strukturierten Suchgruppen. Eine detaillierte Darstellung der Veränderungen der Suchgruppen für Suchlauf 1 und 2 ist dem Anhang E zu entnehmen.

---

<sup>9</sup> Eingabe in Scopus: AND ((LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016))

<sup>10</sup> Eingabe in Scopus: AND ((LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re") AND LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp"))

<sup>11</sup> Eingabe in Scopus: AND LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENG")

Die Ergebnisse der Keyword-Analyse wurden verwendet, um nicht genutzte Schlüsselwörter des Suchlaufs 1 zu verwerfen und Neue hinzuzufügen. Damit wurde der Fokus der Suche erhöht und ein zweiter Suchlauf gestartet. In diesem wurden die in Tabelle 5-6 dargestellten und angepassten Suchgruppen verwendet. Schlüsselwörter, die mit Assistenzsystemen und digitalen Präfixen verknüpft waren, waren die aussagekräftigsten. Sie bildeten die modifizierten Suchgruppen 1 und 2. Die Schlüsselwörter der anderen drei Suchgruppen grenzten die Publikationen auf den Schwerpunktbereich der manuellen Montage ein.

Tabelle 5-6: Author-Keywords nach Suchlauf 1 und neugestaltete Suchgruppen für Suchlauf 2

Author-Keywords	Häufigkeit
augmented / virtual reality	41
4.0	35
smart	32
<b>manufacturing</b>	31
internet	16
<b>human / operator</b>	15
<b>cyber</b>	14
digital	13
<b>process</b>	12
<b>factory</b>	11
<i>industrial</i>	9
visual	9
<b>assembly</b>	8
<b>data</b>	7
<b>interaction</b>	7
assist	6

1

Assistenzsysteme	
OR	assist*
	visual*
	„virtual reality**“
	„augmented reality**“
	wearable*

2

digital	
OR	smart
	<b>cyber</b>
	digital*
	<b>data</b>
	internet

3

Werker / Werkerin	
OR	human*
	worker*
	operator*
	interaction

4

Prozess	
OR	assembly
	<b>manufacturing</b>
	production
	<b>process</b>

5

Überbegriffe	
OR	<b>factory</b>
	„manual assembly“
	<i>industrial</i>
	4.0

Suchbegriff = Suchbegriff neu hinzugefügt      Suchbegriff = Suchbegriff bestätigt      Suchbegriff = Suchbegriff verändert

Auch für den Suchlauf 2 wurden Testläufe durchgeführt. Sie belegten, dass entweder die OR-Kombination der Suchgruppen "Assistenzsysteme" und "digital" oder die OR-Kombination der Suchgruppen „Überbegriffe“ und "Prozesse" zu den meisten Ergebnissen führten, wie Tabelle 5-7 zeigt. Die restlichen Suchgruppen wurden wie auch in der ersten Suche mit

einem AND angebunden, um eine thematische Fokussierung der Suchergebnisse zu erreichen. Daher wurde für jede dieser Kombinationen ein Suchlauf durchgeführt. Weiterhin galten die Einschränkungen bezüglich des Publikationszeitraums, der Publikationsart und der Fachgebietszugehörigkeit, welche in den Fußnoten 9, 10 und 11 auf Seite 96 definiert wurden. Die Suchmethode lief wiederum nach dem in der Abbildung 5-5 dargestellten Ablaufplan ab, um die Ergebnisse des zweiten Suchlaufs so konsistent wie möglich zu halten.

Tabelle 5-7: Mögliche Suchkombinationen und Testergebnisse zur Ermittlung der am besten geeigneten Suchkombination für Suchlauf 2

Nr.	Suchkombinationen	
J	1 AND 2 AND 3 AND 4 AND 5	
K	1 AND 2 AND 3 AND (4 OR 5)	
L	(1 OR 2) AND 3 AND 4 AND 5	

**Testläufe**

Nr.	Publikationen gesamt	Fachzugehörigkeit in %			Titel relevant	Anteil in %	Einschränkungen innerhalb der Suchkombination
J	300	Eng (45,5)	CS (25,2)	Math (5,8)	97	32,33	keine weitere Einschränkung
K	2.181	Eng (40,4)	CS (21,1)	Phy (5,6)	187	8,57	keine weitere Einschränkung
L	2.755	Eng (42,6)	CS (17,4)	Math (5,1)	226	8,20	keine weitere Einschränkung

CS = Computer Sciences    Eng = Engineering    Math = Mathematics    Phy = Physics

Insgesamt wurden in den beiden Suchläufen K und L der zweiten Suche 4.936 Publikationen gefunden. Nach der Relevanzprüfung des Titels und des Abstracts blieben 396 relevante Beiträge übrig. Dies entsprach einem prozentualen Anteil von ca. 8,0 %, was im Vergleich zum ersten Suchlauf (hier lag der prozentuale Anteil bei 2,7 %) eine Verbesserung um fast das Dreifache bedeutete. Dies ist auf die verbesserten Suchbegriffe zurückzuführen, die nach der Überarbeitung nach Suchlauf 1 thematisch deutlich fokussierter waren.

Wären bei der Analyse der Author-Keywords neue Begriffe identifiziert worden, die bisher noch nicht berücksichtigt wurden, wäre die Literatursuche erneut durchgeführt worden. Dieser Ablauf würde so häufig durchlaufen, bis nach einer Suche keine neuen Schlüsselwörter mehr identifiziert werden. Im vorliegenden Fall wurden nach dem zweiten Suchlauf

bei der Analyse der Author-Keywords keine neuen Begriffe mehr identifiziert, weswegen keine weitere Suche durchgeführt wurde. Die bibliometrische Analyse endete an dieser Stelle und die Auswertung der Publikationen begann. Neben der Liste relevanter Veröffentlichungen stehen auch die Suchbegriffe des Suchlaufs 2 als Input für die weitere Trendanalyse zur Verfügung.

### Schritt 3 – Auswertung der Literaturstudie und Katalogisierung

#### *Analyse der Literatursuche*

Aufgrund von Zugriffsbeschränkungen konnten nur 335 der 396 relevanten Publikationen für die inhaltliche Literaturanalyse verwendet werden. Im Vergleich zu den im Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Literaturreviews ist die Anzahl an Veröffentlichungen, die für die Trenderkennung verwendet wurde, um etwa das Dreifache größer. Daher wurde sie als ausreichend erachtet, um belastbare Aussagen hinsichtlich aktueller Digitalisierungstrends zu treffen. Die vollständige Übersicht der berücksichtigten Veröffentlichungen ist im Anhang F in Tabelle 8-5 einsehbar.

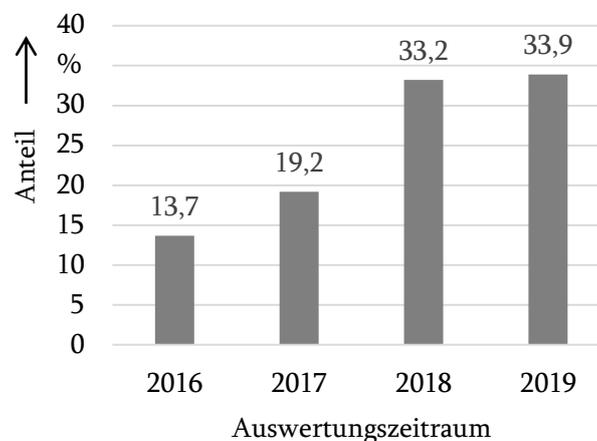


Abbildung 5-6: Prozentualer Anteil der rezensierten Publikationen bezogen auf ihr Erscheinungsjahr im Auswertungszeitraum 2016 bis einschließlich Oktober 2019 (VERNIM ET AL. 2020)

Im ersten Schritt der Analyse wurden die Veröffentlichungen hinsichtlich ihres Erscheinungsjahrs untersucht. OSTERRIEDER ET AL. (2019, S. 9) und LU (2017, S. 3) beschrieben beide einen stetigen Anstieg der Publikationen zwischen den Jahren 2014 und 2017, mit

einem deutlichen Anstieg ab 2016, weswegen dieses Jahr als Start des Auswertungszeitraums festgelegt wurde. Die vorliegende Analyse zeigt in Abbildung 5-6, dass dieser Trend bis zur Durchführung der vorliegenden Untersuchung im Oktober 2019 weiter anhielt. Etwas mehr als ein Drittel der rezensierten Arbeiten wurde 2016 und 2017 veröffentlicht. Fast ein Drittel wurde im Jahr 2018 veröffentlicht und knapp 24 % folgten zwischen Januar 2019 und Oktober 2019.

Für die Erstellung der Trendliste wurden die Suchbegriffe der beiden Literatur-Suchläufe (Tabelle 5-3 und Tabelle 5-6), darunter auch die Suchbegriffe der Suchgruppe „Organisation der Arbeit“, sowie die initialen Suchbegriffe aus Tabelle 5-2 verwendet. Sie wurden auf Basis der identifizierten Publikationen zusammengefasst, konkretisiert und reduziert. Im Anhang G werden in der Tabelle 8-6 alle berücksichtigten Suchbegriffe aufgelistet. Für die Trendliste wurden jedoch nur die verwendet, welche konkrete, digitale Technologien (= Befähiger) oder Anwendungsfälle darstellen. Sämtliche Begriffe, die während der Literatursuche lediglich dazu dienten, den Betrachtungsraum auf die manuelle Montage und die Digitalisierung festzulegen, wurden nicht weiter berücksichtigt.

Die linke Spalte der Tabelle 5-8 beinhaltet die finalen Suchbegriffe, welche für die bibliometrische Analyse der gefundenen Publikationen verwendet wurden. In Klammern steht die jeweilige Abkürzung des Begriffs. Die Anwendungsfälle wurden durch Fettdruck hervorgehoben, die anderen Begriffe stellen die Befähiger dar. Wie eingangs bei der Entwurfsmethode zur Trendliste bereits erläutert, stellen Befähiger Technologien dar, durch die eine Digitalisierung von Prozessen erst ermöglicht wird. Dazu gehören beispielsweise Geräte, Dienste oder technologische Konzepte. Die Anwendungsfälle sind in diesem Zusammenhang die praktische, digitale Umsetzung von Prozessen mittels ausgewählter Befähiger.

Um eine Aussage über die Bedeutung der verschiedenen Befähiger und Anwendungsfälle zu erhalten, wurden die 335 Publikationen systematisch mithilfe eines PDF-Readers analysiert. Damit konnten alle Beiträge gleichzeitig auf einen bestimmten Suchbegriff hin untersucht werden. Die zweite Spalte der Tabelle 5-8 gibt an, in wie vielen der 335 Dokumente der entsprechende Begriff gefunden wurde. Anschließend ist die aufsummierte Trefferanzahl über alle Dokumente sowie die durchschnittliche Anzahl der Treffer pro Dokument angegeben. Die letzte Spalte gibt die relative Häufigkeit der Dokumente an, in denen der Suchbegriff gefunden wurde, im Vergleich zur Gesamtanzahl der Dokumente.

Tabelle 5-8: Ergebnisse der bibliometrischen Analyse

Suchbegriff (Abkürzung)	Anzahl Dokumente	Suchtreffer über alle Dokumente	Suchtreffer pro Dokument	Häufigkeit in %
augmented reality (AR)	174	2.201	12,6	51,9
virtual reality (VR)	129	981	7,6	38,5
cyber-physical systems (CPS)	105	1.370	13,0	31,3
human-robot collaboration (HRC)	90	1.269	14,1	26,9
<b>decision-making (DM)</b>	70	212	3,0	20,9
human-machine interaction (HMIA)	63	152	2,4	18,8
human-machine interface (HMIF)	60	496	8,3	17,9
artificial intelligence (AI)	57	116	2,0	17,0
rfid (RFID)	45	258	5,7	13,4
app (APP)	33	98	3,0	9,9
<b>worker assistance (WA)</b>	31	72	2,3	9,3
qr (QR)	26	70	2,7	7,8
wearables (WEAR)	25	116	4,6	7,5
<b>predictive maintenance and assembly (PM)</b>	16	264	16,5	4,8
human-machine collaboration (HMC)	12	28	2,3	3,6
<b>vertical integration (VI)</b>	9	14	1,6	2,7
social media (SOM)	8	9	1,1	2,4
<b>horizontal integration (HI)</b>	6	13	2,2	1,8
<b>self-organization (SO)</b>	5	6	1,2	1,5

„Suchbegriff“ = Befähiger (Technologie)

„Suchbegriff“ = Anwendungsfall

### *Katalogisierung in einer Trendliste*

Die Ergebnisse zeigten, dass einige der Befähiger in sehr vielen der Veröffentlichungen genannt wurden und dort teilweise sehr häufig. Dies ließ darauf schließen, dass diese Technologie einen inhaltlichen Schwerpunkt der jeweiligen Veröffentlichung darstellte. Gleiches galt für die Anwendungsfälle. Die Häufigkeit der Verwendung eines Begriffs, lässt also Rückschlüsse auf die Priorisierung der Befähiger und Anwendungsfälle innerhalb der untersuchten Literatur zu. Für detailliertere Ergebnisse sei an dieser Stelle auf VERNIM ET AL. (2020) verwiesen.

Die Zusammenfassung dieser detaillierten Analyse wird in Tabelle 5-9 dargestellt. Sie bildet die finale Trendliste für die vorliegende Methode. In ihr sind die Anwendungsfälle und Befähiger gemäß ihrer Häufigkeit in der bibliometrischen Analyse aufgelistet. Die in den Publikationen am häufigsten genannten Anwendungsfälle und Befähiger sind jeweils im oberen Teil der Tabelle 5-9 dargestellt. Sie umfassen die Anwendungsfälle aus dem Themenbereich "Organisation der Arbeit" (vertical integration, horizontal integration, self-organization) sowie vorausschauende Instandhaltung (predictive maintenance), Entscheidungsfindung (decision-making) und Arbeitnehmerunterstützung (worker assistance).

Um die am häufigsten genannten Anwendungsfälle zu ermitteln, wurde eine angepasste ABC-Analyse durchgeführt. Die A-Anwendungsfälle waren diejenigen, die für 60 % aller Erwähnungen der sechs Anwendungsfälle in den analysierten Publikationen verantwortlich waren. Die B-Anwendungsfälle umfassten weitere 30 % aller Erwähnungen, während die C-Anwendungsfälle lediglich 10 % aller Nennungen ausmachten.

Entscheidend für die Einteilung war einerseits die Trefferrate pro Publikation (s. Tabelle 5-8). Sie half, diejenigen Schlüsselwörter, die häufig in Publikationen genannt wurden, aber für das Thema der einzelnen Arbeit nicht sehr relevant waren, von denjenigen zu trennen, die zwar in weniger Werken erschienen, aber einen starken Bezug zum Thema der jeweiligen Publikation hatten. Andererseits wurde die Gesamtzahl aller Nennungen in den Veröffentlichungen berücksichtigt.

Die Anwendungsfälle „Entscheidungsfindung“ und „Arbeitnehmerunterstützung“ wurden am häufigsten genannt und befinden sich deshalb in der Trendliste in der Tabelle 5-9 ganz oben. „Vorausschauende Instandhaltung“ erzielte eine hohe Trefferrate pro Veröffentlichung, weshalb dieser Anwendungsfall an dritter Stelle erscheint. Die drei verbliebenen Fälle erreichten weder eine hohe Gesamtrefferrate noch wurden sie in den einzelnen Publikationen mit besonderem Fokus betrachtet, deswegen bilden sie die letzten Stellen in der Liste.

Die Befähiger, aufgelistet im unteren Teil der Tabelle 5-9, ermöglichen die Umsetzung bestimmter Anwendungsfälle mit organisatorischem oder ausführendem Zweck. So nutzt die Belegschaft beispielsweise die Social-Media-Dienste ihres Unternehmens als organisatorisches Werkzeug für die Arbeitszeitplanung oder den Wissensaustausch. Ein weiteres Beispiel sind Virtual-Reality-Anwendungen, die Informationen über die Montage eines Produkts anzeigen und damit die Ausführung des Montageprozesses unterstützen.

Tabelle 5-9: Trendliste nach VERNIM ET AL. (2020)

<b>Anwendungsfälle in der manuellen Montage</b>		
A-Anwendungsfälle	decision-making	DM
	worker assistance	WA
B-Anwendungsfall	predictive maintenance	PM
C-Anwendungsfälle	vertical integration	VI
	horizontal integration	HI
	self-organization	SO
<b>Befähiger/Technologien</b>		
A-Befähiger	augmented reality	AR
	virtual reality	VR
	cyber-physical systems	CPS
	human-robot collaboration	HRC
B-Befähiger	human-machine interface	HMIF
	rfid	RFID
C-Befähiger	human-machine interaction	HMIA
	artificial intelligence	AI
	app	APP
	qr	QR
	wearables	WEAR
	human-machine collaboration	HMC
	social media	SOM

Die Reihenfolge der technologischen Befähiger wurde ebenfalls mittels einer ABC-Analyse festgelegt. "Augmented Reality", "virtual Reality", "Cyber-physische Systeme" und "Mensch-Roboter-Kollaboration" stellten die größten technologischen Trends innerhalb der Befähiger dar. Sie wiesen die höchsten Trefferraten pro Publikation auf und erzielten 65 % aller Nennungen. "Mensch-Maschine-Schnittstelle" und "RFID" erhöhten die Gesamtzahl der Nennungen bis auf 80 %. Die anderen Technologien erreichten lediglich sehr geringe Trefferraten pro Publikation und spielten in einer Vielzahl der Publikationen keine Rolle.

### 5.2.3 Werkzeug 1.3: Verknüpfungsmatrix I – Trends und Elemente des Arbeitssystems

Auf Basis des detaillierten Zukunftsbilds des manuellen Arbeitsplatzes in der Smart Factory kann ermittelt werden, welche Auswirkungen die Einführung digitaler Technologien auf die Montagearbeit hat. Das Ziel ist es, mithilfe einer Verknüpfungsmatrix aufzuzeigen, wie die Digitalisierungstrends, welche als Einflüsse von außen auf das Arbeitssystem wirken, die Arbeit im betrachteten System verändern. Damit wird Transparenz hinsichtlich der Abhängigkeit zwischen diesen beiden Kategorien geschaffen, was eine wichtige Voraussetzung ist, um im nächsten Baustein der Methode die zukünftigen Anforderungen an die Arbeitsperson abzuleiten. Entscheidend ist, dass die Zusammenhänge und Abhängigkeiten strukturiert und nachvollziehbar ermittelt werden, sodass eine möglichst quantitative Darstellung erfolgen kann. Der Aufbau und die Funktionsweise dieser Verknüpfungsmatrix werden im Folgenden erläutert. Sie kann für beliebige Montagearbeitsplätze verwendet werden, da die Spaltenelemente allgemeingültig für Produktionsarbeitsplätze sind. Die Zeilenelemente werden individuell für den Anwendungsfall festgelegt. Damit werden die Anforderungen an die Nachvollziehbarkeit und die Übertragbarkeit der Methode aus Abschnitt 4.1.1. erfüllt.

#### **Grundlagen zu Verknüpfungsmatrizen**

Eine Verknüpfungsmatrix wird auch Domain-Mapping-Matrix (DMM) genannt. Mit ihr werden Zusammenhänge zwischen Objekten unterschiedlicher Kategorien (= Domänen) ermittelt, weshalb sie auch als Inter-Domain-Matrizen bezeichnet werden (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 54). Die Spalten (n) enthalten die Elemente einer Kategorie, die Zeilen (m) die der anderen (LINDEMANN 2009, S. 322). Eine DMM stellt also eine  $(m \times n)$ -Matrix dar (DANILOVIC & SANDKULL 2005, S. 197). Dabei gilt die für Matrizen typische Leserichtung: Zeilen beeinflussen Spalten (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 94). Diese Art von Matrizen ermöglicht es, Abhängigkeiten darzustellen und Gewichtungen der einzelnen Elemente gemäß ihrer Bedeutung aufzunehmen. Die Erkenntnisse daraus können im Anschluss mittels einer Clusteranalyse oder über die entsprechenden Zeilen- und/oder Spaltensummen weiter analysiert werden. (LINDEMANN 2009, S. 322)

**Struktur und Aufbau der Verknüpfungsmatrix I (VM I)**

Im Wesentlichen besteht die VM I aus drei Komponenten, welche im Rahmen der präskriptiven Studie aus wissenschaftlicher Sicht definiert werden müssen und in Abbildung 5-7 dargestellt sind: die Elemente der Zeilen, die Elemente der Spalten und die Bewertungsskala zur Befüllung der Zellen.

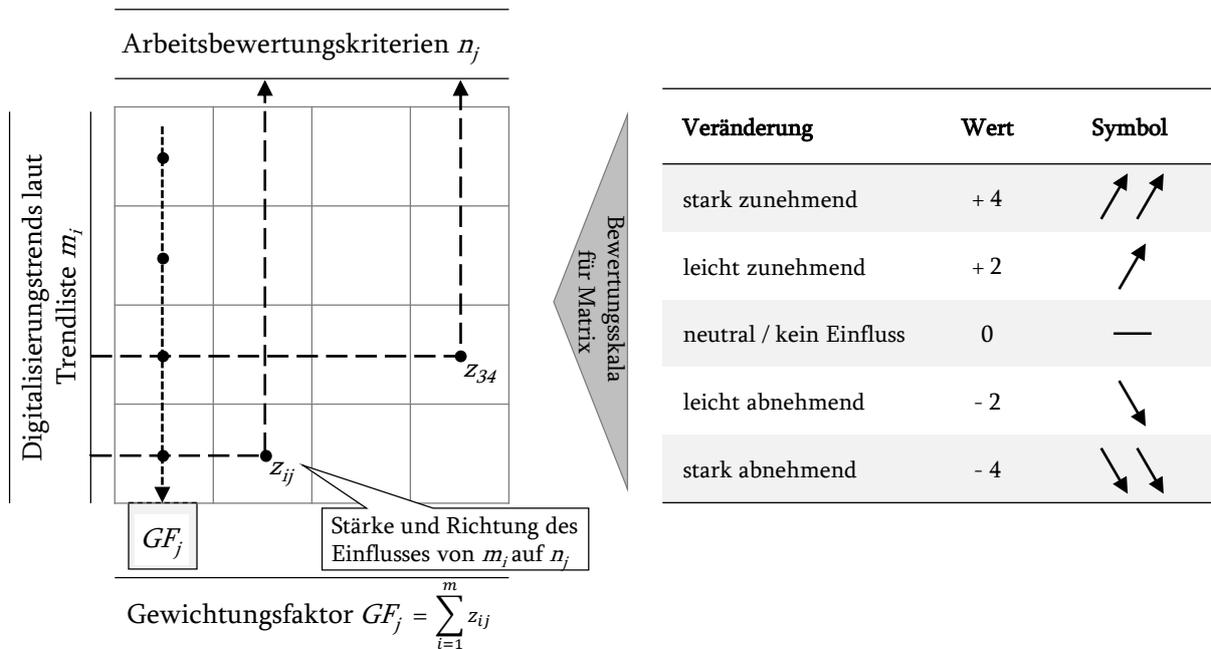


Abbildung 5-7: Struktur und Bewertungskriterien der Verknüpfungsmatrix I

Die Zeilen (m) der Matrix werden durch die Digitalisierungstrends gebildet, welche im Werkzeug 1.2, der Trendliste, erarbeitet wurden. Die Integration der Trends in das Arbeitssystem beeinflusst die Arbeit, weswegen Arbeitsbewertungskriterien die Spalten (n) der Matrix darstellen. Wie diese Bewertungskriterien aussehen, wird im folgenden Abschnitt hergeleitet.

Für jeden ausgewählten Digitalisierungstrend wird ermittelt, wie er sich auf das Arbeitsbewertungskriterium auswirkt. Dazu wird die in Abbildung 5-7 dargestellte Skala verwendet. Sie zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Beeinflussung von stark zunehmend bis stark abnehmend. Der Grad der Beeinflussung wird durch einen zugehörigen Zahlenwert ausgedrückt. Die gezeigten Symbole dienen lediglich der besseren Verständlichkeit, indem sie die Richtung des Einflusses visuell darstellen. Sie werden für die Bewertung jedoch nicht

herangezogen. Für jede Spalte der VM I wird die Spaltensumme des Arbeitsbewertungskriteriums gemäß

$$GF_j = \sum_{i=1}^M z_{ij} \quad (5-1)$$

ermittelt. Dabei bezeichnet  $i$  die Laufvariable der Zeilen und  $j$  die Laufvariable der Spalten.  $M$  ist die Gesamtanzahl der Zeilen bzw. der ausgewählten Trends und  $z$  stellt den Wert einer Zelle der VM I dar.  $GF_j$  stellt einen Gewichtungsfaktor dar, welcher angibt, ob das Kriterium durch die Digitalisierungstrends verstärkt oder abgeschwächt wird und wie stark diese Veränderung sein wird. Durch die Bewertung des Einflusses über Zahlenwerte ist es möglich, eine quantitative Aussage zu treffen, die im Baustein 2 der Methode weiterverwendet wird.

### **Entwicklung der Bewertungskriterien des Arbeitssystems**

Wird eine digitale Technologie oder ein digitaler Anwendungsfall aus der Trendliste im Abschnitt 5.2.2 am Arbeitsplatz (AP) eingeführt, kann bestimmt werden, wie sich die einzelnen Arbeitssystemelemente verändern. Beispielsweise wird bei der Einführung eines Assistenzsystems mit einer Augmented-Reality-Brille am Arbeitsplatz ein neues Betriebsmittel, nämlich die AR-Brille (AR-Brille), hinzukommen. Aber nicht nur das Systemelement Betriebsmittel verändert sich, sondern auch die Elemente, mit denen das neue Betriebsmittel interagiert. In diesem Beispiel könnte es sein, dass sich dadurch die Reihenfolge der Arbeitsgänge und damit der Arbeitsablauf verändert. Oder der Mensch macht in Zukunft nicht mehr nur die Montage, sondern prüft mit der Brille auch die Qualität seiner Arbeit. In beiden Fällen ist erkennbar, dass sich nicht unbedingt die Systemelemente selbst durch die Einführung einer neuen Technologie ändern, sondern vielmehr die Art und Weise, wie mit ihnen gearbeitet wird oder der Anspruch der an die jeweiligen Tätigkeiten und Attribute gestellt wird. Somit ist es wenig aussagekräftig, nur die Systemelemente und ihre Attribute zu bewerten.

Sinnvoller ist es, direkt die Veränderungen für die Arbeit an diesem Montageplatz zu ermitteln. Dies kann mithilfe einer Arbeitsanalyse bewertet werden. Sie dient dazu, wie im Abschnitt 2.1.2 ausführlich erläutert, Arbeitsbedingungen und -prozesse zu erheben und

zu bewerten und auf dieser Basis anschließend Arbeitsanforderungen an das Personal abzuleiten. Aus diesem Grund wurden für die Bewertung der Veränderungen der Arbeit Kriterien aus einem bewährten Arbeitsanalyseverfahren – der KOMPASS-Methode – herangezogen (KORDER 2017, S. 62 f.). KOMPASS steht für „Komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen“. Es ermöglicht die Analyse bestehender Arbeitssysteme und gibt Hinweise zu ihrer Gestaltung. Es werden drei Gestaltungsebenen berücksichtigt, die Ebene des Mensch-Maschine-Systems, die Ebene der individuellen Arbeitsaufgabe und die Ebene des Arbeitssystems. (GROTE ET AL. 1997, S. 259 f.)

Diese Dreiteilung der Betrachtung ist einer der Gründe, warum die KOMPASS-Methode als Basis für die Entwicklung der Arbeitsbewertungskriterien angelegt wurde. Sie ermöglicht dadurch eine umfassende und ganzheitliche Bewertung der Arbeitstätigkeiten, da sie im Gegensatz zu anderen Arbeitsanalyseverfahren nicht nur die eigentliche Arbeitsaufgabe berücksichtigt, sondern die Ebene des Arbeitssystems und die Mensch-Maschine-Funktionsteilung (FT) einbezieht (GROTE ET AL. 2000, S. 273). Letzteres ist ein weiterer Grund für die Auswahl der KOMPASS-Methode. In der fortschreitenden Digitalisierung nimmt die Mensch-Technik-Interaktion einen immer größeren Stellenwert ein, weshalb eine explizite Berücksichtigung innerhalb der Arbeitsbewertung zukünftig entscheidender wird.

Die Kriterien, die im KOMPASS-Verfahren zur Bewertung herangezogen werden, sind dem Anhang H zu entnehmen. Um die Anwendbarkeit im Rahmen der vorgestellten Methode sicherzustellen und sie für den Anwendungsfall der Anforderungsermittlung in einer Smart Factory zu spezifizieren, wurden sie hinsichtlich ihrer Relevanz überprüft und entsprechend überarbeitet. Abbildung 5-8 zeigt die überarbeiteten Kriterien.

Die Unterteilung in die drei Ebenen Arbeitssystem, Arbeitsaufgabe und Mensch-Maschine-Funktionsteilung wurde wie in KOMPASS beibehalten. Da ein einzelner Montagearbeitsplatz mit der dazugehörigen Arbeitsperson im Betrachtungsfokus liegt, wurden alle KOMPASS-Kriterien, die sich auf mehrere Arbeitsplätze oder mehrere beteiligte Personen bezogen, für die weitere Arbeit nicht mehr berücksichtigt. Für die Ebene des Arbeitssystems wurden deswegen die Kriterien „Polyvalenz der Mitarbeiter“, „Autonomie der Produktionsgruppen“ und „Grenzregulation durch Vorgesetzte“ weggelassen. (KORDER 2017, S. 64)

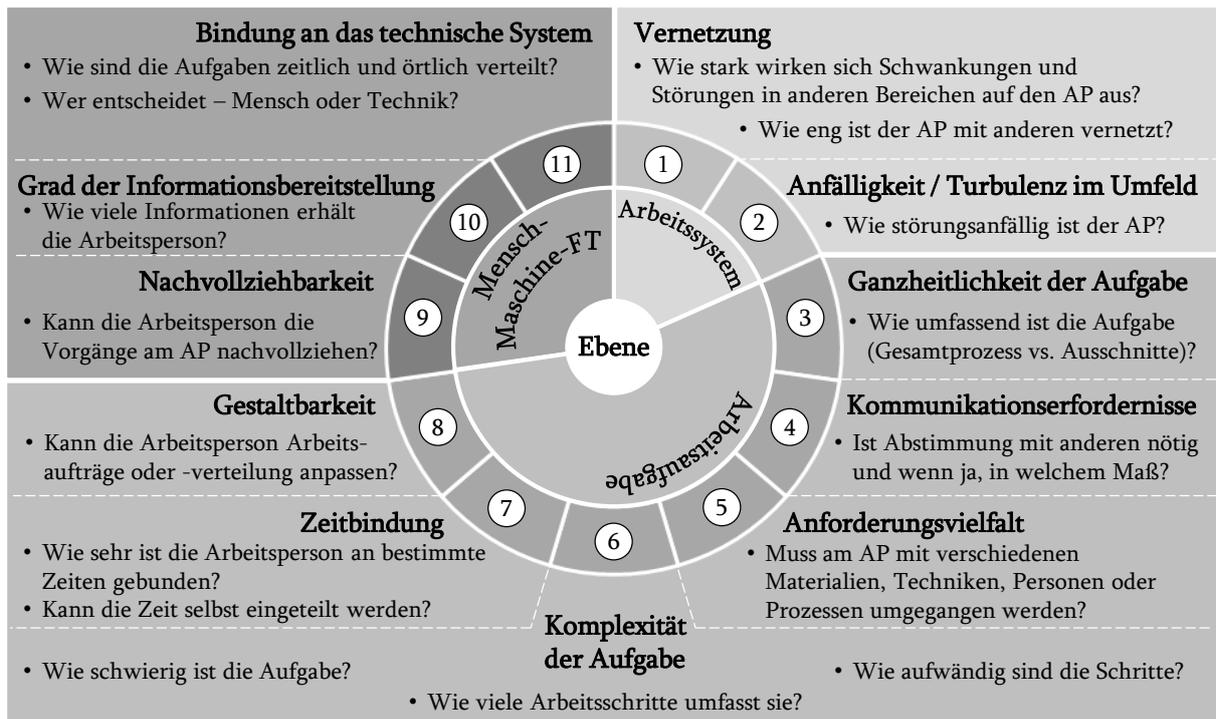


Abbildung 5-8: Angepasste Arbeitsbewertungskriterien für die Verknüpfungsmatrix I

Ebenfalls entfernt wurde das Kriterium „Vollständigkeit des Arbeitssystems“, da es sehr ähnlich zur Bewertung der „Ganzheitlichkeit der Aufgabe“ in der Ebene der Arbeitsaufgabe ist. Für die praktische Anwendung wäre andernfalls die Nutzbarkeit nicht mehr vollständig gegeben, wenn eine Abgrenzung sehr schwierig vorzunehmen ist. Für die Bewertung wurden die beiden Kriterien „Vernetzung“ sowie „Anfalligkeit/Turbulenz im Umfeld“ als relevant eingestuft. Diese entsprechen den KOMPASS-Bezeichnungen „Unabhängigkeit des Arbeitssystems“ und „Passung von Regulationserfordernissen und -möglichkeiten“. Sie wurden umbenannt, um für die Anwendung verständlicher zu sein.

Auf der Ebene der Arbeitsaufgabe wurde die Bewertung der „Ganzheitlichkeit der Aufgabe“ und der „Kommunikationserfordernisse“ unverändert übernommen. Die Kriterien „Denk- und Planungserfordernisse“ und „Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten“ werden nicht mehr als eigenständig betrachtet, sondern unter dem Begriff „Anforderungsvielfalt“ zusammengefasst. Damit können alle Arten von Anforderungen des Arbeitsplatzes beurteilt werden. Um nicht nur ihre Verschiedenartigkeit, sondern auch die Schwierigkeit zu berücksichtigen, wurde das Kriterium „Komplexität der Aufgabe“ neu hinzugefügt. Nach GROTE

(2015, S. 136) wurden die Aspekte „Durchschaubarkeit“ und „Gestaltbarkeit“ zu einem Bewertungskriterium zusammengefasst. Außerdem wurde „Zeitelastizität“ umbenannt in „Zeitbindung“, um die Verständlichkeit zu erhöhen.

Statt „Prozesstransparenz“ wird auf der Ebene der Mensch-Maschine-Funktionsteilung die „Nachvollziehbarkeit“ des Prozesses bewertet, da der Fokus mehr auf die Arbeitsperson gelegt wird. Um diesen Aspekt noch besser beurteilen zu können, wurde der „Grad der Informationsbereitstellung“ mit in die Bewertung aufgenommen. Der etwas schwer verständliche Aspekt „Kopplung“ wurde umbenannt in „Bindung an das technische System“. Damit kann bestimmt werden, wer am AP die Entscheidungshoheit hat und wie die Aufgaben zwischen Mensch und Maschine verteilt sind. Außerdem umfasst er die „Flexibilität“, diese Aufgabenverteilung zu verändern.

Durch diese Umgestaltung bzw. Umformulierung wurden die Bewertungskriterien wesentlich verschlankt und sind einfacher zu verstehen als in ihrer ursprünglichen Form. Zusätzlich ist jedes Kriterium mit einer oder mehreren Leitfragen versehen (s. Abbildung 5-8), deren Beantwortung die Beurteilung durch die Anwendenden erleichtert.

Dies wurde auch im Rahmen einer Validierung mit Expertinnen und Experten in der Industrie bestätigt. Die sechs befragten Personen aus unterschiedlichen Unternehmen der Branchen Elektrotechnik, Automobilbau und -zulieferer, IT sowie Maschinen- und Anlagenbau bestätigten die bessere Verständlichkeit der vereinfachten Begrifflichkeiten und sprachen sich für die Reduzierung der Kriterienanzahl von 18 auf 11 aus. Im Anhang I ist die Übersicht zu den befragten Personen zu finden.

### 5.3 Baustein 2 – Anforderungen an das zukünftige Montagepersonal

Auf Basis der Beschreibung des zukünftigen Arbeitsplatzes und der Einschätzung der Arbeitsbedingungen, wird im zweiten Methodenschritt ermittelt, welche Anforderungen das Arbeitssystem künftig an das Bedienpersonal stellt. Ein umfassender Anforderungskatalog für manuelle Arbeitsplätze in einer Smart Factory und eine Matrix zur Bewertung und Auswahl der benötigten Anforderungen bilden die Werkzeuge für diese *Aufgabenanalyse*.

Mit diesen beiden Werkzeugen wird die Forschungsfrage

- 3) *Durch welchen methodischen Ansatz kann die Auswirkung der veränderten Arbeit auf die Anforderungsprofile der Mitarbeitenden bestimmt werden?*

beantwortet.

### 5.3.1 Werkzeug 2.1: Anforderungskatalog

Der Anforderungskatalog unterstützt die Verantwortlichen, zu identifizieren, welche Anforderungen zukünftig an die Arbeitsperson am definierten Arbeitsplatz gestellt werden und in welchem Umfang diese sich aufgrund veränderter Arbeitsweisen wandeln werden. Ähnlich wie die Trendliste aus Baustein 1, stellt er eine Sammlung unterschiedlichster Anforderungen dar, welche an Montagearbeitsplätzen in einer Smart Factory gefordert sein können. Auch dieser Katalog dient somit in erster Linie als Ideenpool für die Verantwortlichen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es wurde darauf geachtet, eine umfangreiche Sammlung zur Verfügung zu stellen, die zum aktuellen Zeitpunkt auf Basis der momentanen technologischen Möglichkeiten in einer Smart Factory relevant erscheint. Dennoch muss auch hier eine Weiterentwicklung und Überarbeitung des Katalogs stattfinden, wenn sich die Technologien und Anwendungsfälle einer Smart Factory verglichen zum heutigen Zukunftsbild weiterentwickeln. Das methodische Vorgehen zur Erstellung des Katalogs kann dann unter angepassten Rahmenbedingungen herangezogen werden, um eine Neuauflage zu erarbeiten.

### **Entwurfsmethode zur Entwicklung des Anforderungskatalogs**

Die in Abbildung 5-9 dargestellte Entwurfsmethode zeigt das wissenschaftliche Vorgehen zur Entwicklung des Anforderungskatalogs. Die drei Schritte zur Durchführung werden in den anschließenden Abschnitten erläutert.

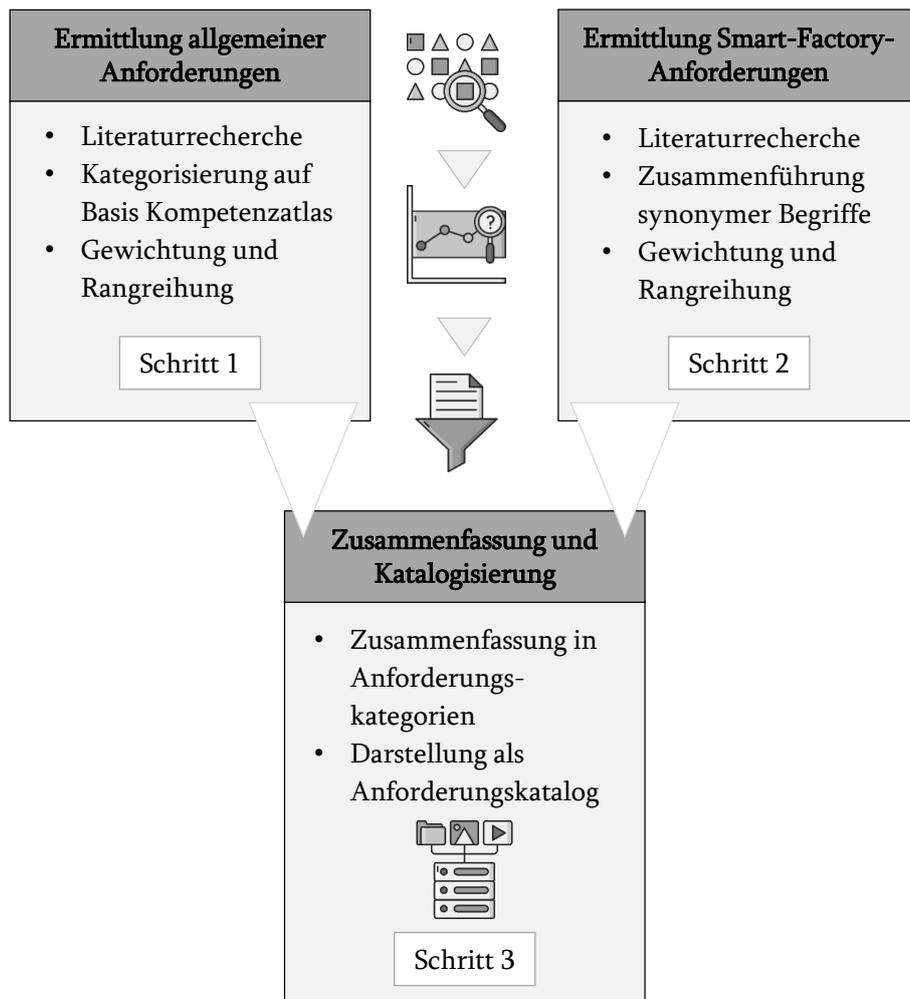


Abbildung 5-9: Entwurfsmethode für den Anforderungskatalog der Smart Factory in Anlehnung an IMBSWEILER (2018, S. 37)

Zunächst werden auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche allgemeingültige Anforderungen für Arbeitspersonen gesammelt, die keinen speziellen Produktionsbezug aufweisen. Diese werden anschließend analysiert und gemäß festgelegter Kriterien selektiert und gewichtet. Entsprechend wird mit den Anforderungen, wie sie in einer Smart Factory zu erwarten sind, verfahren. Auch sie werden mittels einer Literaturrecherche gesucht, anschließend klassifiziert und gewichtet. Im dritten Schritt werden die so erzeugten Anforderungslisten für allgemeine Arbeitsplätze und für die Smart-Factory verglichen und zusammengeführt, sodass ein gemeinsamer Anforderungskatalog entsteht. (IMBSWEILER 2018)

**Schritt 1 – Ermittlung allgemeiner Anforderungen an Arbeitspersonen**

Der erste Schritt der in Abbildung 5-9 dargestellten Entwurfsmethode umfasst vier Bausteine (I bis IV) zur Ermittlung der allgemeinen Anforderungen. Diese sind in Abbildung 5-10 dokumentiert. Im Schritt I wird zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, um einen Basisumfang an Quellen zu erhalten. Aus diesen Quellen werden die genannten Anforderungen extrahiert und in einer Matrix dargestellt. Im Schritt II werden die Quellen mit drei unterschiedlichen Faktoren hinsichtlich ihrer Qualität ( $f_h$ ), ihrer Aktualität ( $f_a$ ) und ihrem Praxisbezug ( $f_p$ ) bewertet. Daraus wird ein Gewichtungsfaktor ( $GP$ ) gebildet. Mit diesem Faktor werden die Anforderungen im Schritt III gewichtet, bevor sie auf Basis ihrer Gewichtungssumme im Schritt IV in eine Rangfolge gebracht werden. Die Rangfolge bildet die Priorisierung der Anforderungen ab. Anforderungen, die aus renommierten Quellen stammen, möglichst aktuell sind und hohen Praxisbezug aufweisen, stehen damit weiter oben in der Rangfolge. Die folgenden Absätze beschreiben dieses Vorgehen im Detail.

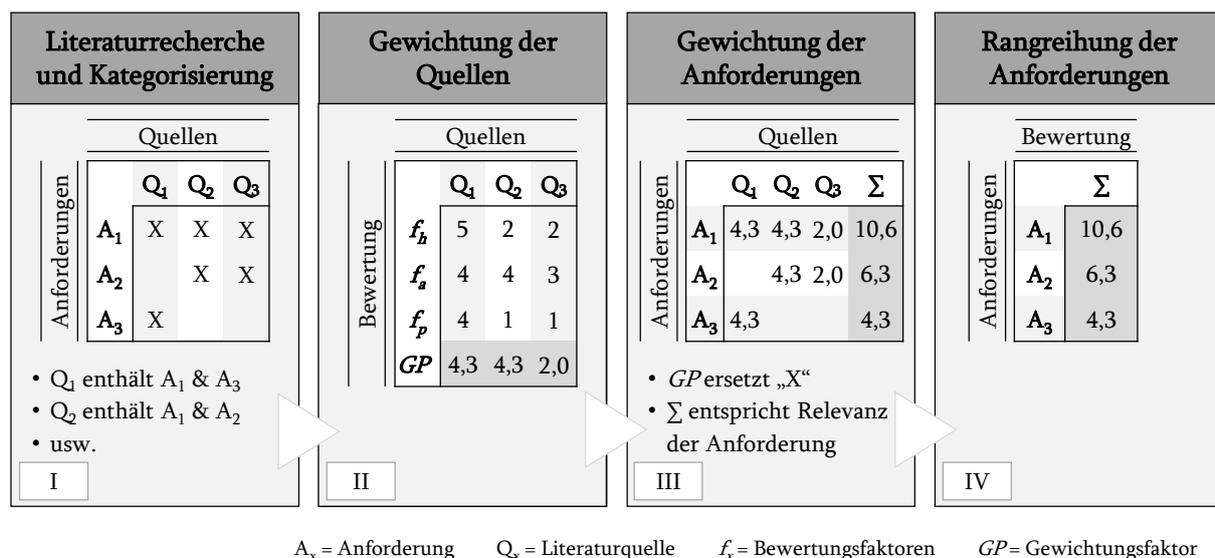


Abbildung 5-10: Vorgehen zur Bewertung der allgemeinen Anforderungen

*Schritt I – Literaturrecherche und Kategorisierung der Anforderungen*

Für die Literaturrecherche wurden 21 Quellen herangezogen. Ein Großteil davon stellte Standardwerke dar, die im Bereich des Personalmanagements bekannt sind. Außerdem wurde darauf geachtet möglichst viele verschiedene Autoren zu berücksichtigen, um ein

breites Spektrum an Fachexpertise zu erhalten. In allen Quellen wurden verschiedene Kategorisierungsmöglichkeiten für Personalanforderungen mit entsprechenden Beispielen erläutert. Um nicht nur Anforderungen aus der theoretischen Betrachtung zu berücksichtigen, wurden auch Studien und Berichte in die Analyse aufgenommen, die unternehmensspezifische Vorgehensweisen und Anforderungsprofile vorstellen. Hierfür mussten die untersuchten Arbeitsplätze allgemeingültig beschrieben sein, sodass die genannten Anforderungen auch auf andere Unternehmen übertragbar sind. Die vollständige Tabelle der untersuchten Literatur befindet sich im Anhang J.

Während dieser Recherche wurde eine Liste von 117 unterschiedlichen Anforderungen zusammengetragen, wobei darin auch Synonyme oder Begriffe mit ähnlicher Bedeutung enthalten sind. Um die Anwendbarkeit einer solchen Übersicht zu sichern, müssen die Ergebnisse kondensiert und auf ein Minimum reduziert werden. Im besten Fall lassen sich die Anforderungen in wenigen Kategorien zusammenfassen, welche dann wiederum mehrere konkrete Anforderungen enthalten. (LEINWEBER 2010, S. 157)

Bei der Zusammenfassung der Anforderungen gilt es auf zwei Aspekte besonders zu achten:

- Hierarchien: Begriffe sind einander über- oder untergeordnet.
- Begriffsüberschneidungen: Begriffe überschneiden sich inhaltlich und sind nur schwer voneinander abgrenzbar.

In beiden Fällen muss ein Kompromiss zwischen einem zu hohem Detailgrad (Liste ist zu umfangreich) und einem zu hohen Abstraktionslevel (Liste wird schwer nachvollziehbar) gefunden werden. Es wäre durchaus möglich, alle Anforderungen soweit zu abstrahieren, bis sie auf einen der fünf Begriffe aus dem „Big Five“-Kompetenzmodell von THURSTONE (1934) zutreffen. In diesem Fall wäre der Abstraktionsgrad jedoch so hoch, dass keine konkreten Aussagen mehr über einen bestimmten Arbeitsplatz gemacht werden könnten, da zu viele Bedeutungsunterschiede innerhalb der Anforderungen verloren gehen würden. Einen guten Kompromiss stellt die Differenzierung von Kompetenzen des etablierten Kompetenzatlas von HEYSE & ERPENBECK (2009, S. XIII) dar. Er enthält 64 Kompetenzarten in den vier Kategorien „Personale Kompetenz“, „Aktivitäts- und Handlungskompetenz“, „Sozial-kommunikative Kompetenz“ und „Fach- und Methodenkompetenz“.

Aufgrund der übersichtlichen Struktur und der angemessenen Anzahl berücksichtigter Kompetenzen, wurde der Kompetenzatlas als Grundlage für die Zusammenfassung der aus der Literatur identifizierten Anforderungen gewählt. Im Folgenden zeigen Tabelle 5-10 bis Tabelle 5-13 die Zuordnungen, die für die vorliegende Forschungsarbeit getroffen wurden.

Tabelle 5-10: Zuordnung der allgemeinen Anforderungen zu den personalen Kompetenzen nach HEYSE & ERPENBECK (2009)

	<b>personale Kompetenzen</b>
<b>HEYSE &amp; ERPENBECK (2009)</b>	<b>Literaturrecherche</b>
Loyalität	Loyalität, Integrität, Passung zum Unternehmen, Commitment
normativ-ethische Einstellung	ethisches Handeln, Einhaltung von Vorschriften, Werthaltungen, Wertorientierung
Glaubwürdigkeit	Authentizität
Eigenverantwortung	Verantwortungsbewusstsein, -bereitschaft, Verantwortung übernehmen, gewissenhaft, Gewissenhaftigkeit
Einsatzbereitschaft	Engagement, Motivation/Interessen
Selbstmanagement	Selbststeuerung, -management, Leistungsmanagement, -motivation, energisch, Performance Management, Selbstständigkeit
schöpferische Fähigkeit	Kreativität, creating, schöpferische Fähigkeit, Intuition, Ressourcengestaltung, Neugier, Ambiguitätstoleranz, Sensibilität
Offenheit für Veränderungen	Veränderungs-, Umstellungsfähigkeit, Umstellungsbereitschaft, adapting, Veränderungsmanagement, weniger routineorientiert, Change, Offenheit
Humor	-
Hilfsbereitschaft	Supporting
Mitarbeiterförderung	Andere befähigen, Mitarbeiterentwicklung, Motivationskraft
Delegationsfähigkeit	Delegationsfähigkeit, Mitarbeiter-Controlling
Lernbereitschaft	Lernfähigkeit, -bereitschaft, Wille zum unaufgeforderten Lernen, Lerntechnik
Disziplin	Termineinhaltung, Pünktlichkeit, persönliche Stabilität, Frustrationstoleranz, unemotional, emotionale Stabilität, Selbstkontrolle
ganzheitliches Denken	strategisches Denken, strategically thinking, ganzheitliches Denken, Strategiekompetenz, -entwicklung, -umsetzung, strategische Orientierung, unternehmerisches Denken, enterprising, Unternehmertum, wirtschaftliches Denken und Handeln, produktiv nutzbares Verhaltens- oder Gedankenmuster, denken und handeln in Netzwerken
Zuverlässigkeit	zuverlässige Verwaltung, Zuverlässigkeit, Verlässlichkeit, Sorgfalt, Präzision, Ordnung, vertrauensvoll

Dabei wurden die in der Recherche identifizierten Begriffe zusammengefasst, deren Bedeutung synonym zueinander sind oder die einer über- bzw. untergeordneten Bedeutung des Begriffs zuzuordnen sind. Anschließend wurden sie der entsprechenden Kompetenz des Kompetenzatlas zugewiesen. Dabei gilt, dass diese Zuordnung zumeist einer gewissen Subjektivität unterliegt und davon abhängt auf Basis welcher Werte oder Leitsätze eine solche Zuordnung erfolgt.

Bei den personalen Kompetenzen (Tabelle 5-10) wurden größtenteils synonyme Begriffe unter dem entsprechenden Überbegriff des Kompetenzatlas zusammengefasst. Beispielsweise war das bei den Begriffen Einsatzbereitschaft oder Selbstmanagement der Fall. In der Literaturrecherche wurde eine Vielzahl ähnlicher Begriffe wie Engagement, Selbststeuerung oder Motivation gefunden. Die Bedeutungsunterschiede der einzelnen Begriffe sind jedoch so gering, dass eine Zusammenführung zum besseren Verständnis für die Anwendung sinnvoll erschien. Die Kompetenz Humor wurde für den hier gestalteten Anforderungskatalog nicht berücksichtigt, da sie in der untersuchten Literatur nicht vorkam. Bei einigen Kompetenzen wurden größere Bedeutungsunterschiede identifiziert und ein höherer Abstraktionsgrad des Begriffs gewählt. Dies war beispielsweise bei Loyalität der Fall. Hierbei handelt es sich um ein „sehr komplexes Wortfeld“ HEYSE & ERPENBECK (2009, S. 3), welches unterschiedliche Bedeutungsdimensionen haben kann. Relevant für den zu entwickelnden Anforderungskatalog sind vor allem die Bedeutungen hinsichtlich Integrität und Identifikation mit dem eigenen Unternehmen.

Einige der Aktivitäts- und Umsetzungskompetenzen des Kompetenzatlas wurden, wie in Tabelle 5-11 dargestellt, im Anforderungskatalog später nicht berücksichtigt, da sie in der entsprechenden Literatur nicht als typisch für die betrachteten Arbeitsplätze gesehen wurden. Zur Kompetenz „Tatkraft“ wurden auch Aspekte der „Dynamik“ aufgenommen, da ein tatkräftiger Mensch dazu tendiert, zu handeln statt aufzuschieben. Er ist also aktiv und weist somit Dynamik auf. (HEYSE & ERPENBECK 2009, S. 148) Ähnlich wurde mit dem Begriff „Schlagfertigkeit“ umgegangen. Er kann als Synonym für „Souveränität“ und „Selbstvertrauen“ interpretiert werden. Hierarchisch untergeordnet sind diesen Begriffen Attribute wie „Ausstrahlung“, „Entschlossenheit“ oder „Charisma“, weshalb auch hier eine Zusammenführung zielführend war. (HEYSE & ERPENBECK 2009, S. 229)

Tabelle 5-11: Zuordnung der allgemeinen Anforderungen zu den Aktivitäts- und Umsetzungskompetenzen nach HEYSE & ERPENBECK (2009)

<b>Aktivitäts- und Umsetzungskompetenzen</b>	
<b>HEYSE &amp; ERPENBECK (2009)</b>	<b>Literaturrecherche</b>
Entscheidungsfähigkeit	Entscheidungsfreude, -fähigkeit, -verhalten, deciding, Konzept- und Entscheidungsqualität
Gestaltungswille	-
Innovationsfreudigkeit	Innovation, Innovationsmanagement, Innovationsfähigkeit
Belastbarkeit	Belastbarkeit, coping, ausdauernd, Ausdauer
Tatkraft	Tatkraft, Dynamik, aktiv, Handlungsorientierung
Mobilität	-
Initiative	Initiative, Eigeninitiative, initiieren
Ausführungsbereitschaft	-
Optimismus	-
soziales Engagement	-
Impuls geben	-
Schlagfertigkeit	Charisma, Ausstrahlung, Selbstvertrauen, sicher, Entschlossenheit, äußeres Auftreten, Selbstdarstellung und Auftreten, Souveränität, Selbstbewusstsein
ergebnisorientiertes Handeln	Ziel-, Ergebnis-, Resultatsorientierung, performing, zielorientierte Umsetzungskraft, Zielstrebigkeit, Zielsetzungs- und Zielerreichungsfähigkeit, Zielmanagement
zielorientiertes Führen	Führungskompetenz, -fähigkeit, leading, Mitarbeiterführung, Lenkungsverhalten, Disposition, Kontrolle
Beharrlichkeit	-
Konsequenz	Risikobereitschaft

Im Falle der sozial-kommunikativen Kompetenzen (Tabelle 5-12) sind die „Teamfähigkeit“ und die „Sprachgewandtheit“ die beiden Kompetenzen mit den breitesten Bedeutungsdimensionen. „Teamfähigkeit“ umfasst alle teamgebundenen Fähigkeiten, wozu auch die „Kritikfähigkeit“ und die „Verträglichkeit“ mit anderen Personen gehört, da nur damit das Arbeiten in Teams erfolgreich möglich ist. (HEYSE & ERPENBECK 2009, S. 362) Zur „Sprachgewandtheit“ gehört alles, was mit Redekunst einhergeht (DUDENREDAKTION 2020) und damit auch „Präsentationsfähigkeit“ oder die „Fähigkeit andere zu überzeugen oder zu motivieren“ (HEYSE & ERPENBECK 2009, S. 409).

Tabelle 5-12: Zuordnung der allgemeinen Anforderungen zu den sozial-kommunikativen Kompetenzen nach HEYSE & ERPENBECK (2009)

<b>sozial-kommunikative Kompetenzen</b>	
<b>HEYSE &amp; ERPENBECK (2009)</b>	<b>Literaturrecherche</b>
Konfliktlösungsfähigkeit	Konfliktfähigkeit, -management, Fähigkeit zur Auseinandersetzung
Integrationsfähigkeit	Integrationsfähigkeit
Teamfähigkeit	Teamfähigkeit, -management, Zusammen-, Teamarbeit, emotionale Intelligenz, Kritikfähigkeit, verträglich, Reflektionsfähigkeit
Dialogfähigkeit, Kundenorientierung	Kunden-, Serviceorientierung, Servicemanagement, Business Partnership, Dienstleistungsorientierung
Akquisitionstärke	Verhandlungs-, Verkaufsgeschick
Problemlösungsfähigkeit	Problemlösefähigkeit, unermüdliches Problemlösen, Problemlösungsverhalten, Problemlösekompetenz, Problemlösung
Experimentierfreude	-
Beratungsfähigkeit	Beratungskompetenz
Kommunikationsfähigkeit	Kommunikationsfähigkeit, Kommunikation
Kooperationsfähigkeit	Kooperationsfähigkeit, co-operating, Kooperation, kooperativ
Beziehungsmanagement	Kontaktverhalten, soziale Kompetenz, Geschick im Umgang mit Menschen, interacting, Menschenkenntnis, aufmerksam, Aufmerksamkeit, gesellig, aufgeschlossen
Anpassungsfähigkeit	Beweglichkeit des Denkens
Sprachgewandtheit	sprachliche Gewandtheit, Präsentationsfähigkeit, Darstellungsvermögen, Durchsetzungskraft, -fähigkeit, -vermögen, Überzeugungskraft, überzeugen, durchsetzen, Motivation der Mitarbeiter, Motivationskraft
Verständnisbereitschaft	Einfühlungsvermögen, Internationalität, kulturelle Offenheit
Pflichtgefühl	-
Gewissenhaftigkeit	-

Im Bereich der Fach- und Methodenkompetenzen (Tabelle 5-13) wurden einige Kompetenzen nicht in der betrachteten Literatur bestätigt und somit nicht in den Anforderungskatalog aufgenommen. Darüber hinaus wurden der Kategorie „fachübergreifende Kenntnisse“ alle Kompetenzen zugeordnet, die zwar fachlicher Natur sind, aber nicht in einer der anderen Kompetenzen berücksichtigt wurden. Darunter fallen insbesondere alle Anforderungen hinsichtlich der Methodenkenntnisse sowie alles, was mit Geschicklichkeit in Verbindung gebracht werden kann.

Tabelle 5-13: Zuordnung der allgemeinen Anforderungen zu den Fach- und Methodenkompetenzen nach HEYSE & ERPENBECK (2009)

	Fach- und Methodenkompetenzen
<b>HEYSE &amp; ERPENBECK (2009)</b>	<b>Literaturrecherche</b>
Wissensorientierung	-
analytische Fähigkeiten	analytische Fähigkeit, Analysefähigkeit, -vermögen, analytisches Denken
Sachlichkeit	-
Beurteilungsvermögen	interpreting
Konzeptionsstärke	konzeptionelle Fähigkeit, conceptualising, Konzeptqualität, konzeptionelles/lösungsorientiertes Denken
Organisationsfähigkeit	Organisationstalent, Organisiertheit, organising, Organisations- und Planungskompetenz, koordinieren
Fleiß	-
systematisch-methodisches Vorgehen	systematisches Denken, executing, Denkvermögen, systematisches/genaues/methodisches Vorgehen/Wissen,
Projektmanagement	Planung, Planungsfähigkeit, Komplexitätsmanagement
Folgebewusstsein	-
Lehrfähigkeit	-
fachliche Anerkennung	-
Fachwissen	Fachwissen, -kenntnisse, -kompetenz, -können, Ausbildung
Marktkennntnisse	Ertragsmanagement, Kostenbewusstsein
Planungsverhalten	Berufs- und Lebensplanung
fachübergreifende Kenntnisse	Methodenkenntnis, IT-Beherrschung, Erfahrung, Erfahrungsspektrum, lebensbiografische Voraussetzungen, praktisches/handwerkliches/manuelles Geschick, creating, Geschicklichkeit, Gewandtheit

Mit den zusammengefassten Anforderungen kann der Schritt I der in Abbildung 5-10 dargestellten Vorgehensweise durchgeführt und die Anforderungen den jeweiligen Quellen zugeordnet werden. Dabei werden im weiteren Verlauf nur noch die mittels der Literatur bestätigten Kompetenzen des Kompetenzkatalogs berücksichtigt.

Die Zuordnung der Anforderungen zu den Quellen ist im Anhang K gezeigt. In dieser Darstellung wurde auch schon die Bewertung, welche im Folgenden erläutert wird, durchgeführt.

*Schritt II – Priorisierung und Gewichtung der Quellen*

Zur Gewichtung der Quellen und weiteren Priorisierung, wurden zunächst die untersuchten Quellen mit einem Gewichtungsfaktor ( $GP$ ) bewertet. Dieser berücksichtigt sowohl die Qualität der Publikation ( $f_h$ ) als auch ihre Aktualität ( $f_a$ ) und ihren Praxisbezug ( $f_p$ ). Um eine Verrechnung der einzelnen Aspekte zu ermöglichen, werden alle Bewertungsergebnisse auf eine Skala von 0 bis 5 normiert und anschließend der Mittelwert daraus gebildet. Eine einfache Mittelwertberechnung gemäß

$$GP = \frac{f_h + f_a + f_p}{3} \quad (5-2)$$

ist an dieser Stelle ausreichend, da keiner der Faktoren mehr Einfluss hat als die anderen.  $f_h$  bezeichnet hierbei den Faktor zur Berücksichtigung der Qualität der Publikation, der Faktor  $f_a$  berücksichtigt die Aktualität der Publikation und der Faktor  $f_p$  den Praxisbezug der Publikation. (IMBSWEILER 2018, S. 50)

Um die Qualität der Publikation mit dem Faktor  $f_h$  zu bewerten, wird das Renommee der Autoren herangezogen. Die beiden aussagekräftigsten Informationen hierzu sind die Anzahl der Zitate einer Publikation, also wie häufig pro Jahr die entsprechenden Autoren oder die Publikation von anderen zitiert wurde, und das Gesamtangebot an Publikationen eines Autors oder einer Autorin. Beide werden vom sogenannten Hirsch-Index (auch Hirsch-Faktor oder h-Index genannt) berücksichtigt. Eine Person hat den Index  $h$ , wenn  $h$  ihrer  $N$  Publikationen jeweils mindestens  $h$  Zitate und die anderen  $(N - h)$  Veröffentlichungen höchstens  $h$  Zitate haben. (HIRSCH 2005, S. 16569) Aufgrund dieser Berechnung unterscheidet sich der h-Index je nach zugrunde liegender Datenbasis. Daher sollte eine möglichst umfassende Datenbank für die Ermittlung ausgewählt werden. Für die hier durchgeführte Berechnung der h-Indizes wurde Google Scholar verwendet. Die individuellen Indizes wurden mit dem Programm „Publish or Perish 6“ ermittelt. Dieses Programm erstellt für jede betrachtete, publizierende Person einen Bericht, welcher alle gefundenen Quellen und die daraus berechneten Daten zusammenfasst. (HARZING 2007) Diese Analyse wurde für alle Publizierenden der im Anhang J dargestellten 21 Quellen durchgeführt. Bei Veröffentlichungen, die von mehreren Personen verfasst wurden, wurde als ausschlaggebender Index für die weitere Einordnung der Autor oder die Autorin mit dem höchsten h-Index ausgewählt. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abbildung 5-11 dargestellt.

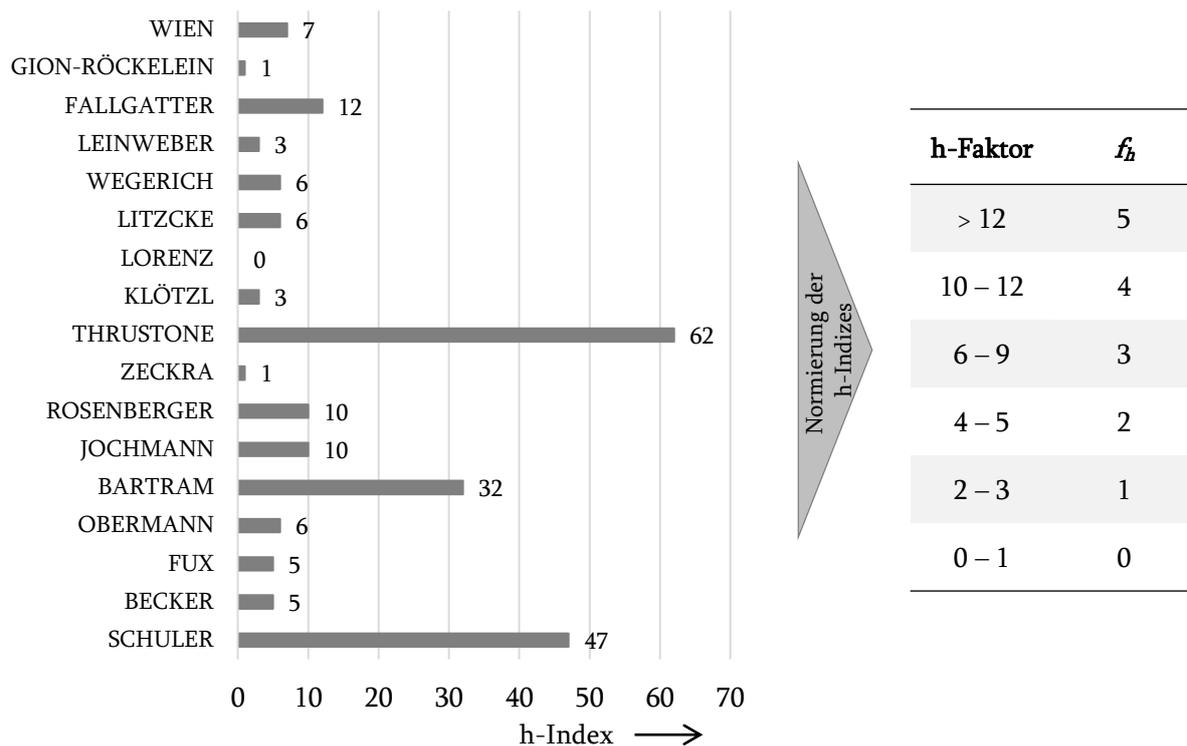


Abbildung 5-11: Vergleich der h-Indizes der Autoren und Autorinnen und Einteilung der Normierungsskala in Anlehnung an IMBSWEILER (2018, S. 48)

Um diese Erkenntnisse in der Formel (5-2) zu implementieren, erfolgte eine Normierung der Ergebnisse auf die Skala 0 bis 5, welche ebenfalls in Abbildung 5-11 dargestellt ist. Ein h-Index von 12 oder mehr wird mit dem Faktor  $f_h = 5$  versehen, da nach HIRSCH (2005, S. 16571) diese Höhe typisch für einen Associate Professor an einer größeren Universität ist. In den analysierten Publikationen sind jedoch auch viele Personen, deren h-Index zum momentanen Stand noch deutlich geringer ist, weshalb eine feinere Unterteilung in den Kategorien  $h = 0$  bis  $h \leq 12$  erfolgen sollte.

Dieselbe Skala zur Normierung wurde auch für die Faktoren zur Bewertung der Aktualität ( $f_a$ ) und des Praxisbezugs ( $f_p$ ) herangezogen und ist in Tabelle 5-14 ersichtlich.

Da die allgemeinen Anforderungen an das Produktionspersonal mit den zukünftigen Anforderungen einer Smart Factory zusammengeführt werden sollen, wurden Publikationen neueren Ursprungs tendenziell als relevanter eingestuft als Ältere. Um für die relativ lange Zeitspanne der untersuchten Veröffentlichungen eine angemessene Differenzierung zu erhalten, wurden die Zeitspannen mit abnehmenden Aktualitätsfaktor jeweils um ein Jahr

länger als die vorhergehende. Somit gewannen aktuellere Quellen zusätzlich an Einfluss. Eine Ausnahme bildet die Arbeit von THURSTONE (1934). Sie wurde nicht gemäß der Normierungsskala mit dem Faktor 0 versehen, da die darin vorgestellte Methode erst in den 1980er Jahren Anklang fand und bis heute häufig verwendet und zitiert wird. Für diese Veröffentlichung wurde daher als Datumsquelle die Arbeit von MCCRAE & COSTA (2006) herangezogen, da dies eine der aktuellsten Veröffentlichungen ist, die sich sehr stark auf die Arbeit von THURSTONE (1934) bezieht.

Tabelle 5-14: Einteilung der Normierungsskala für die Faktoren  $f_a$  und  $f_p$

Erscheinungs- jahr	$f_a$	Praxisbezug	$f_p$
2016 – 2018	5	Studie mit mind. zwei Firmen	5
2012 – 2015	4	etablierte Methode	4
2007 – 2011	3	positionsspezifische Methode oder sehr allg. etablierte Methode	3
2001 – 2006	2	konkretes Beispiel	2
1994 – 2000	1	theoretisches Beispiel	1
vor 1994	0	kein Beispiel	0

Der Praxisbezug, ausgedrückt durch den Faktor  $f_p$ , bewertet die Veröffentlichungen höher, die Anforderungen für reale Arbeitsplätze in Unternehmen darstellen oder deren vorgestellte Methoden einen hohen Anwendungsbezug aufweisen, sehr etabliert sind und daher häufig verwendet werden. Aus diesem Grund wurden Arbeiten, die Studien mit mehreren Unternehmen umfassten, mit dem Faktor 5 versehen. Um den nächstbesten Faktor zu erhalten, musste eine Methode von mindestens drei verschiedenen Autoren oder Autorinnen zitiert werden, um als etabliert zu gelten oder die veröffentlichende Person einen h-Index  $> 10$  aufweisen. Die folgenden Abstufungen richten sich danach, ob die in der Veröffentlichung vorgestellten Methoden und Beispiele spezifisch für produzierende Unternehmen oder bestimmte Personengruppen waren oder allgemeine bzw. theoretische Beispiele enthielten.

*Schritt III und IV – Gewichtung und Rangreihung der Anforderungen*

Tabelle 5-15 zeigt stufenweise die Bewertung der untersuchten Literatur, was dem Schritt III der Abbildung 5-10 entspricht.

Tabelle 5-15: Bewertung der Publikationen zur Ermittlung allgemeiner Anforderungen

Nr.	Bewertung Qualität		Bewertung Aktualität		Bewertung Praxisbezug		GP
	Autor	$f_h$	Jahr	$f_a$	Inhalt der Publikation	$f_p$	
1	SCHULER	5	2014	4	sehr etablierte Methode für Anforderungsprofile	4	4,3
2	BECKER	2	2013	4	allgemeines Beispiel des Autors	1	2,3
3	BECKER	2	2011	3	allgemeines Beispiel des Autors	1	2,0
4	FUX	2	2005	2	Fragebogen zur Bewertung eines Arbeitsplatzes	3	2,3
5	OBERMANN	3	2008	3	Studie mit Daten von 200 Unternehmen	5	3,7
6	OBERMANN	3	2012	4	Studie mit Daten von 117 Unternehmen	5	4,0
7	OBERMANN	3	2016	5	Studie mit Daten von 146 Unternehmen	5	4,3
8	BARTRAM	5	2011	3	verbreitete Methode zur Kompetenzbewertung	4	4,0
9	JOCHMANN	4	2013	4	Standardkompetenzmodell	4	4,0
10	JOCHMANN	4	2017	5	Kompetenzmodell für Führungskräfte	3	4,0
11	ROSENBERGER	4	2014	4	etabliertes Modell zur Talente-Erfassung	4	4,0
12	ZECKRA	0	2014	4	Beispiel von Generali	2	2,0
13	THURSTONE	5	1934 (2006)	2	etablierte allg. Methode zur Kompetenzerfassung	3	3,3
14	KLÖTZL	1	1996	1	allgemeines Beispiel des Autors	1	1,0
15	LORENZ	0	2015	4	allgemeines Beispiel des Autors	1	1,7
16	LITZCKE	3	2003	2	Kompetenzmodell für eine Führungskraft	3	2,7
17	WEGERICHT	3	2015	4	Beispiel von TRUMPF und S. Oliver	2	3,0
18	LEINWEBER	1	2013	4	allgemeines Beispiel des Autors	1	2,0
19	FALLGATTER	4	2013	4	allgemeines Beispiel des Autors	1	3,0
20	GION- RÖCKELEIN	0	2013	4	Beispiel von Merck	2	2,0
21	WIEN	3	2013	4	allgemeines Beispiel des Autors	1	2,7

Die letzte Spalte zeigt den Gewichtungsfaktor  $GP$  der jeweiligen Quelle. Er wird im Schritt IV verwendet, um die zuvor ermittelten Anforderungen zu priorisieren und in eine Rangfolge zu bringen.

Der vierte Schritt aus Abbildung 5-10 ist dem Anhang K zu entnehmen. Dort wurden alle Anforderungen mit dem Gewichtungsfaktor  $GP$  der jeweiligen Quelle bewertet und anschließend die Summe ( $\Sigma$ ) daraus gebildet. In absteigender Reihenfolge bildet die Summe die Rangfolge der allgemeinen Anforderungen. Diese wird im dritten Schritt der Entwurfsmethode für den Anforderungskatalog (Abbildung 5-9) mit der Rangfolge der Anforderungen für die Smart Factory verglichen und daraus ein ganzheitlicher Anforderungskatalog erstellt.

## **Schritt 2 – Ermittlung von Anforderungen für die Smart Factory**

Das Vorgehen für den Schritt 2 der Entwurfsmethode aus Abbildung 5-9 ist ähnlich zu dem im Schritt 1. Zunächst wurden einschlägige Quellen identifiziert, die sich mit der Rolle des Menschen in einer zukünftigen Smart Factory und den vermutlich daraus entstehenden Anforderungen befassen. Eine Übersicht der dazu herangezogenen Publikationen zeigt Tabelle 8-11 im Anhang L. Allen Veröffentlichungen ist gemein, dass sie eine Zukunftsvorhersage treffen und daher auf Expertenmeinungen, Plausibilitätsanalysen und Wahrscheinlichkeitsabschätzungen basieren.

Um auf dieser Basis eine möglichst belastbare Tendenz zu ermitteln, wurden die in der Literatur genannten Anforderungen zusammengefasst und die Häufigkeit ihrer Nennung über alle betrachteten Quellen ermittelt. In der Tabelle 8-12 im Anhang M sind die in den Publikationen gefundenen Kompetenzen bzw. Anforderungen und ihre ebenfalls vorkommenden Synonyme aufgelistet. Aus dieser Darstellung kann die Kategorisierung nachvollzogen werden. Bei der Auswahl der Bezeichnungen wurde soweit wie möglich auf die Begriffe aus dem Kompetenzatlas nach HEYSE & ERPENBECK (2009) zurückgegriffen.

Anschließend wurden die gefundenen Begriffe gezählt und die Kompetenzen ihrer Häufigkeit nach angeordnet. Tabelle 5-16 zeigt in zwei Spalten alle identifizierten Anforderungen nach absteigender Häufigkeit. Es wurde nur auf die Begrifflichkeiten aus Tabelle 8-12 zurückgegriffen, wenn die Anforderung als echtes Synonym verstanden werden konnte. Feine Bedeutungsunterschiede, wie beispielsweise zwischen digitaler und verbaler Kommunikationsfähigkeit, wurden erhalten und einzeln gezählt, da ihre Unterscheidung im Praxisalltag eine relevante Rolle spielt.

Tabelle 5-16: Häufigkeit der Nennung der Anforderungen für eine Smart Factory (IMBSWEILER 2018, S. 99)

Anforderung	Häufigkeit	Anforderung	Häufigkeit
Flexibilität allgemein	13	tiefgehendes Wissen	2
Komplexitätsmanagement	11	physische Belastbarkeit	2
Entscheidungsfähigkeit	11	Anpassungsfähigkeit	2
Interdisziplinarität	10	Innovationsfreudigkeit	2
Flexibilität zeitlich	8	Erfahrung mit moderner Technik	2
Teamfähigkeit	8	Verständnis von Vernetzung	2
Kommunikationsfähigkeit	8	Agilität	2
Eigenverantwortung	8	fachübergreifendes Wissen	1
Flexibilität örtlich	7	verbale Komm.fähigkeit	1
ganzheitliches Denken	7	Elektrotechnikverständnis	1
Flexibilität funktional	6	Mechanikverständnis	1
Lernbereitschaft und -fähigkeit	6	CPS-Verständnis	1
Kreativität	6	Führungsverständnis	1
Kooperationsfähigkeit	5	taktils und sensorisches Präzisionsvermögen	1
Organisationsfähigkeit	5	partnerschaftliches Denken	1
Reaktionsfähigkeit	4	Vertrauenswürdigkeit	1
digitale Kommunikationsfähigkeit	4	Kundenorientierung	1
methodisches Vorgehen	4	Zusammenarbeitsbereitschaft mit Maschinen	1
IT-Verständnis	4	Zuverlässigkeit	1
Wissen/Verständnis	3	Assoziationsfähigkeit	1
breites Wissen	3	Leistungsorientierung	1
Veränderungsfähigkeit	3	zielgerichtetes Vorgehen	1
Problemlösefähigkeit	3	Denkfähigkeit	1
arbeitstechnische Erfahrung	3	Kontrollfähigkeit	1
Systemkompetenz-Verständnis	3	Geduld	1
Koordinationsfähigkeit	3	Erinnerungsfähigkeit	1
psychische Belastbarkeit	3	Analysefähigkeit	1
Integrationsfähigkeit	3	Kompetenzen des Intellekts	1

### Schritt 3 – Zusammenführung der Anforderungsliste und Katalogisierung

Im letzten Schritt der Entwurfsmethode aus Abbildung 5-9 müssen die beiden Anforderungskataloge aus den Schritten 1 und 2 zusammengeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Anforderungskatalog für die Smart Factory nicht zu viele Kompetenzen enthalten

soll, damit er noch übersichtlich und einfach in der Anwendung bleibt. Zunächst wurde ausgehend von der Häufigkeitsverteilung der Smart-Factory-Anforderungen verglichen, wie viele der allgemeinen Anforderungen bereits darin enthalten waren. Dazu wurden alle allgemeinen Anforderungen mit einem  $GP > 26$  in den Vergleich aufgenommen.

Für den Großteil gilt, dass sie sich mit den Smart-Factory-Anforderungen deckten und daher bereits berücksichtigt waren. Die drei Anforderungen „Schlagfertigkeit“, „Sprachgewandtheit“ und „Dialogfähigkeit/Kundenorientierung“ waren zwar nicht enthalten, sind jedoch für Produktionspersonal in einer Montageumgebung nicht als besonders relevant anzusehen, weshalb sie nicht berücksichtigt wurden. „Einsatzbereitschaft“ wurde ebenfalls nicht übernommen, da dies eine sehr allgemeine personeninterne Voraussetzung ist, die bei jedem Mitarbeitenden erfüllt sein sollte, unabhängig vom Einsatzort. Um den Katalog so schlank wie möglich zu halten, wurden sehr generische Anforderungen ausgeschlossen. Die „Problemlösungsfähigkeit“, welche bei den allgemeinen Anforderungen explizit genannt wurde, ist indirekt in den Smart-Factory-Anforderungen „Komplexitätsmanagement“, „Reaktionsfähigkeit“ und „Interdisziplinarität“ enthalten, weswegen sie nicht zusätzlich berücksichtigt wurde.

Nach diesem Vorgehen wurde der in Tabelle 5-17 gezeigte Anforderungskatalog für eine Smart Factory erstellt. Zusätzlich wurden Kompetenzgruppen gebildet, um die Anwendung des Katalogs weiter zu erleichtern. Die erste Gruppe wird von Anforderungen der **Flexibilität** gebildet, da diese die häufigsten Nennungen zu verzeichnen haben. Hierzu gehören die örtliche, zeitliche und funktionale Flexibilität. Dieser Dreiklang ermöglicht eine konkrete Beschreibung der nötigen Anforderungen, welche die Mitarbeitenden zukünftig erfüllen müssen.

Da im Rahmen der stetig voranschreitenden Digitalisierung die Flexibilität permanent zunehmen muss, wird die zweite Kompetenzgruppe von Anforderungen gebildet, welche im weitesten Sinne eine **Veränderungsfähigkeit** konkretisieren. Alle darin zusammengefassten Kompetenzen befähigen das Produktionspersonal, mit ständigem Wandel umzugehen und sich immer wieder an neue Situationen zu gewöhnen.

Die Gruppe der **Fach- und Methodenkompetenz** ist der Teil des Katalogs, den die anwendende Person am stärksten für den individuellen Arbeitsplatz konkretisieren muss. Es muss möglichst detailliert beschrieben werden, welche Art von Fachwissen und technischem Wissen nötig ist, um am vorgegebenen Arbeitsplatz erfolgreich tätig zu sein.

Tabelle 5-17: Anforderungs-/Kompetenzkatalog für manuelle Montagearbeitsplätze in einer Smart Factory

Gruppe	Kompetenz/Anforderung	
Flexibilität	örtlich	
	zeitlich	
	funktional	
Veränderungsfähigkeit	Lernfähigkeit und -bereitschaft	
	Innovationsfreudigkeit	
	Reaktionsfähigkeit	
	Anpassungsfähigkeit	
Fach-/Methodenkompetenz	Wissen	Fachwissen allgemein
		Fachwissen tiefgehend
		fachübergreifendes Wissen
	Erfahrung	IT-Verständnis
		arbeitstechnisch
		Bedienung von smarten Geräten
		Interaktion Mensch-Maschine
	Denkweise/Vorgehen	methodisch/organisiert
		ganzheitliches Denken
Teamfähigkeit	Wahrnehmungsfähigkeit	
	Entscheidungsfähigkeit	
	Eigenverantwortung	
	Kommunikationsfähigkeit	verbal
		digital
Kooperationsfähigkeit		
Systemkompetenz	Interdisziplinarität	
	Komplexitätsmanagement	
	Belastbarkeit	psychisch
		physisch
Kreativität		

**Teamfähigkeit** umfasst alle Anforderungen und Kompetenzen, die es dem Mitarbeitenden ermöglichen, im Team zu agieren, um angemessen auf andere Personen zu reagieren und mit ihnen zu kommunizieren. Dazu gehört auch die Kompetenz sowohl für sich selbst als auch für Teammitglieder Verantwortung zu übernehmen und Entscheidungen zu treffen.

Die letzte Gruppe ist mit der Anforderung **Systemkompetenz** überschrieben. Sie enthält übergeordnete Anforderungen, die an einem technischen Arbeitsplatz unerlässlich sind. Besonders im Umfeld der Digitalisierung, wo die zunehmende Vernetzung der Systeme

auch die Komplexität dieser erhöht, müssen die Mitarbeitenden in der Lage sein, damit umzugehen. Einhergehend mit dieser Entwicklung nehmen die Ansprüche an interdisziplinäres Arbeiten und die Belastbarkeit der Arbeitspersonen weiter zu.

### 5.3.2 Werkzeug 2.2: Verknüpfungsmatrix II – Veränderte Arbeit und Anforderungen an das Montagepersonal in der Smart Factory

Mit dem Anforderungskatalog aus dem vorhergehenden Abschnitt kann eine weitere Verknüpfungsmatrix aufgestellt werden. Sie ermöglicht auf Basis der veränderten Arbeitsbedingungen eine Bewertung, inwiefern sich die Anforderungen an das Montagepersonal dadurch ändern. Sie erfüllt damit den Hauptzweck der Anforderungsermittlung für einen Arbeitsplatz in einer Smart Factory. Abbildung 5-12 erläutert die Struktur der Verknüpfungsmatrix II (VM II).

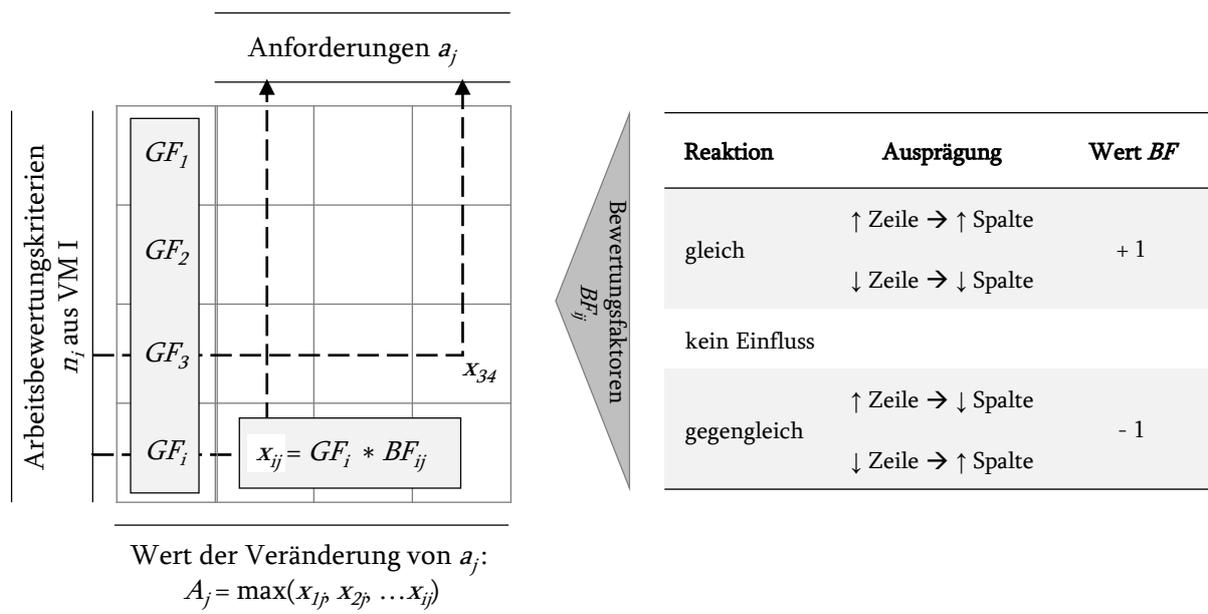


Abbildung 5-12: Struktur und Bewertungsfaktoren der Verknüpfungsmatrix II

Wie auch die VM I besteht die VM II ebenfalls aus drei Elementen, deren Erarbeitung im Rahmen einer präskriptiven Studie durchgeführt wird. Als Zeilenelemente der Matrix werden die bewerteten Arbeitsbewertungskriterien der VM I inklusive ihres ermittelten Gewichtungsfaktors  $GF$  aus der VM I übertragen. Sie beeinflussen die Anforderungen an die

Montagemitarbeitenden, weswegen als Spaltenelemente der Matrix die im Anforderungskatalog in Tabelle 5-17 gesammelten Anforderungen bzw. Kompetenzen eingesetzt werden.

Für die Bewertung wird ermittelt, inwiefern sich die Veränderung des Arbeitsbewertungskriteriums auf die jeweilige Anforderung auswirkt. Dazu sind drei verschiedene Reaktionen denkbar, welche als zellenspezifische Bewertungsfaktoren  $BF_{ij}$  für die Ermittlung der Zellenwerte herangezogen werden:

1. Gleiche Reaktion: Wenn eine Zunahme des Zeilenelements auch zur einer Zunahme oder Erhöhung des Spaltenelements führt, oder eine Abnahme des Zeilenelements auch eine Verringerung des Spaltenelements bewirkt, entspricht dies dem Bewertungsfaktor  $BF_{ij} = +1$ . Beide Elemente verhalten sich also gleich im Sinne der Richtung ihrer Entwicklung.
2. Kein Einfluss: Führt eine Veränderung der Zeilenelemente zu keiner Veränderung bei den Spaltenelementen, so hat das Zeilenelement keinen Einfluss auf die Elemente der Spalten. Daher wird in diesem Fall keine Bewertung vorgenommen und die entsprechende Zelle bleibt leer.
3. Gegengleiche Reaktion: Führt die Veränderung der Zeilenelemente zu einer entgegengesetzten Veränderung bei den Spaltenelementen, bezeichnet dies eine gegengleiche Reaktion. Eine Zunahme oder Erhöhung der Zeilenelemente führt zu einer Verringerung oder Abnahme bei den Spaltenelementen und umgekehrt. In einem solchen Fall gilt: Bewertungsfaktor  $BF_{ij} = -1$ .

Der Wert der jeweiligen Zelle wird über die Formel

$$x_{ij} = GF_i * BF_{ij} \quad (5-3)$$

ermittelt. Darin stellt  $BF_{ij}$  den Bewertungsfaktor der VM II und  $GF_i$  den Gewichtungsfaktor des Arbeitsbewertungskriteriums aus VM I dar.  $i$  bezeichnet die Laufvariable der Zeilen,  $j$  die Laufvariable der Spalten und  $x$  gibt den Wert der betrachteten Zelle in der VM II an.

Durch die Bewertung der einzelnen Zellen erhält die anwendende Person eine Aussage darüber, wie ein einzelner Aspekt der veränderten Arbeit sich auf einzelne Anforderungen des Arbeitsplatzes auswirkt. Die Zahlen geben keine absoluten Werte der Veränderung an,

sondern müssen im Kontext der jeweiligen Strategie des Kompetenzmanagements im Unternehmen betrachtet werden. Ein Vorschlag zum Umgang mit diesen Informationen wird im Abschnitt 5.4 gegeben.

Aus der VM II kann zusätzlich die gesamte, relative Veränderung einer Anforderung ermittelt werden. Als Wert der Veränderung einer Anforderung  $a_j$  wird

$$A_j = \max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}) \quad (5-4)$$

gewählt, wobei  $A$  die maximale Veränderung der Anforderung  $a_j$  angibt.  $i$  ist wiederum die Laufvariable der Zeilen,  $j$  die Laufvariable der Spalten und  $x$  der Zellenwert der betrachteten Zelle.

Es wird angenommen, dass es für die nutzenden Personen hilfreich ist, die maximale Veränderung einer Anforderung am jeweiligen Arbeitsplatz zu kennen. Mit diesem Wissen kann bei der Bewertung der Qualifikationsprofile im dritten Baustein der Methode zur Anforderungsermittlung entschieden werden, ob die aktuell vorhandenen Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ausreichen, auch dem zukünftigen Arbeitsplatz vollständig gerecht zu werden, oder ob Qualifizierungsmaßnahmen nötig werden.

#### 5.4 Baustein 3 – Ganzheitliches Anforderungsprofil und Entwicklungsbedarf des zukünftigen Montagepersonals

Im dritten Methodenschritt werden die Ergebnisse der Bausteine 1 und 2 zusammengeführt und ein umfassendes Anforderungsprofil für die Arbeitsperson des betrachteten Montageplatzes erstellt. Durch einen Vergleich des aktuellen Kompetenzprofils mit dem zukünftigen Anforderungsprofil können Aussagen über den benötigten Entwicklungsbedarf des jeweiligen Mitarbeitenden getroffen werden. Als Werkzeuge werden die Struktur bzw. der Aufbau eines Anforderungsprofils (Werkzeug 3.1) und Leitlinien für die Handlungsoptionen bezüglich des Entwicklungsbedarfs (Werkzeug 3.2) entwickelt, die bei der Durchführung der *Anforderungsanalyse* eingesetzt werden.

Die Werkzeuge 3.1 und 3.2 dienen somit dazu, eine Antwort auf die Forschungsfrage

- 4) *Welche Gestaltungsrichtlinien müssen für die Erstellung eines zukünftigen Anforderungsprofils für das Montagepersonal berücksichtigt werden und welche Rückschlüsse können aus diesem Profil hinsichtlich des Qualifizierungsbedarfs gezogen werden?*

zu liefern.

### 5.4.1 Werkzeug 3.1: Gestaltungsrichtlinien für Anforderungsprofile

Um eine zielgerichtete Anforderungsanalyse durchzuführen, muss das betrachtete Anforderungsprofil der Arbeitsperson alle relevanten Informationen enthalten, die für die Entscheidung hinsichtlich des Entwicklungsbedarfs notwendig sind. Grundlegend sind dafür sowohl Informationen bezüglich der aktuellen und zukünftigen Anforderungen für den betrachteten Arbeitsplatz erforderlich als auch Informationen über die aktuell bei der Person vorhandenen Qualifikationen. Im Sinne der an die Methode gestellten Anforderungen zur Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit ist es zielführend, diese beiden Informationsbereiche in einer Grafik zusammenzuführen, um die Durchführung der Analyse so einfach wie möglich zu gestalten.

Abbildung 5-13 stellt grafisch dar, wie eine solche Darstellung aufgebaut sein könnte und welche Informationselemente sie enthalten muss. Die konkrete Umsetzung eines solchen Profils richtet sich nach den individuellen Gestaltungswünschen der anwendenden Personen und Unternehmen. Jedoch gibt es einige grundlegende Elemente, die auf jeden Fall enthalten sein sollten. Diese werden im Folgenden näher erläutert und ihr Nutzen im weiteren Verlauf der Analyse beschrieben.

Zunächst muss grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Profilarten unterschieden werden. Der Bereich a) der Abbildung 5-13 stellt das eigentliche Anforderungsprofil des zukünftigen Arbeitsplatzes dar, welches mit den zuvor beschriebenen Methodenbausteinen 1 und 2 erarbeitet wurde. Es entspricht dem Soll-Profil, das der betrachtete zukünftige Montagearbeitsplatz in einer Smart Factory an die Arbeitsperson stellt.



Der Bereich b) der Abbildung stellt dem zukünftigen Soll-Profil das aktuelle Kompetenzprofil der Arbeitsperson zum heutigen Stand gegenüber. Damit wird ein Vergleich zwischen Ist- und Soll-Profil erzeugt. Aus den Vergleichsergebnissen werden im nächsten Schritt passende Handlungsempfehlungen abgeleitet. Dazu müssen für beide Profile geeignete Bewertungsskalen festgelegt werden. In der Abbildung 5-13 wurde hierfür als Beispiel eine quantitative Zahlenskala gewählt, die von 1 bis zu einer beliebigen Stufe  $x$  unterschiedliche Ausprägungen einer Anforderung darstellen kann. Welche Skala gewählt wird und wie viele Stufen unterschieden werden, ist nicht allgemeingültig vorzugeben, sondern muss für jede Anwendung individuell definiert werden. Typischerweise hat das Personalmanagement produzierender Unternehmen hierfür einen Standard festlegt. Die Wahl der jeweiligen Standardskala bewirkt, dass Anforderungsprofile unternehmensweit miteinander verglichen werden können und eine konsistente Vorgehensweise gewährleistet wird. Daher sollte, wenn möglich, auf einen vorhandenen Standard zurückgegriffen werden. Idealerweise werden auch Weiterbildungsmaßnahmen mit derselben Skala beschrieben, um die geeignete Auswahl einer Maßnahme zu erleichtern.

Beide Profilarten bewerten denselben zugrunde gelegten Anforderungskatalog. Er ist links in der Abbildung dargestellt. Zum einfacheren Verständnis bietet es sich an, die Anforderungen, wie im Baustein 2 vorgestellt, in Anforderungsgruppen zu unterteilen und thematisch zusammengehörende zu gruppieren. Als konkrete Anforderungen werden die eingetragen, die in der Verknüpfungsmatrix II im Abschnitt 5.3.2 aus dem Anforderungskatalog einer Smart Factory für relevant erachtet wurden und eine Veränderung erfahren.

Zum Befüllen der beiden Profile in den Bereichen a) und b) sollten unterschiedliche Symbole oder Farben verwendet werden, um die Unterschiede zwischen den Soll- und den Ist-Ausprägungen klar hervorzuheben. Sollte es zu Differenzen zwischen beiden Ausprägungen kommen, besteht Handlungsbedarf für die Personalverantwortlichen. Die Konkretisierung dieses Bedarfs wird im folgenden Abschnitt erläutert.

### 5.4.2 Werkzeug 3.2: Handlungsempfehlungen auf Basis des Soll-Ist-Vergleichs

Der Soll-Ist-Vergleich im Anforderungsprofil aus Abbildung 5-13 erlaubt unterschiedliche Aussagen hinsichtlich des Handlungsbedarf für die jeweilige Arbeitsperson. Diese Aussagen sind gleichzeitig als Handlungsempfehlungen für das Personalmanagement zu verstehen,

da sie einen konkreten Entwicklungsbedarf illustrieren. In Tabelle 5-18 werden die unterschiedlichen Aussagearten dargestellt und das dazugehörige Fazit angegeben.

Tabelle 5-18: Aussagearten des Soll-Ist-Vergleichs im Anforderungsprofil in Anlehnung an VERNIM ET AL. (2019, S. 88)

	Fazit
SOLL  IST 	<b>keine weiteren Maßnahmen</b> erforderlich
SOLL  IST 	<b>Weiterqualifizierung</b> nötig
SOLL  IST 	<b>Überqualifikation</b> liegt vor
SOLL aktuell nicht vorhanden 	<b>Neuqualifizierung</b> nötig
Kompetenz nicht mehr im SOLL vorhanden 	<b>Fehlqualifikation</b> liegt vor

Kommt es zu einer Deckung des zukünftigen Anforderungsniveaus mit der aktuell bereits vorhandenen Kompetenz, sind keine weiteren Maßnahmen zu treffen, da die Arbeitsperson bereits das richtige Kompetenzniveau mitbringt.

Wird für den zukünftigen Arbeitsplatz ein höheres Kompetenzniveau angefordert, als das über welches die Arbeitsperson heute verfügt, ist eine Weiterqualifizierung notwendig. Eine Differenz führt nämlich dazu, dass die Mitarbeitenden nicht in allen Situationen am künftigen Arbeitsplatz kompetent handeln könnten, wodurch Zeit- oder Qualitätsverluste entstehen können. In diesem Fall sollten die entsprechenden Entwicklungsmaßnahmen so gewählt werden, dass sie die Kompetenzlücke möglichst exakt schließen und nicht zu einer Überqualifikation führen. Aus diesem Grund ist eine einheitliche Skala zur Beschreibung der Kompetenzlevel wichtig, wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt.

Eine Überqualifizierung liegt vor, wenn am zukünftigen Arbeitsplatz ein geringeres Kompetenzlevel gefordert wird, als es heute der Fall ist. Besonders bei der Einführung von Assistenzsystemen oder kollaborativen Robotern, wie sie in Smart Factories häufig vorkommen, ist dies bei den Fachkompetenzen im Bereich der Montagetätigkeit der Fall. Hierbei sollte überlegt werden, ob die betroffene Person eventuell an einen anderen Arbeitsplatz wechseln kann, an dem sie ihr höheres Kompetenzlevel gewinnbringend einsetzen kann, oder ob ihre Aufgaben entsprechend angereichert werden können, um ihr Potenzial nicht ungenutzt zu lassen.

Ist eine Anforderung am heutigen Arbeitsplatz bisher überhaupt nicht vorhanden, muss eine vollständige Neuqualifizierung durchgeführt werden. Dies ist ähnlich wie die Weiterqualifizierung zu betrachten.

Ähnlich verhält es sich im letzten Fall, wenn eine heute geforderte Kompetenz zukünftig am Arbeitsplatz überhaupt nicht mehr gefordert ist. Dies entspricht dem Prinzip einer Überqualifikation. Im besten Fall kann die Arbeitsperson an einen Einsatzort wechseln, an dem die Kompetenz weiterhin benötigt wird, um ihr Potenzial für das Unternehmen nutzbar zu erhalten.

Wie genau die jeweiligen Handlungsoptionen für die verschiedenen Defizitarten umgesetzt werden, muss jedes Unternehmen spezifisch entscheiden. Das Personalmanagement sollte auch hier möglichst viele Standards definieren, um konsistente, unternehmensweit vergleichbare Maßnahmen zu treffen.

## 6 Anwendung und Evaluation der Methode

Nach der Entwicklung der Methode und der Beschreibung ihrer Bausteine und Werkzeuge, erfolgt die Bewertung der geschaffenen Lösung im Rahmen der deskriptiven Studie II. Das Ziel dieser Forschungsphase ist es, zu ermitteln, in welchem Maß die erarbeitete Lösung die gewünschte Wirkung erzielt und Potenziale zur Verbesserung und Weiterentwicklung der erarbeiteten Methode zu identifizieren (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 181 ff.).

Die allgemeingültige Beschreibung der Anwendung dient als Anleitung für Unternehmen und erläutert den richtigen Einsatz der geschaffenen Werkzeuge. Zum besseren Verständnis erfolgt diese Beschreibung anhand eines Industriebeispiels, bei dem sowohl die Vorgehensweise der Anwendung als auch die erzielten Ergebnisse des Industriepartners beschrieben werden (Abschnitt 6.1). Im Anschluss daran erfolgt die Evaluation der Lösung (Abschnitt 6.2). Dabei wird im ersten Schritt validiert, ob und in welchem Maß die Methode die an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Danach wird diskutiert, welche Anpassungen bei der Übertragung auf andere Unternehmen nötig sind, welchen Mehrwert die Lösung für das anwendende Unternehmen schafft und welchen Limitationen sie unterworfen ist.

### 6.1 Industrielle Anwendung der Methode

Die im Kapitel 5 entwickelte Methode wurde bei der Firma CLAAS<sup>12</sup>, einem weltweit führenden Hersteller für Landtechnik, getestet und einer anschließenden Bewertung unterzogen. Das Produktportfolio am betrachteten Standort des Anwenders umfasst vier Typen von großen Landmaschinen, die jeweils auf eigenen Produktionslinien hergestellt werden.

Innerhalb des betrachteten Landmaschinentyps werden unterschiedliche Modelle angeboten. Unabhängig von der Größe und der Ausführung der Modelle, verlangt ihre Montage

---

<sup>12</sup> Die korrekte, rechtliche Firmenbezeichnung lautet CLAAS KGaA mbH. Im Sinne einer einfacheren Lesbarkeit wird lediglich die Bezeichnung CLAAS verwendet.

einen sehr hohen Anteil manueller Arbeit mit umfangreichen, verschiedenartigen Tätigkeiten pro Station, die teilweise körperlich sehr belastend für die Arbeitsperson sind.

Aufgrund der Saisonalität, die in der Landwirtschaft vorherrscht, unterliegt auch der Konzern einer stark schwankenden Nachfrage nach den hergestellten Landmaschinen im Jahresverlauf. Dies wird durch eine umfassende Unterstützung der Stammebelegschaft mit Leiharbeitskräften in den Monaten mit großer Nachfrage abgefangen. Diese Vorgehensweise sorgt für eine stabile und ausreichende Versorgung mit Arbeitskräften, verursacht jedoch auch eine hohe Fluktuation und sehr heterogene Erfahrungs- und Kompetenzgrade innerhalb der Belegschaft. Zusätzlich wird es für das Unternehmen schwieriger neue Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zu finden, da vor allem jüngere Generationen nicht mehr bereit sind, körperlich anstrengende Arbeit im verlangten Maß durchzuführen.

Um mit diesen Veränderungen zukünftig besser umgehen zu können, plant das Unternehmen diverse Umstrukturierungen und arbeitet an einer Erhöhung des Digitalisierungsgrads in der Produktion, was an vielen Arbeitsplätzen zu Veränderungen und Kompetenzverschiebungen führen wird. Die Potenziale der Digitalisierungsmaßnahmen können jedoch nur optimal genutzt werden, wenn die Belegschaft auch bestmöglich mit den neuen Technologien umgehen kann und die zukünftigen, an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Hierdurch wurde das Interesse an einer Methode zur Ermittlung der zukünftigen Anforderungen geweckt. Zusätzlich machen der hohe und belastende, manuelle Arbeitsanteil in der Montage das Unternehmen zu einem geeigneten Anwendungspartner für die Erprobung und Bewertung der entwickelten Methode, da es genau der Zielgruppe für die Anwendung entspricht.

### 6.1.1 Charakterisierung des Anwendungsbereichs in der Montage

Die Produktion der Landmaschinen ist bei CLAAS in die drei großen Bereiche Rohbau, Farbgebung und Montage unterteilt. Die Anwendung der Methode erfolgte in der Montage.

Wie bereits oben beschrieben, ist der manuelle Arbeitsanteil in diesem Bereich sehr hoch. Aufgrund der Größe der Landmaschinen sind viele der zu montierenden Komponenten sehr groß und schwer, was die Arbeit trotz ergonomischer Hilfen zur Lastenhandhabung körperlich anstrengend macht. Außerdem muss sich das Personal häufig in oder auf den

Rohbau der Maschine begeben, um Anbauten vorzunehmen, was eine zusätzliche Belastung darstellt. Die Taktzeiten sind sehr lang und umfassen teilweise über 60 Minuten. Dementsprechend ist auch der Arbeitsumfang an den einzelnen Stationen sehr groß. Die Mitarbeitenden müssen sich umfangreiche Arbeitsinhalte und -schritte merken und diese innerhalb des Takts abarbeiten. Aufgrund der Größe und Komplexität der Maschinen sind Fehler nach der Fertigstellung schwer zu finden und zu beheben, wodurch die Nacharbeit sehr kostenintensiv ist. Die hohe Aufgabendichte pro Takt verlangt nach einer hohen Merkfähigkeit der Belegschaft, was insbesondere bei der hohen Personalfuktuation eine Herausforderung darstellt. Da die montierenden Personen mit Taktzeiten von über einer Stunde teilweise an der Grenze ihrer Merkfähigkeit sind, besteht die Gefahr, dass Montagefehler entstehen.

Aktuell wird daran gearbeitet an vielen Arbeitsstationen Assistenzsysteme einzuführen, welche die Belegschaft bei ihrer Arbeit unterstützen, indem sie die richtige Reihenfolge der Arbeitsschritte anzeigen oder auf mögliche Fehler hinweisen. Der Grund hierfür ist neben den aktuell schon hohen Anforderungen, die Nachfrage der Kunden nach weiter diversifizierten Varianten, wodurch die Arbeitsinhalte noch komplexer werden.

### 6.1.2 Anwendung der Methode

Die entwickelte Methode zur Anforderungsermittlung in der digitalen Transformation wurde anhand eines Arbeitsplatzes in einem Vormontagebereich angewendet. Dieser Bereich zeichnet sich dadurch aus, dass auf einer Linie alle Baugruppen für die unterschiedlichen Modelle der betrachteten Landmaschine aufgebaut werden. Nachdem die Baugruppe fertig montiert ist, wird sie nach dem Just-in-Sequence-Verfahren in der Hauptmontage angeliefert und direkt verbaut. Innerhalb dieser Vormontage wird der Arbeitsplatz betrachtet, an dem die Platine für das Cockpit bestückt wird.

Die Methode wurde im Rahmen eines eintägigen Workshops vor Ort im Unternehmen angewendet. Die Teilnehmer des Workshops waren der Meister des Vormontagebereichs, der die Personal- und Linienverantwortung trägt, die zuständige Personalreferentin, die für das Personalmanagement, für die Weiterbildungsmaßnahmen und die Eingruppierung des Personals verantwortlich ist, sowie der Bereichsleiter für die gesamte Montage der Landma-

schinen. Zunächst wurde den Workshopteilnehmern die Vorgehensweise sowie die Anwendung der Methodenwerkzeuge erläutert, bevor sie diese selbstständig anhand des von ihnen ausgewählten Arbeitsplatzes ausführten.

Die folgenden Erläuterungen beschreiben zunächst allgemeingültig das Ziel sowie das Vorgehen für jeden Methodenbaustein aus Anwendungssicht. Daran anschließend folgt die Erläuterung und Darstellung der Ergebnisse der Anwendung beim Industriepartner im genannten Workshop.

### **Baustein 1 – Zukünftige Gestaltung des Montagesystems**

Das Ziel des ersten Methodenbausteins ist es, eine vorausschauende Arbeitssystemanalyse durchzuführen. Zunächst wird ein klares Verständnis des zukünftigen Arbeitsplatzes geschaffen und auf dieser Basis eine Bewertung durchgeführt, inwiefern sich die Arbeit an dem Platz im Vergleich zum aktuellen Stand verändert (s. Abschnitt 5.2).

Zur Durchführung dieser beiden Schritte wird zunächst unter Zuhilfenahme der Arbeitssystemdarstellung aus der Abbildung 5-2, der systemspezifischen Attribute aus der Tabelle 5-1 und der Trendliste aus Tabelle 5-9 das mögliche Szenario für die zukünftige Ausgestaltung des betrachteten Arbeitsplatzes analysiert. Die Trendliste wird als Ideengeber verwendet, welche Befähiger oder Anwendungsfälle am Arbeitsplatz integriert werden können. Im Anschluss wird über die VM I, deren Struktur in Abbildung 5-7 dargestellt ist, bewertet, inwiefern die Einführung der digitalen Technologien die Arbeit am betrachteten Platz im Vergleich zur heutigen Situation verändert. Dazu müssen zunächst alle ausgewählten Befähiger und Anwendungsfälle in die Zeilen der VM I übertragen werden. Der Inhalt der Spalten bleibt unverändert. Sie beinhalten die Arbeitsbewertungskriterien. Anschließend werden gemäß der vorgeschlagenen Bewertungsskala die Richtung und der Grad der Veränderung in jede Zelle eingetragen und der Gewichtungsfaktor  $GF_j$  eines jeden Kriteriums ermittelt, indem die Spaltensumme gebildet wird.

Beim Industriepartner vor Ort diskutierten die Workshopteilnehmer zunächst auf Basis der Arbeitssystemdarstellung und der Trendliste ein wahrscheinliches Szenario für den Arbeitsplatz der Platinenbestückung und definierten die Systemattribute basierend auf diesem Szenario. In der Tabelle 6-1 sind als Diskussionsergebnisse die festgelegten Attribute aufgelistet.

Tabelle 6-1: Beschreibung der Arbeitssystemelemente am zukünftigen Arbeitsplatz der Platinenbestückung

Element	Attribut	Ausprägungen am Arbeitsplatz
Mensch	Belastung	Steharbeitsplatz; kaum physische Belastung; hohe kognitive Belastung (richtiges Erkennen der zu bearbeitenden Variante, hohe Varianz); zeitliche Taktung über die gesamte Schicht
	Qualifikation & Kompetenzen	keine besondere Qualifikation nötig; Anlernen ausreichend
	Disposition & Konstitution	männlich; Altersdurchschnitt > 40 Jahre; körperlich normal belastbar
Arbeitsablauf	Arbeitsvorgänge	definierter Ablauf: Gang zur Baugruppe und Abscannen des Auftrags, Informationscockpit erkennt Variante und zeigt zu erzeugenden Aufbau an, Kommissionierung der benötigten Komponenten, Stecken der Komponenten auf Platine gemäß Anleitung im Informationscockpit
	Arbeitsart	körperlich (Erzeugung von Steckverbindungen); geistig (Auswahl der korrekten Variante)
	Verkettung	starr: FTS ist Zeitgeber; Baugruppe fährt nach Taktende automatisch weiter; 3 Baugruppen Puffer zum Hauptband
Betriebsmittel	Produktionshilfsmittel	Handscanner
	Materialbereitstellung	Schüttgut in Supermarkt; Anzahl der Steckelemente abhängig von Variante; Kommissionierung einmal pro Takt
	Informationsbereitstellung	Darstellung der Informationen zur Steckverbindung der Variante; Umfang bei allen Varianten gleich; Darstellung als Bild auf Monitor; Möglichkeit Detailinformationen anzuzeigen
Arbeitsobjekt	Komplexität	ca. 20–30 Steckelemente pro Platine; einfache Steckverbindungen
	Varianz	hoch; jede Baugruppe andere Variante; unterschiedliche Schwierigkeitsgrade; Großteil Rennervarianten; wenige Exoten; Unterschiede in der Varianz durch unterschiedliche Steckelemente und Muster der Steckverbindungen
	Handhabung	Haltevorrichtung am Arbeitsplatz, in der die Grundplatte der Platine eingelegt wird
Input	Energie	Elektrizität für Rechner
	Arbeitsgegenstände	Halbfabrikate (Stecker, Grundplatte)
	Information	Auftragspapier an Baugruppe; digitale Arbeitsanweisung auf Monitor enthält Zeichnung und Arbeitsplan
Output	Arbeitsgegenstände	korrekt bestückte Platine
	Energie	Wärme
	Information	Rückmeldung der Fertigstellung über Infocockpit; unterzeichnete Auftragspapiere an Baugruppe
Umwelteinflüsse	physikalisch, chemisch, biologisch	geringer Lärmpegel; gute Lichtverhältnisse; Temperatur im Sommer häufig erhöht
	organisatorisch	2-Schicht-System; Eingruppierung nach Tarif; direkter Vorgesetzter Meister; Teamkoordinator als Ansprechperson bei Fragen oder Problemen
	sozial	feste Teams mit wenig Wechsel zwischen den Teams

Als Szenario wurde die Integration eines digitalen Unterstützungssystems, eines sogenannten Informationscockpits, am Arbeitsplatz gewählt. Um diese Auswahl zu treffen, nutzte die Anwendergruppe die Trendliste als Inspiration und wählte als passende Befähiger die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMIF) als Informationscockpit und RFID als Technologie

für das Identifizieren und Buchen der Arbeitsgänge aus. Das Szenario für die erste Ausbaustufe des zukünftigen Arbeitsplatzes lautet durch die Integration dieser beiden Technologien wie folgt: Nachdem die Baugruppe mit einem fahrerlosen Transportsystem (FTS) am Arbeitsplatz ankommt, scannt die dort tätige Person mittels Handscanner die Auftragspapiere. Damit erkennt das Informationscockpit welche Variante der Platine erzeugt werden muss und zeigt diese Information auf einem Monitor am Arbeitstisch an. Im nächsten Schritt müssen die nötigen Steckelemente aus einem Supermarkt geholt werden. Anschließend beginnt das Stecken der Platine. Das Informationscockpit zeigt an, welche Komponenten an welcher Stelle platziert werden müssen. Bei Bedarf kann die ausführende Person sich außerdem weiterführende Informationen zu den einzelnen Komponenten anzeigen lassen. Nach Abschluss der Bestückung wird im Cockpit die Fertigstellung bestätigt, die Personalnummer auf den Auftrag gestempelt und der Auftrag zusammen mit der bestückten Platine in die Baugruppe gelegt. Diese wird anschließend vom FTS zur nächsten Station transportiert.

Mit diesem Verständnis bewerteten die Anwender, inwiefern der Einsatz eines solchen Unterstützungssystems die Arbeit am betrachteten Montageplatz verändern wird. Sie übertrugen zunächst die beiden Befähiger in die Zeilen der VM I und führten anschließend die Bewertung und die Berechnung der Gewichtungsfaktoren durch. In der Tabelle 6-2 sind die Bewertungsergebnisse dargestellt. Dabei ist erkennbar, dass beispielsweise die Komplexität der Aufgabe zukünftig durch den Einsatz der HMIF und des Handscanners sehr stark abnimmt. Das Bewertungskriterium wird mit dem Gewichtungsfaktor  $GF = -6$  versehen. Am heutigen Arbeitsplatz muss auf Basis der Auftragsnummer in den Arbeitsanweisungen herausgesucht werden, wie die Platine korrekt bestückt werden muss. Durch den Scanvorgang und die automatische Anzeige der richtigen Anweisung auf dem Informationscockpit, wird dieser Vorgang zukünftig sehr stark vereinfacht, woraus die deutliche Reduzierung der Komplexität folgt.

Aber auch eine gegenteilige Entwicklung von Kriterien ist ersichtlich. Beispielsweise nimmt durch den soeben beschriebenen Vorgang der Grad der Informationsbereitstellung und die Bindung an das technische System des Arbeitsplatzes deutlich zu. Sie erhalten beide den Gewichtungsfaktor  $GF = +4$ .

Tabelle 6-2: Ergebnis der VM I für den zukünftigen Arbeitsplatz der Platinenbestückung

	Arbeits-system		Arbeitsaufgabe						Mensch-Maschine-Funktionsteilung		
	Vernetzung	Anfälligkeit/Turbulenz im Umfeld	Ganzheitlichkeit der Aufgabe	Kommunikations-erfordernisse	Anforderungsvielfalt	Komplexität der Aufgabe	Zeitbindung	Gestaltbarkeit	Nachvollziehbarkeit	Grad der Informations-bereitstellung	Bindung an das technische System
HMIF	0	-2	0	-2	0	-4	0	0	+2	+4	+2
RFID	+2	0	0	0	0	-2	+2	-2	0	0	+2
$GF_j$	+2	-2	0	-2	0	-6	+2	-2	+2	+4	+4

### Baustein 2 – Anforderungen an das zukünftige Montagepersonal

Das Ziel des zweiten Methodenbausteins ist die Durchführung der Aufgabenanalyse. Hierbei wird auf Basis der veränderten Arbeitsbedingungen aus Baustein 1 ermittelt, welche Anforderungen der zukünftige Arbeitsplatz an die dort arbeitende Person stellt und inwiefern diese eine Veränderung zum aktuellen Stand erfahren (s. Abschnitt 5.3).

Zur Durchführung dieser Bewertung wird die VM II verwendet, deren Struktur in Abbildung 5-12 erläutert wurde. In den Zeilen der Matrix sind die Arbeitsbewertungskriterien aufgelistet, die Spalten enthalten die Anforderungen des Anforderungskatalogs (Tabelle 5-17). Bevor die Bewertung durchgeführt werden kann, müssen die Gewichtungsfaktoren der Arbeitsbewertungskriterien aus der VM 1 übertragen werden. Anschließend wird für jedes Kriterium entschieden, ob es eine Auswirkung auf die einzelne Anforderung hat, und das Ergebnis in die jeweilige Zelle eingetragen. Entsteht keine Veränderung, bleibt das Feld leer oder wird mit einem Platzhalter (keine Zahl) gefüllt. Für die Anforderungen bei denen die veränderten Arbeitsbewertungskriterien eine Anpassung hervorrufen, wird jeweils entschieden, ob die Anpassung dieselbe Richtung aufweist, wie die Veränderung der Arbeit oder ob sie gegenläufig ist. Führt eine Zunahme des Arbeitsbewertungskriteriums

auch zu einer Steigerung der Ansprüche für die jeweilige Anforderung, wird der Gewichtungsfaktor des Arbeitsbewertungskriteriums mit +1 multipliziert. Verändert sich die Anforderung entgegengesetzt zum Arbeitsbewertungskriterium, wird mit -1 multipliziert. Nachdem alle Anforderungen bewertet sind, wird in der letzten Zeile der VM II die maximale Änderung der Anforderung ermittelt. Hierfür wird aus jeder Spalte der höchste Zahlenwert identifiziert und eingetragen. Dieser Wert gibt eine relative Aussage darüber, bis zu welchem Grad eine Anpassung der Anforderung erfolgen muss, damit alle Tätigkeiten des Arbeitsplatzes erfüllt werden können. Eine absolute Aussage über die Veränderung der Anforderung und die Bedeutung für das Kompetenzlevel der jeweiligen Arbeitsperson kann erst getroffen werden, nachdem das Anforderungsprofil im Baustein 3 erstellt wurde.

Beim Industriepartner vor Ort nutzten die Anwender die zur Verfügung gestellte VM II, übertrugen die Gewichtungsfaktoren aus Tabelle 6-2 und führten die Bewertung durch. Für jedes Arbeitsbewertungskriterium entschieden sie, ob es eine Auswirkung auf die einzelnen Anforderungen hat und trugen das Ergebnis in die Tabelle 6-3 ein. Gab es keine Auswirkung, wurde das mittels einem Querstrich (-) in den Zellen dargestellt. Für die Anforderungen, bei denen die veränderten Arbeitsbewertungskriterien eine Anpassung hervorrufen werden, wurde jeweils entschieden, ob die Anpassung dieselbe Richtung wie die Veränderung der Arbeit aufweisen wird, oder ob sie gegenläufig dazu sein wird. Beispielsweise wird eine intensivere Vernetzung des zukünftigen Arbeitsplatzes mit den vor- und nachgelagerten Stationen eine Reduktion der örtlichen, zeitlichen und funktionalen Flexibilitätsanforderung an die Arbeitsperson bewirken. Daher wurde in der VM II eine -2 in den entsprechenden Zellen eingetragen. Bei der Anforderung an die Interaktion zwischen Mensch und Maschine wird es sich gegenläufig verhalten. Eine Zunahme der Vernetzung am zukünftigen Arbeitsplatz wird dazu führen, dass zukünftig mehr mit technischen Systemen oder Maschinen interagiert werden muss. Daher wurde diese Anforderung mit +2 bewertet. Nachdem alle Anforderungen beurteilt wurden, wurde in der letzten Zeile die maximale Änderung der Anforderungen ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass die Anforderung an das allgemeine Fachwissen der zukünftigen Arbeitsperson die größte Reduktion erfahren wird, da das Unterstützungssystem einen Großteil des Wissens der ausführenden Person ersetzen wird. Im Gegenzug dazu wird im bewerteten Szenario die Bedienung smarter Geräte deutlich zunehmen und daher mehr Kompetenz in diesem Bereich nötig.



### **Baustein 3 – Ganzheitliches Anforderungsprofil und Entwicklungsbedarf des zukünftigen Montagepersonals**

Das Ziel des dritten Methodenbausteins ist es, die Anforderungsanalyse für den betrachteten Arbeitsplatz durchzuführen. Hierbei wird das ganzheitliche, zukünftige Anforderungsprofil für den Arbeitsplatz generiert und mit dem aktuell bestehenden Kompetenzprofil der Arbeitsperson verglichen, um einen benötigten Entwicklungsbedarf abzuleiten (s. Abschnitt 5.4)

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen im Unternehmen einige Informationen oder Standards bezüglich der Ausgestaltung von Anforderungsprofilen vorliegen oder spätestens an dieser Stelle definiert werden. Nur dann ist es möglich ein ganzheitliches Profil, dessen grundlegende Struktur in Abbildung 5-13 erläutert wurde, zu erstellen und anschließend einen Soll-Ist-Vergleich zwischen den benötigten Anforderungen und den bei der Belegschaft vorhandenen Kompetenzen anzustellen. Einer dieser Standards ist die Festlegung einer geeigneten Skala zur Bewertung der Anforderungen und Kompetenzen. Hierbei erleichtern zahlenbasierte Skalen die Übersicht. Es sind jedoch auch symbol- oder textbasierte Einstufungen, wie beispielsweise die Unterteilung in Kenner, Könnner und Experte, möglich (NORTH ET AL. 2018, S. 81 ff.). Darüber hinaus ist es hilfreich, wenn im Unternehmen eine einheitliche Darstellungsform für Anforderungs- und Kompetenzprofile existiert. Die Darstellung in Tabellenform, wie in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagen, ist schnell und einfach verständlich. Es ist jedoch auch denkbar, diese Profile in Form von Diagrammen, beispielsweise als Spinnendiagramm, oder als Fließtext zu beschreiben. Mit diesen beiden Standards sollten anschließend die Arbeitsplätze und die an die Belegschaft gestellten Anforderungen beschrieben werden. Gleiches gilt für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Auch für sie müssen entsprechende Kompetenzprofile oder Qualifikationsbeschreibungen angelegt werden, um einen Vergleich zwischen Arbeitsplatzanforderungen und Mitarbeiter Voraussetzungen zu ermöglichen. Sind diese Voraussetzungen gegeben, kann das zukünftige Anforderungsprofil des betrachteten Arbeitsplatzes beschrieben werden und als benötigtes Anforderungsniveau die entsprechende Veränderung  $A_j$  aus der VM II eingesetzt werden. Ein positiver Wert für  $A_j$  bedeutet eine Erhöhung der jeweiligen Anforderung im Vergleich zu heute. Ein negativer Wert bedeutet eine Verringerung des Anspruchs. Anschließend wird der Vergleich mit dem Kompetenzprofil der heutigen Belegschaft erstellt,

um eine Entscheidung hinsichtlich des Handlungsbedarfs gemäß der Tabelle 5-18 zu treffen.

Beim Industriepartner waren die gerade beschriebenen Voraussetzungen und Standards für den betrachteten Vormontagebereich aktuell nicht gegeben, daher konnte während des Workshops kein vollständiges Anforderungsprofil erstellt werden und es konnten keine Aussagen über einen zukünftigen Entwicklungsbedarf getroffen werden. Dennoch wurde das methodische Vorgehen und die Ergebnisse aus Tabelle 6-3 als sehr hilfreich angesehen. Eine detailliertere Begründung und Bewertung dieser Einschätzung folgt im nächsten Abschnitt.

### 6.1.3 Feedback zur Methode durch die Anwender

Am Ende des Workshops beim Industriepartner wurden die Beteiligten um ihr Feedback zur Methode zur Anforderungsermittlung gebeten. Sie sollten dabei vor allem die Anwendbarkeit und den Nutzen des Vorgehens beurteilen.

Die gesamte Gruppe sah großes Potenzial in der strukturierten, schrittweisen Aufbereitung des Ansatzes. Besonders der erste Methodenschritt wurde als sehr hilfreich erachtet, da er dazu beiträgt die Idee für die Entwicklung eines zukünftigen Arbeitsplatzes zu schärfen, auch wenn noch keine detaillierten Pläne dafür existieren. Dies führe zu mehr Sicherheit und Transparenz in einem Veränderungsprozess, da keine wesentlichen Aspekte vergessen werden können. Durch die Integration der verschiedenen Kataloge entstand ein guter Überblick und sie halfen Ideen zu entwickeln oder an Aspekte zu denken, an die anders vielleicht nicht gedacht worden wäre. Durch die umfassenden Inhalte der Kataloge und das allgemeingültige Vorgehen bei der Bewertung, erschien die Methode allen Befragten als sehr gut auf andere Arbeitsplätze und Unternehmen übertragbar und auch in anderen Branchen anwendbar. Gleichzeitig bescheinigten die Anwender den einzelnen Elementen eine gute Anpassbarkeit an das eigene Unternehmen. Durch die individuelle Festlegung der Anforderungsskalen und der Darstellungsform für das Anforderungsprofil im letzten Methodenschritt, könnten bestehende Standards aus dem Personalwesen sehr gut integriert werden. Im anwendenden Vormontagebereich waren solche Standards zwar nicht vorhanden, die beteiligte Personalreferentin sah darin jedoch die Chance mit der getesteten Methode

als Basis dieses Thema zielgerichtet angehen zu können. Als weiterer Pluspunkt wurde genannt, dass die Methode, auch ohne bereits vorhandene Qualifikationsmatrizen oder Bewertungen der aktuellen Arbeitsplätze, anwendbar war und hilfreiche Aussagen für den zukünftigen Arbeitsplatz lieferte. Besonders wenn Neueinstellungen von Arbeitskräften nötig sind, würden die Ergebnisse des zweiten Methodenschritts auch ohne den Vergleich mit aktuellen Profilen helfen die richtige Besetzung der Arbeitsplätze zu erreichen.

Es wurden aber auch einige Herausforderungen und Verbesserungspotenziale während der Anwendung identifiziert. Zunächst wurde genannt, dass nicht alle der Arbeitsbewertungskriterien und der Anforderungen im Anforderungskatalog auf Anhieb verständlich sind und an manchen Stellen zusätzliche Erläuterungen hilfreich wären, wenn die Methode eigenständig und ohne vorherige Schulung angewendet werden soll. Alternativ könnten ausführlichere Beschreibungen innerhalb der Kataloge helfen, würden aber gleichzeitig die Anwendung zeitaufwändiger machen, weil viel gelesen werden müsste. Zusätzlich wurde angemerkt, dass ausführliche Kenntnisse über den Arbeitsplatz und die Tätigkeiten an ihm, sowohl in der aktuellen Situation als auch im zukünftigen Szenario, bekannt sein müssen. Somit ist eine Anwendung im Team aus Produktions- und Personalverantwortlichen sinnvoll, vor allem wenn keine Vorarbeiten wie Arbeitsplatzbewertungen, Anforderungsprofile oder Qualifikationsmatrizen vorhanden sind. Diese Dokumente initial für die gesamte Produktion zu erstellen, wurde als sehr zeitaufwändig und schwierig eingeschätzt. Die fehlenden Vorarbeiten waren auch der Grund dafür, dass der Vergleich zwischen dem aktuellen Stand und der zukünftigen Veränderung erschwert wurde und die Anwendung dadurch deutlich länger dauerte als ursprünglich angenommen.

Die Diskussion mit der Anwendergruppe ergab außerdem einen interessanten Ansatz für eine weitere Art von Anwendung der vorgestellten Methode. Die Gruppe brachte die Idee auf, dass die Bewertung des zukünftigen Arbeitsplatzes auch vom zukünftigen Personal ausgehend durchgeführt werden könnte. Indem von einem zukünftigen Kompetenzprofil eines Mitarbeiters oder einer Mitarbeiterin ausgegangen wird, könnte ermittelt werden, wie der Arbeitsplatz gestaltet werden müsste, dass diese Person an ihm arbeiten könnte. Der Arbeitsplatz würde somit an das Personal angepasst werden und nicht anders herum. Besonders im Hinblick auf einen stetig zunehmenden Fachkräftemangel könnte dies eine interessante Weiterentwicklung darstellen.

## 6.2 Evaluation und Diskussion der Forschungsergebnisse

In diesem Abschnitt erfolgt die Bewertung der erzielten Forschungsergebnisse basierend auf der industriellen Anwendung sowie der kritischen Auseinandersetzung aus wissenschaftlicher Sicht. Es wird zunächst überprüft, inwiefern die entwickelte Methode die im Abschnitt 4.1 definierten Anforderungen erfüllt. Außerdem wird der Anpassungsbedarf für den Einsatz der Methode in anderen Unternehmen und Anwendungsfeldern diskutiert, sowie eine Einschätzung zur Aufwand-Nutzen-Bewertung vorgenommen und eine kritische Diskussion der Methode durchgeführt.

### 6.2.1 Validierung der gestellten Anforderungen

Die im Abschnitt 4.1 festgelegten Anforderungen waren in die drei Kategorien allgemeingültige, anwendungsbezogene und inhaltliche Anforderungen unterteilt. In dieser Reihenfolge werden sie auch im Folgenden diskutiert. In der nachfolgenden Tabelle 6-4 wird dargestellt, zu welchem Grad die jeweilige Anforderung an die Methode als erfüllt angesehen werden kann.

**Objektivität:** Diese allgemeingültige Anforderung gilt als größtenteils erfüllt, da die Methode zur Anforderungsermittlung unabhängig vom Anwender bzw. der Anwenderin gestaltet ist. Die vorgegebenen Kataloge und Matrizen sorgen für eine einheitliche, objektive Vorgehensweise, sodass die Ergebnisse anwenderunabhängig ermittelt werden können. Trotzdem lässt sich ein individueller Einfluss bei der Bewertung der Verknüpfungsmatrizen nicht gänzlich ausschließen, da ein zukünftiges Szenario bewertet wird, das aufgrund des Zukunftscharakters automatisch eine entsprechende Unschärfe mitbringt.

**Reliabilität:** Diese Anforderung ist unter der Annahme, dass das betrachtete, zukünftige Szenario dasselbe ist, vollständig erfüllt. Die Bewertung desselben Szenarios ist eine notwendige Voraussetzung für eine reproduzierbare Durchführung der Methode. Wird das Zukunftsszenario mithilfe der Werkzeuge aus Baustein 1 ausführlich beschrieben und detailliert, sind die Ergebnisse bei der Bewertung der Veränderung der Anforderungen auch als reproduzierbar anzunehmen.

**Validität:** Für jeden einzelnen Baustein sowie die darin enthaltenen Werkzeuge wurde versucht, größtmögliche Korrektheit bei der Erstellung zu erlangen. Dies wurde durch umfassende Recherchen und den Einbezug unterschiedlichster Quellen in die Erstellung erreicht. Außerdem wurden bereits während der Entwicklung einzelne Werkzeuge von Fachpersonen validiert. Beispielsweise wurde für die Trendrecherche auf eine umfassende Literaturrecherche zurückgegriffen, die in mehreren Runden durchgeführt wurde, um den Einfluss der anfänglichen, von der Autorin selbst gewählten Suchbegriffe zu reduzieren und eine Objektivierung der Rechercheergebnisse zu erzielen.

Tabelle 6-4: Erfüllungsgrad der an die Methode gestellten Anforderungen

Art	Ausprägung der Anforderung	Symbol
allgemein-gültige Anforderungen	Objektivität	
	Reliabilität	
	Validität	
anwendungsbezogene Anforderungen	Übertragbarkeit	
	Nachvollziehbarkeit	
	Anwendbarkeit	
inhaltliche Anforderungen	Lösungsorientierung	
	Ganzheitlichkeit	
	Anwendungsbereichsorientierung	
	Flexibilität	
<b>Legende</b>  nicht erfüllt  teilweise erfüllt  größtenteils erfüllt  voll erfüllt  nicht entscheidbar		

**Übertragbarkeit:** Sie wird innerhalb des Betrachtungsrahmens als vollständig erfüllt angesehen, da jedes Methodenwerkzeug ohne Einschränkung auf eine bestimmte Art von Montagearbeitsplatz entwickelt wurde. Die Übertragung auf unterschiedliche Unternehmen ist

durch die Möglichkeit individueller Anpassungen, beispielsweise des Anforderungskatalogs und der Anforderungsprofile, gegeben. Selbst die vorgegebenen Arbeitsbewertungskriterien im Baustein 2 können bei Bedarf jederzeit erweitert oder an Unternehmensspezifika angepasst werden. Das methodische Vorgehen zur Bewertung ist dennoch weiterhin möglich. Da der Übertragbarkeit im Kontext des wissenschaftlichen Arbeitens eine besonders wichtige Rolle zugeschrieben wird, wird im Abschnitt 6.2.2 eine detaillierte Erläuterung des Anpassungsbedarfs der einzelnen Bausteine gegeben, welche die hier getroffene Bewertung des Erfüllungsgrads plausibilisiert.

***Nachvollziehbarkeit:*** Die Zusammenhänge und Abläufe innerhalb der Methode sind klar erkennbar und daher gut nachzuvollziehen. Bei der Beschreibung der Arbeitsbewertungskriterien und der Anforderungen des Anforderungskatalogs können jedoch Unklarheiten bezüglich der genauen Bedeutung der Begrifflichkeiten bestehen. Daher ist die Nachvollziehbarkeit nicht vollumfänglich gegeben.

***Anwendbarkeit:*** Die einfachen und schrittweise durchzuführenden Bewertungsschritte erlauben eine Anwendung auch ohne Vorkenntnisse des Nutzers oder der Nutzerin. Jedoch wurde in der Diskussion mit dem anwendenden Unternehmen festgestellt, dass ohne Vorarbeiten, beispielsweise in Form von Arbeitsplatzbeschreibungen oder Qualifikationsmatrizen für das Personal, die Durchführung der Anforderungsermittlung sehr zeitaufwändig und anspruchsvoll ist. Um einen vollständigen Soll-Ist-Vergleich der Profile durchzuführen, müssen zunächst die entsprechenden Vorarbeiten geschaffen werden, wodurch ein signifikanter Aufwand entsteht. Sind die entsprechenden Informationen vorhanden, fällt die Anwendung deutlich leichter. Selbst dann sind aber Erläuterungen zu den einzelnen Methodenschritten nötig, um genau zu verstehen was gemacht werden muss. Aus den genannten Gründen wird die Anwendbarkeit lediglich als teilweise erfüllt eingestuft. Hier wird das größte Potenzial zur Weiterentwicklung der Methode gesehen.

***Lösungsorientierung:*** Die Methode zur Anforderungsermittlung in der digitalen Transformation bietet sowohl für die Produktionsverantwortlichen als auch für die Personalreferenten eine Unterstützung bei der Identifikation benötigter Qualifizierungsmaßnahmen. Das Vorgehen ist so gestaltet, dass beide Parteien eine gemeinsame, inhaltliche Basis zur Diskussion haben. Die Aussagen zu den zukünftigen Anforderungen sind so gut es geht einer quantitativen Lösung angenähert, jedoch kann diese nur vollständig quantifiziert werden, wenn auch die nötigen Standards zur Anforderungsbewertung und zur Erstellung von

Anforderungsprofilen im Unternehmen vorhanden sind oder im Zuge der Methodenanwendung eingeführt werden. Daher wird diese Anforderung als größtenteils, aber nicht voll erfüllt eingestuft.

**Ganzheitlichkeit:** Die Aussagen über die zukünftigen Anforderungen am Montagearbeitsplatz sind sehr umfassend, jedoch wird methodisch nicht sichergestellt, dass sie auch wirklich ganzheitlich sind und alle Anforderungsfelder berücksichtigen. Theoretisch könnten bereits bei der Definition des zukünftigen Arbeitsplatzszenarios wichtige Einflüsse vergessen werden. In diesem Fall würden auch die entsprechenden Anforderungen bei den folgenden Methodenschritten nicht berücksichtigt, weshalb die Ganzheitlichkeit nur größtenteils aber nicht vollständig erfüllt wird.

**Anwendungsbereichsorientierung:** Die Zielgruppe und der Betrachtungsbereich wurden in der Methode vollumfänglich berücksichtigt. In der Diskussion mit dem anwendenden Unternehmen wurde sogar festgestellt, dass die Methode vermutlich problemlos auch auf andere Unternehmensbereiche übertragen werden könnte. Daher gilt diese Anforderung als vollständig erfüllt.

**Flexibilität:** Das wissenschaftliche Vorgehen innerhalb der Methode ist so gestaltet, dass jederzeit Änderungen an den Inhalten vorgenommen werden können, ohne dass das methodische Vorgehen dadurch erschwert oder anderweitig beeinträchtigt werden würde. Beispielsweise könnten die Trendliste und der Anforderungskatalog jederzeit an andere Branchen oder Unternehmensbereiche angepasst werden, ohne dass die anschließende Bewertung in veränderter Form durchgeführt werden müsste. Daher wird die Anforderung an die Flexibilität als vollständig erfüllt angesehen.

## 6.2.2 Anpassungsbedarf zur Übertragung auf andere Unternehmen und Anwendungsfelder

Zur Bewertung der Methode wurde aus wissenschaftlicher Sicht eine induktive Vorgehensweise gewählt, das heißt vom Einzelfall auf die Allgemeingültigkeit der entwickelten Methode geschlossen. Die Plausibilitätsbetrachtungen, dass dieses Vorgehen geeignet ist und um sicherzustellen, dass die Induktion angemessen ist, erfolgen in diesem Abschnitt.

Die Methode zur Anforderungsermittlung wurde unternehmensunabhängig entwickelt, es erfolgte lediglich eine thematische Einschränkung des Betrachtungsrahmens auf die manuelle Montage im Rahmen der digitalen Transformation zu einer Smart Factory. Die Vorgehensweise und die für sie entwickelten Werkzeuge sind bis auf wenige Ausnahmen problemlos auf andere Unternehmen und Branchen übertragbar. Eine schrittweise Bewertung der Übertragbarkeit auf Produktionsarbeitsplätze außerhalb der Montage erfolgt in den nächsten Absätzen.

Die Methode könnte branchenunabhängig überall dort eingesetzt werden, wo ein signifikanter Anteil manueller Arbeit vorliegt, der Arbeitsplatz klar umrissene Tätigkeiten sowie Prozesse beinhaltet und er zukünftig mit digitalen Elementen und Systemen ausgestattet werden soll, um den digitalen Wandel im Unternehmen voranzutreiben. Besonders häufig sind davon die Produktionsarbeitsplätze in direkten (Fertigung und Montage) und indirekten Bereichen (beispielsweise Logistik oder Instandhaltung) betroffen. Darüber hinaus könnte, angelehnt an die vorgestellte Methode, eine angepasste Vorgehensweise für die Anforderungsermittlung von Bürotätigkeiten, beispielsweise in der Verwaltung oder der Planung, entwickelt werden. Auch diese Arbeitsplätze können meist klar abgegrenzt werden und es werden häufig digitale Systeme zur Unterstützung und Durchführung der Arbeitsprozesse eingesetzt. Um die Anwendung der Methode möglichst einfach zu gestalten, müssen im Unternehmen die nötigen Informationen, wie Arbeitsplatzbewertungen und Qualifikationsmatrizen des Personals, vorhanden sein. Dies ist in dokumentationspflichtigen Branchen, beispielsweise der Luft- und Raumfahrtbranche oder der Medizintechnik, der Fall, weshalb die entwickelte Methode von diesen mit geringem Aufwand angewendet werden könnte.

Im ersten Methodenschritt, in dem die zukünftige Gestaltung des Arbeitssystems definiert wird, wird die Einschränkung auf die manuelle Montage erkennbar. Die Arbeitssystemdarstellung (Werkzeug 1.1) ist zwar allgemeingültig für alle Arten von Produktionsarbeitsplätzen, die vorgeschlagenen Attribute zur detaillierten Beschreibung der einzelnen Systemelemente beziehen sich allerdings auf Montageplätze. Zur Übertragung des Werkzeugs 1.1 auf andere Produktionsarbeitsplätze, beispielsweise in der Teilefertigung, müssten diese Attribute angepasst bzw. geeignete identifiziert werden.

Die Trendliste (Werkzeug 1.2) ist vollständig auf manuelle Montageplätze ausgerichtet, da im Verlauf der bibliometrischen Analyse zur Ermittlung der Befähiger und Anwendungsfälle die Suchbegriffe „manufacturing“, „assembly“ und „manual assembly“ verwendet wurden, um eine Fokussierung der Veröffentlichungen zu erreichen. Um dieses Werkzeug für andere Anwendungsbereiche einzusetzen, müsste eine bibliometrische Analyse mit entsprechend anwendungsbereichsbezogenen Suchbegriffen durchgeführt werden. Dies entspricht der im vorherigen Abschnitt erläuterten Anpassung, um die Anforderung der Flexibilität zu erfüllen. Alternativ könnten bestehende Trendkataloge oder ähnliche Zusammenstellungen anstatt der Trendliste herangezogen werden.

Die Verknüpfungsmatrix I (Werkzeug 1.3) kann problemlos bei Produktionsarbeitsplätzen außerhalb der Montage verwendet werden. Die in ihr enthaltenen Arbeitsbewertungskriterien sind angelehnt an das Arbeitsanalyseverfahren KOMPASS, welches allgemeingültig für die Bewertung menschlicher Arbeit in Produktionssystemen entwickelt wurde. Sofern die Trendliste angepasst wurde, kann die Bewertung der Arbeit durch die Trends unverändert vorgenommen werden.

Ähnliches gilt für den Anforderungskatalog (Werkzeug 2.1) im Baustein 2. Er könnte unverändert für alle produktionsbezogenen Arbeitsplätze verwendet werden. Bei der Erstellung des Katalogs wurden sowohl allgemeine, produktionsunabhängige Anforderungen zusammengetragen als auch spezielle Anforderungen für die Produktion in der Smart Factory berücksichtigt. Es wurde allerdings keine Einschränkung auf die Montage vorgenommen, sodass der Anforderungskatalog für alle Produktionsarbeitsplätze anwendbar ist. Erst, wenn eine Anwendung außerhalb der Produktion stattfinden soll, müssten die speziellen Anforderungen für den gewünschten Bereich identifiziert und in den Anforderungskatalog aufgenommen werden.

Die Verknüpfungsmatrix II (Werkzeug 2.2) ist ebenfalls übertragbar, da ihre Struktur und die darin ermittelten Komponenten anwendungsfallunabhängig sind. Wie bereits in den Abschnitten zuvor beschrieben, gelten die verwendeten Arbeitsbewertungskriterien und die Anforderungen für alle Produktionsarbeitsplätze. Bei einem Einsatz außerhalb der Produktion müssten die Arbeitsbewertungskriterien und die Anforderungen entsprechend angepasst werden. Die Struktur und das Vorgehen zur Bewertung der Anforderungen bleiben davon jedoch unberührt und können daher als übertragbar angenommen werden.

Der Baustein 3 zur Erstellung eines Anforderungsprofils und zur Ableitung des Entwicklungsbedarfs ist unabhängig vom Betrachtungsbereich, da lediglich die Funktionsweise und das Vorgehen zur Erstellung des Profils und des Soll-Ist-Vergleichs vorgeschlagen wurden. Es werden keine inhaltlichen Vorgaben diesbezüglich gemacht. Alle Skalen, Einstufungen und Darstellungsformen müssen vom durchführenden Unternehmen individuell festgelegt werden und können daher auch für andere Einsatzbereiche realisiert werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das methodische Vorgehen zur Anforderungsermittlung, welches in der vorliegenden Forschungsarbeit entwickelt wurde, problemlos auf andere Unternehmensbereiche und andere Arten von Arbeitsplätzen übertragbar ist. Für eine Anwendung in einem anderen Produktionsbereich als der Montage müssten lediglich die Attribute der Arbeitssystembeschreibung angepasst, sowie die bibliometrische Analyse und die Inhalte der Trendliste auf den neuen Betrachtungsbereich ausgerichtet werden. Sollte eine Anwendung in einem anderen Unternehmensbereich als der Produktion angestrebt werden, kann das methodische Vorgehen zwar übernommen werden, die Inhalte der Werkzeuge Arbeitssystemdarstellung, Trendliste und Anforderungskatalog müssten jedoch explizit für den betrachteten Bereich erstellt werden. Die Vorgehensweise zur Auswahl und Bewertung der Trends und Anforderungen kann jedoch übernommen werden, ebenso wie die Struktur des Anforderungsprofils und das Vorgehen zur Ermittlung des Entwicklungsbedarfs.

### 6.2.3 Aufwand-Nutzen-Bewertung

Um die Sinnhaftigkeit der Anwendung der entwickelten Methode im Unternehmen zu unterstreichen, ist eine Bewertung des entstehenden Nutzens im Vergleich zu den Durchführungsaufwänden hilfreich. Die Ermittlung des entstehenden Nutzens stellt an dieser Stelle eine Herausforderung dar. Das Ergebnis der methodischen Vorgehensweise sind Handlungsempfehlungen bezüglich des Qualifikationsbedarfs an einzelnen Arbeitsplätzen. Ein Nutzen für das Unternehmen entsteht also aufgrund der identifizierten und durchgeführten Qualifizierungsmaßnahmen. Zur Bewertung solcher Maßnahmen wird die Ermittlung des Return on Invest (ROI) vorgeschlagen (MEHRMANN 2004, S. 182). Er wird mithilfe der folgenden Formel berechnet und vergleicht die Kosten einer erfolgten Qualifizierung mit den Kosten, die für das Unternehmen durch eine fehlende Qualifizierung entstehen:

$$ROI = (Kosten\ durch\ fehlende\ Qualifikation * Umsetzungsgrad) - Kosten\ der\ Durchführung\ der\ Qualifizierung \quad (6-1)$$

Trotz der Einfachheit und Eingängigkeit dieser Formel, ist die Berechnung in der Praxis insofern problematisch, als dass die einzelnen Variablen nur selten bis gar nicht quantifiziert werden können (GRAF 2001, S. 70). Gleiches gilt für die Durchführung einer Kosten-Effektivitäts-Analyse. Diese verzichtet zwar darauf den Nutzen einer Maßnahme monetär zu bewerten, sie benötigt jedoch stets den Vergleich zu anderen Maßnahmen oder gegenüber einem zuvor festgelegten, kritischen Effizienzwert (RYSCHKA ET AL. 2011, S. 394). Insofern sind beide Betrachtungen für die vorliegende Arbeit nicht umsetzbar.

Die hier entwickelte Methode ist jedoch so konzipiert, dass ihre Anwendung in das Aufgabengebiet der Personal- und Produktionsverantwortlichen fallen und somit im Zuge eines Veränderungsprojekts sowieso durchgeführt werden müssten. Unter der Annahme, dass die entsprechenden Vorarbeiten, wie Qualifikationsmatrizen und Anforderungsprofile der aktuellen Arbeitsplätze, im Personalwesen vorhanden sind, stellt die Durchführung keinen nennenswerten Zusatzaufwand für das Unternehmen dar. Der Zeitbedarf für die Anwendung wird mit etwas Übung auf ca. zwei Stunden pro Arbeitsplatz geschätzt. Im besten Fall wird die Methode von zwei Personen in Zusammenarbeit durchgeführt, wodurch in Summe etwa vier Personenstunden an Aufwand anfallen. Sonstige Kosten und Aufwände entstehen nicht, da keine weiteren Vorbereitungen getroffen werden müssen. Der Nutzen für das Unternehmen, der dem gegenübersteht, ist sehr schnell deutlich höher. Es wird angenommen, dass durch die Methode eine Fehlqualifizierung der Mitarbeitenden nach der Umgestaltung eines Arbeitsplatzes vermieden werden kann. Somit werden Fehler, die aufgrund dessen entstehen könnten, vermieden und Kosten eingespart. Diese Einsparungen übertreffen schnell die Kosten einer Qualifizierungsmaßnahme, wodurch ein Nutzen für das Unternehmen generiert wird.

Ergänzend zu den Ausführungen hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Anforderungen und des Anpassungsbedarfs der entwickelten Methode, müssen jedoch auch einige Limitationen näher beschrieben und diskutiert werden. Dies erfolgt im nächsten Abschnitt.

#### 6.2.4 Kritische Diskussion der entwickelten Methode

Im Rahmen der kritischen Auseinandersetzung mit der entwickelten Methode muss auf eine systematische Limitation besonders eingegangen werden. Für die Bewertung der Anforderungsveränderung  $A_j$  in der VM II wird das jeweilige Maximum der Veränderung herangezogen. Durch diese Vorgabe kann es zu einer Überqualifizierung des Personals kommen, da die größtmögliche Veränderung als neue Basis für das zukünftige Qualifikationsprofil herangezogen wird, unabhängig davon, welcher Anteil der Tätigkeiten am Arbeitsplatz diese Anforderung überhaupt erfordert. Um dieser Einschränkung zu begegnen, müsste bei der Bewertung der Anforderungen künftig eine Gewichtung hinsichtlich des Anteils der Anforderung an der gesamten Tätigkeit vorgenommen werden, um zu entscheiden, ob eine Qualifizierung auf die maximale Veränderung der Anforderung sinnvoll ist.

Darüber hinaus ist anzuführen, dass ein gewisser subjektiver Einfluss sowohl der Autorin bei der Entwicklung der Vorgehensweise, als auch der Unternehmen bei der Anwendung nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Diese Einschränkung wurde bereits bei der Bewertung der Objektivität und der Validität angedeutet, soll an dieser Stelle aber noch einmal aufgegriffen werden. Zur Schaffung der Trendliste im Methodenbaustein 1, mussten initiale Suchbegriffe festgelegt werden, um einen ersten Literatursuchlauf in der bibliometrischen Analyse durchzuführen. Es wurde zwar eine umfangreiche Literaturbasis zur Identifikation dieser Suchbegriffe herangezogen, jedoch ist es möglich, dass subjektive Vorlieben und Themenschwerpunkte der Autorin die Auswahl der Literatur beeinflussten. Um dennoch eine bestmögliche Objektivierung zu erreichen, wurde die Literatursuche in zwei Runden durchgeführt, um neue und bisher nicht berücksichtigte Suchbegriffe in der nächsten Suchrunde aufzunehmen. Auf Anwendungsseite können subjektive Einstellungen und Werthaltungen eine Verzerrung der Ergebnisse bei der Bewertung der Veränderungen der Arbeitsbedingungen sowie der Anforderungen bewirken. So wird vermutlich ein optimistisch eingestellter Mensch bei gewissen Veränderungen eher dazu tendieren sie positiver einzustufen als sie sind. Ein pessimistisch veranlagter Mensch hingegen wird eher dazu tendieren eine Entwicklung als negativer einzuschätzen als sie ist. Für die Ermittlung der benötigten Anforderungen reicht eine ungefähre Abschätzung der Entwicklung aus, weshalb die Skalen für die Bewertung der Verknüpfungsmatrizen sehr einfach gehalten wurden. Der subjektive Effekt wird daher als wenig beeinflussend für das Gesamtergebnis der Methode angesehen und kann somit vernachlässigt werden.

Das induktive Vorgehen bei der Bewertung der entwickelten Methode muss ebenfalls kritisch hinterfragt werden. Hierzu lässt sich anführen, dass das anwendende Unternehmen typisch für die Zielgruppe dieser Arbeit ist und die Meinung mehrerer Experten im Rahmen des Workshops eingeholt wurde. Als Zielgruppe wurden im Abschnitt 4.1.2 Unternehmen mit einem signifikanten manuellen Montageanteil in ihrer Produktion benannt. Das dazugehörige Feld möglicher Produktionsarten und -prinzipien, die diesem Anspruch gerecht werden, ist sehr umfassend. Mit der Firma Claas als Anwendungspartner wurde ein Unternehmen untersucht, das Produkte in variantenreicher Großserie herstellt. Die getaktete Variantenfließmontage zeichnet sich durch den Zusammenbau der Produktkomponenten in kleinen Losgrößen sowie durch eine häufige Erweiterung des Stammpersonals durch Leiharbeiterinnen und -arbeiter aus. Das Produktionsprinzip der Variantenfließmontage ist bei einem signifikanten Anteil der produzierenden Unternehmen in Deutschland im Einsatz, da sie häufig in der Automobil- und Nutzfahrzeugbranche eingesetzt wird (BOYSEN 2006, S. 11). Da alleine diese Branchen mit einem Umsatz in Höhe von 548 Mrd. € knapp 25 Prozent des gesamten Umsatzes (in 2017 rund 2.200 Mio. €) des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland ausmachen (DESTATIS 2019, S. 526), kann das Unternehmensbeispiel der Firma Claas als belastbar für die Bewertung der inhaltlichen Anforderungen der Methode angenommen werden. Wie bereits im Abschnitt 6.2.2 ausführlich erläutert, kann außerdem für jeden entwickelten Methodenschritt und für jedes Werkzeug die Übertragbarkeit sichergestellt werden oder es können zumindest Maßnahmen festgehalten werden, wie diese gesichert werden kann. Außerdem wurden einzelne Bausteine der Methode bereits während ihrer Erstellung von größeren Fachgruppen evaluiert oder auf sehr breiter Literaturbasis geschaffen, sodass eine zusätzliche Absicherung erfolgte.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Anwendbarkeit der geschaffenen Methode. Um eine bestmögliche Aussagekraft der Methodenergebnisse zu erhalten, sind umfangreiche Vorarbeiten innerhalb des Unternehmens nötig. Es werden viele Informationen und Daten bezüglich der Arbeitsplatzanforderungen und Personalqualifikationsprofile benötigt, da nur so ein Vergleich des Ist-Zustands mit dem Soll-Zustand der Zukunft möglich ist und aussagekräftige Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden können. Sind diese Informationen nicht vorhanden, müssen sie zunächst erzeugt werden, was einen nicht zu unterschätzenden Aufwand darstellt. Positiv hervorgehoben werden kann in diesem Kontext, dass die Methode auch ohne diese Vorarbeiten eine sinnvolle Aussage für das anwendende Unternehmen liefert. Sie schafft Transparenz hinsichtlich der zukünftigen Auswirkungen

und sorgt so für Sicherheit für die Mitarbeitenden und das Unternehmen, auch wenn keine konkreten Qualifizierungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Trotzdem sollte die Anwendbarkeit der Methode weiter verbessert werden, um einen Einsatz in der Industrie zu erleichtern.

Trotz der genannten Einschränkungen wurde ein Vorgehen entwickelt, das es Unternehmen ermöglicht, rechtzeitig auf zukünftige Veränderungen zu reagieren, das heißt proaktiv nötige Maßnahmen zu ergreifen. Je nach Szenario könnte eine solche Maßnahme beispielsweise sein, neues Personal einzustellen, bestehendes weiterzuentwickeln oder Personal zwischen den Arbeitsplätzen zu verschieben, damit die nötigen Arbeitsplatzanforderungen bestmöglich erfüllt werden. Die richtige Qualifizierung und der Einsatz der passenden Person am Arbeitsplatz der Zukunft sorgen dafür, dass Fehler reduziert und Kosten vermieden werden. Die Methode zur Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation stellt sicher, dass keine unnötigen Entwicklungsmaßnahmen getroffen werden und somit überflüssige Kosten und zusätzlicher Aufwand vermieden werden. Dadurch ist die Methode sowohl effizient als auch effektiv, womit trotz der erläuterten Einschränkungen das übergeordnete Ziel der Arbeit, nämlich die *Befähigung produzierender Unternehmen, effektiv und effizient die benötigte Personalsituation für die manuelle Montage in der digitalen Transformation zu schaffen*, erreicht werden konnte.



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Digitalisierung der Unternehmen dringt bis in die Produktion vor und verändert dort die Arbeitsplätze und die an die Belegschaft gestellten Anforderungen. Besonders in der Montage, wo häufig ein hoher Anteil manueller Tätigkeiten zu verrichten ist, sind diese Veränderungen spürbar. Um Fehler zu vermeiden und die Belastungen für die dort tätigen Personen zu minimieren, ist eine gute Passung zwischen den Arbeitsplatzanforderungen und den Kompetenzen der zuständigen Arbeitsperson zu schaffen. Für die Personalentwicklung ist es jedoch schwierig, frühzeitig Qualifizierungsmaßnahmen festzulegen, da zu wenig konkrete Kenntnis über die zukünftige Gestaltung der Arbeitsplätze vorliegen.

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Methode zur Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation schafft eine Möglichkeit, in drei Schritten zu einer fundierten Aussage über die benötigte Personalsituation für die Zukunft zu gelangen. Dazu wurden Werkzeuge entwickelt, mit denen die prospektive Gestaltung des Arbeitsplatzes abgeschätzt und bewertet werden kann, wie sich die Arbeit dort verändert. Durch die veränderten Arbeitsbedingungen kann ermittelt werden, welche Anforderungen in welcher Höhe an diesem Arbeitsplatz benötigt werden. Dieser zukünftige Soll-Zustand wird mit dem bestehenden Qualifikationsprofil der Arbeitsperson verglichen. Damit kann eine Aussage über den Entwicklungsbedarf dieser Person gemacht werden.

Aus wissenschaftlicher Sicht leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu, die Auswirkungen externer Einflüsse im Kontext der Digitalisierung auf das Arbeitssystem in der Montage zu ermitteln und basierend darauf die Veränderungen für die Arbeit in diesem System zu bewerten. Damit schafft sie eine Reduktion der Unsicherheit bezüglich notwendiger Qualifizierungsbedarfe auf Seiten der Unternehmen und der Belegschaft.

Zukünftiger Forschungsbedarf wird vor allem in den nachfolgenden Aspekten gesehen:

***Anpassung des Arbeitsplatzes an das zukünftig verfügbare Personal:*** Der aktuellen Ausgestaltung der Methode liegt eine Anpassung der Arbeitsperson an den zukünftigen Arbeitsplatz zugrunde. Eine mögliche Weiterentwicklung der vorliegenden Methode könnte sich

damit beschäftigen, ob auch eine Anpassung des Arbeitsplatzes an die zukünftige Arbeitsperson, bzw. an ihr vermutlich zukünftig vorhandenes Qualifikationsprofil, möglich und sinnvoll wäre. Die zugrundeliegende Fragestellung in diesem Kontext könnte lauten: Wie muss ein Arbeitsplatz gestaltet sein, dass er auch für zukünftige Generationen von Facharbeitern und Facharbeiterinnen attraktiv erscheint daran zu arbeiten? Produzierende Unternehmen sind dem wachsenden Fachkräftemangel stark ausgesetzt, weswegen es wichtiger wird, attraktiv für mögliche Bewerberinnen und Bewerber zu sein. Eine Anpassung des Arbeitsplatzes an die noch verfügbaren Arbeitspersonen und ihre Wünsche und Voraussetzungen, könnte daher für Unternehmen eine gute Möglichkeit darstellen, mit dieser Entwicklung umzugehen.

***Steigerung der Anwendbarkeit:*** Eine inhaltliche Weiterentwicklung der Methode sollte die Verknüpfung zwischen den Matrizen aus den Methodenbausteinen 1 und 2 verstärken, um die Bewertung innerhalb der Anwendung zu vereinfachen. Dies könnte durch vertiefte Forschungsarbeiten bezüglich der Korrelation zwischen Arbeitsbewertungskriterien und Anforderungen geleistet werden. Eine Verbesserung der industriellen Anwendbarkeit der Methode, beispielsweise durch die Integration in einem Softwaretool, geht damit eng einher. Dies hätte den Vorteil, dass eine schrittweise Führung der Anwendenden durch den Prozess stattfinden kann, was gleichzeitig auch mit einer Anleitung einhergeht. Zusätzlich bietet ein Softwaretool die Möglichkeit, an relevanten Stellen weiterführende Informationen zur Verfügung zu stellen, die beispielsweise die Bewertungskriterien erläutern oder Unterstützung bei der Bewertung der Verknüpfungsmatrizen bieten. Die Integration bereits bestehender Daten über entsprechende Schnittstellen könnte geschaffen werden, damit bestehende Qualifikationsmatrizen oder Anforderungsprofile aufwandsarm direkt bei der Bewertung berücksichtigt und zentral zur Verfügung gestellt werden können.

***Langzeitstudie zur quantitativen Bewertung:*** Durch eine erweiterte Evaluation in verschiedenen Branchen und Anwendungsfeldern könnten die Annahmen hinsichtlich der induktiven Vorgehensweise bei der Entwicklung bestätigt werden. Ergänzend könnte eine Langzeitstudie in verschiedenen Unternehmen durchgeführt werden, deren Ziel es ist, den Nutzen und die Effektivität der ermittelten Handlungsbedarfe zu bestimmen, um so eine quantitative Bewertung der Methode zur Anforderungsermittlung zu ermöglichen.

## 8 Anhang

### A. Übersicht aller betreuten Studienarbeiten im Themengebiet

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung der Autorin dieser Arbeit die im Folgenden chronologisch aufgeführten studentischen Arbeiten. In ihnen wurden verschiedene Fragestellungen rund um die Anforderungsermittlung für das Produktionspersonal und die Auswirkungen der Digitalisierung und der Industrie 4.0 auf die Produktionsarbeitsplätze untersucht. Deren Ergebnisse sind zum Teil in die vorliegende Arbeit eingeflossen und an den relevanten Stellen zitiert. Die Autorin dankt an dieser Stelle allen Studierenden herzlich für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

ANNA JULIA IMBSWEILER

Ableitung von Anforderungsprofilen für Produktionsmitarbeiter in einer Smart Factory. Semesterarbeit, 2018.

BARBARA TROPSCHUH

Methode zur Ableitung von Kompetenzanforderungen in der manuellen Montage im Kontext der Industrie 4.0. Masterarbeit, 2018.

RAPHAELA GANGL

Entwicklung einer Methode zur Gestaltung eines manuellen Montagearbeitsplatzes unter Berücksichtigung der Trends der Industrie 4.0. Masterarbeit, 2017.

JAN KOCH

Entwicklung eines Studienkonzepts zur Bestimmung des Einflusses der Industrie 4.0 auf den Mitarbeiter. Bachelorarbeit, 2017.

SVENJA KORDER

Entwicklung möglicher Zukunftsbilder zur manuellen Montage im Kontext der Industrie 4.0. Masterarbeit, 2017.

PAUL SIGGELKOW

Analyse aktueller Qualifikationsanforderungen und Ableitung eines Rollenprofils für Mitarbeiter in der Produktion. Semesterarbeit, 2016.

ANDREAS THALMAIR

Entwicklung eines Bewertungsmodells aktueller Trends in der Produktion auf Basis der individuellen Unternehmenssituation. Masterarbeit, 2016.

PETER WEHRLE

Auswirkungen von Trends in der Produktion auf die Arbeit der Zukunft. Semesterarbeit, 2016.

## B. Übersicht verwendeter Icons

Tabelle 8-1: Urheber der verwendeten Icons

Nr.	Autor	Link	Abbildung/ Tabelle	Seite
1	xnimrodx	<a href="https://www.flaticon.com/packs/ai-6">https://www.flaticon.com/packs/ai-6</a>	1-1	2
2	Tomas Knop	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/factory_535653?term=factory&amp;page=1&amp;position=20">https://www.flaticon.com/free-icon/factory_535653?term=factory&amp;page=1&amp;position=20</a>	1-2; 3-1; 3-4	4; 39; 50
3	Smashicons	<a href="https://www.flaticon.com/search?word=truck&amp;license=selection">https://www.flaticon.com/search?word=truck&amp;license=selection</a>	1-2	4
4	Prosymbols	<a href="https://www.flaticon.com/packs/project-management-7">https://www.flaticon.com/packs/project-management-7</a>	2-4	29
5	Prosymbols	<a href="https://www.flaticon.com/packs/project-management-7">https://www.flaticon.com/packs/project-management-7</a>	3-5	65
6	Flat Icons	<a href="https://www.flaticon.com/packs/data-analytics-11">https://www.flaticon.com/packs/data-analytics-11</a>	5-3	85
7	Eucalyp	<a href="https://www.flaticon.com/packs/factory-element-2">https://www.flaticon.com/packs/factory-element-2</a>	1-2; 5-4	4; 86
8	Flat Icons	<a href="https://www.flaticon.com/packs/data-analytics-11">https://www.flaticon.com/packs/data-analytics-11</a>	5-9	111

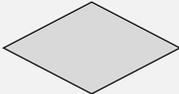
## C. Baustein 1, Werkzeug 1.2: Übersicht der verwendeten Literatur für die Vorstudie

Tabelle 8-2: Verwendete Literatur für die Recherche initialer Suchbegriffe

Nr.	Autor	Titel	Art
1	ABELE & REINHART (2011)	Zukunft der Produktion	Fachbuch
2	BAUERNHANS ET AL. (2014)	Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik	Fachbuch
3	BAYME (2014)	Übergreifende Megatrends und Trends in ausgewählten Branchen der M+E Industrie	Studie
4	BIENZEISLER ET AL. (2014)	Industrie 4.0 Ready Services - Technologietrends 2020	Bericht
5	BISCHOFF ET AL. (2015)	Erschließung der Potentiale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand	Studie
6	BLOCHING ET AL. (2015)	Die digitale Transformation der Industrie	Studie
7	BMW (2010)	Im Fokus: Industrieland Deutschland	Studie
8	BOTTHOF & HARTMANN (2015)	Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0	Fachbuch
9	BUHR (2015)	Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0	Bericht
10	CSC (2014. )	CSC-Studie "Industrie 4.0" - Ländervergleich DACH	Studie
11	DELOITTE (2013. )	Digitalisierung im Mittelstand	Studie
12	DGFP (2011)	Megatrends und HR Trends	Studie
13	DORST (2012)	Fabrik- und Produktionsprozesse der Industrie 4.0 im Jahr 2020	Bericht
14	GRÖMLING & HAß (2009)	Globale Megatrends und Perspektiven der deutschen Industrie	Fachbuch
15	HERING ET AL. (2015)	Smart Operations	Bericht
16	HEß (2008)	Ein Blick in die Zukunft - acht Megatrends, die Wirtschaft und Gesellschaft verändern	Fachbuch
17	JESCHKE ET AL. (2014)	Industrie 4.0 als Treiber der demografischen Chancen	Fachbuch
18	KAGERMANN ET AL. (2013)	Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0	Bericht
19	KAUFMANN (2015)	Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge	Fachbuch
20	KERSTEN ET AL. (2014A)	Industrie 4.0 - Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern	Fachbuch
21	KPMG (2014)	Industrial Manufacturing - Megatrends Research	Studie
22	LUCKE ET AL. (2014)	Strukturstudie „Industrie 4.0“ für Baden-Württemberg	Studie
23	MÖLLER ET AL. (2011)	Heutige und zukünftige Paradigmen des Produktionsstandorts Deutschland	Fachbuch
24	PEISSNER ET AL. (2013)	Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von Morgen	Fachbuch
25	PWC DEUTSCHLAND (2014. )	Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution	Studie
26	RAMSAUER (2014)	Industrie 4.0 - Die vierte industrielle Revolution	Bericht
27	REFLEX VERLAG (2014)	Die vierte industrielle Revolution	Journal
28	ROLAND BERGER (2011)	Trend Compendium 2030	Studie
29	SCHLUND ET AL. (2014)	Industrie 4.0 eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern wird	Studie
30	SPATH ET AL. (2013)	Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0	Studie
31	TSCHÖPE ET AL. (2015)	Was ist eigentlich Industrie 4.0?	Bericht
32	T-SYSTEMS INT. (2011)	Trendpapier – Megatrends und Core Beliefs	Studie
33	WESTKÄMPER (2013A)	Struktureller Wandel durch Megatrends	Fachbuch
34	Z_PUNKT (2016)	Megatrends Update	Studie

## D. Baustein 1, Werkzeug 1.2: Übersicht der verwendeten Symbole für Flussdiagramme

Tabelle 8-3: Symbole zur Erstellung von Flussdiagrammen

Nr.	Symbol	Bezeichnung	Erläuterung
1		Prozessschritt	Darstellung allgemeiner Operationen / Verarbeitung; stellt häufig einen Prozess, eine Aktion oder eine Funktion dar
2		Daten	Darstellung von Daten; stellt häufig eine Ein- oder Ausgabe dar
3		Verzweigung	Darstellung einer Entscheidung; Entscheidungskriterium steht innerhalb des Symbols
4		Input/Output	Darstellung von Input und Output; stellt häufig den Beginn oder das Ende eines Ablaufs dar

E. Baustein 1, Werkzeug 1-2: Überarbeitung der Suchbegriffe und -gruppen

Tabelle 8-4: Überarbeitung der Suchbegriffe auf Basis der Author-Keywords und neugestaltete Suchgruppen

1	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">kognitive Assistenzsysteme</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center;">OR</td><td>assist*</td></tr> <tr><td>visual*</td></tr> <tr><td>„virtual reality“</td></tr> <tr><td>„augmented reality“</td></tr> </tbody> </table>	kognitive Assistenzsysteme		OR	assist*	visual*	„virtual reality“	„augmented reality“	2	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">physische Assistenzsysteme</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="10" style="text-align: center;">OR</td><td>assist*</td></tr> <tr><td>robo*</td></tr> <tr><td>grip*</td></tr> <tr><td>ergo*</td></tr> <tr><td>tablet</td></tr> <tr><td>laptop</td></tr> <tr><td>smartphone</td></tr> <tr><td>wearables</td></tr> </tbody> </table>	physische Assistenzsysteme		OR	assist*	robo*	grip*	ergo*	tablet	laptop	smartphone	wearables	3	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Informationsträger</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="6" style="text-align: center;">OR</td><td>intelligen*</td></tr> <tr><td>smart</td></tr> <tr><td>eps</td></tr> <tr><td>rfid</td></tr> <tr><td>„bar code“</td></tr> <tr><td>„information techno“</td></tr> </tbody> </table>	Informationsträger		OR	intelligen*	smart	eps	rfid	„bar code“	„information techno“
kognitive Assistenzsysteme																																
OR	assist*																															
	visual*																															
	„virtual reality“																															
	„augmented reality“																															
physische Assistenzsysteme																																
OR	assist*																															
	robo*																															
	grip*																															
	ergo*																															
	tablet																															
	laptop																															
	smartphone																															
	wearables																															
	Informationsträger																															
	OR	intelligen*																														
smart																																
eps																																
rfid																																
„bar code“																																
„information techno“																																
4	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Vernetzung</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="7" style="text-align: center;">OR</td><td>cloud</td></tr> <tr><td>internet</td></tr> <tr><td>„internet of things“</td></tr> <tr><td>„smart factory“</td></tr> <tr><td>app</td></tr> <tr><td>intranet</td></tr> <tr><td>social media</td></tr> <tr><td>interoperab*</td></tr> </tbody> </table>	Vernetzung		OR	cloud	internet	„internet of things“	„smart factory“	app	intranet	social media	interoperab*	5	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Überbegriffe der Produktion</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="6" style="text-align: center;">OR</td><td>digital*</td></tr> <tr><td>„manual assembly“</td></tr> <tr><td>production</td></tr> <tr><td>industri*</td></tr> <tr><td>4.0</td></tr> <tr><td>flexib*</td></tr> </tbody> </table>	Überbegriffe der Produktion		OR	digital*	„manual assembly“	production	industri*	4.0	flexib*	6	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Organisation der Arbeit</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center;">OR</td><td>self-organi*</td></tr> <tr><td>„horizontal integration“</td></tr> <tr><td>„vertical integration“</td></tr> <tr><td>versatile</td></tr> </tbody> </table>	Organisation der Arbeit		OR	self-organi*	„horizontal integration“	„vertical integration“	versatile
Vernetzung																																
OR	cloud																															
	internet																															
	„internet of things“																															
	„smart factory“																															
	app																															
	intranet																															
	social media																															
interoperab*																																
Überbegriffe der Produktion																																
OR	digital*																															
	„manual assembly“																															
	production																															
	industri*																															
	4.0																															
	flexib*																															
Organisation der Arbeit																																
OR	self-organi*																															
	„horizontal integration“																															
	„vertical integration“																															
	versatile																															

Suchbegriff = Suchbegriff wird bestätigt  
*Suchbegriff* = Suchbegriff wird verändert

**Überarbeitung**

Suchbegriff = Suchbegriff wird hinzugefügt  
 Suchbegriff = Suchbegriff wird verworfen

1	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Assistenzsysteme</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="5" style="text-align: center;">OR</td><td>assist*</td></tr> <tr><td>visual*</td></tr> <tr><td>„virtual reality“</td></tr> <tr><td>„augmented reality“</td></tr> <tr><td>wearable*</td></tr> </tbody> </table>	Assistenzsysteme		OR	assist*	visual*	„virtual reality“	„augmented reality“	wearable*	2	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">digital</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="5" style="text-align: center;">OR</td><td>smart</td></tr> <tr><td>cyber</td></tr> <tr><td>digital*</td></tr> <tr><td>data</td></tr> <tr><td>internet</td></tr> </tbody> </table>	digital		OR	smart	cyber	digital*	data	internet	3	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Werker / Werkerin</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center;">OR</td><td>human*</td></tr> <tr><td>worker*</td></tr> <tr><td>operator*</td></tr> <tr><td>interaction</td></tr> </tbody> </table>	Werker / Werkerin		OR	human*	worker*	operator*	interaction
Assistenzsysteme																												
OR	assist*																											
	visual*																											
	„virtual reality“																											
	„augmented reality“																											
	wearable*																											
digital																												
OR	smart																											
	cyber																											
	digital*																											
	data																											
	internet																											
Werker / Werkerin																												
OR	human*																											
	worker*																											
	operator*																											
	interaction																											
4	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Prozess</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center;">OR</td><td>assembly</td></tr> <tr><td>manufacturing</td></tr> <tr><td>production</td></tr> <tr><td>process</td></tr> </tbody> </table>	Prozess		OR	assembly	manufacturing	production	process	5	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Überbegriffe</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center;">OR</td><td>factory</td></tr> <tr><td>„manual assembly“</td></tr> <tr><td>industrial</td></tr> <tr><td>4.0</td></tr> </tbody> </table>	Überbegriffe		OR	factory	„manual assembly“	industrial	4.0											
Prozess																												
OR	assembly																											
	manufacturing																											
	production																											
	process																											
Überbegriffe																												
OR	factory																											
	„manual assembly“																											
	industrial																											
	4.0																											

F. Baustein 1, Werkzeug 1-2: Publikationsliste der bibliometrischen Analyse

Tabelle 8-5: Vollständige Liste der berücksichtigten Veröffentlichungen in der bibliometrischen Analyse

No.	Authors	Title	Year	Source title	DOI
1	Jiang, J., Wang, Y., Zhang, L., Wu, D., Li, M., Xie, T., Li, P., Dai, L., Li, P., Shi, X., Wang, S., Zhang, A.	A cognitive reliability model research for complex digital human-computer interface of industrial system	2018	Safety Science	10.1016/j.ssci.2017.07.016
2	Cherubini, A., Passama, R., Navarro, B., Sorour, M., Khelloufi, A., Mazhar, O., Tarbouriech, S., Zhu, J., Tempier, O., Crosnier, A., Fraisse, P., Ramdani, S.	A collaborative robot for the factory of the future: BAZAR	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03806-y
3	Peruzzini, M., Pellicciari, M., Gadaleta, M.	A comparative study on computer-integrated set-ups to design human-centred manufacturing systems	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2018.03.009
4	Krugh, M., Mears, L.	A complementary Cyber-Human Systems framework for Industry 4.0 Cyber-Physical Systems	2018	Manufacturing Letters	10.1016/j.mfglet.2018.10.003
5	Rosi, G., Vignali, G., Bottani, E.	A Conceptual Framework for the Selection of an 'Industry 4.0' Application to Enhance the Operators' Safety: The Case of an Aseptic Bottling Line	2018	2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings	10.1109/ICE.2018.8436336
6	Nikolakis, N., Maratos, V., Makris, S.	A cyber physical system (CPS) approach for safe human-robot collaboration in a shared workplace	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2018.10.003
7	Nikolakis, N., Sipsas, K., Makris, S.	A cyber-physical context-aware system for coordinating human-robot collaboration	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.03.033
8	Tarallo, A., Mozzillo, R., Di Gironimo, G., De Amicis, R.	A cyber-physical system for production monitoring of manual manufacturing processes	2018	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-018-0493-5
9	Wang, Q., Huang, Z.-D., Li, J., Liu, J.-W.	A force rendering model for virtual assembly of mechanical parts with clearance fits	2017	Assembly Automation	10.1108/AA-12-2016-175
10	Pinzone, M., Albè, F., Orlandelli, D., Barletta, I., Berlin, C., Johansson, B., Taisch, M.	A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems	2020	Computers and Industrial Engineering	10.1016/j.cie.2018.03.028
11	Yao, B., Zhou, Z., Wang, L., Xu, W., Yan, J., Liu, Q.	A function block based cyber-physical production system for physical human-robot interaction	2018	Journal of Manufacturing Systems	10.1016/j.jmsy.2018.04.010
12	Ruiz Garcia, M.A., Rojas, R., Gualtieri, L., Rauch, E., Matt, D.	A human-in-the-loop cyber-physical system for collaborative assembly in smart manufacturing	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.162
13	Koo, C.H., Zhu, H., Tsang, Y.T., Yu, T.T., Tsang, K.F., Lai, L.L.	A Humans' Status Detection Scheme for Industrial Safety	2018	IEEE International Symposium on Industrial Electronics	10.1109/ISIE.2018.8433647
14	Alkan, B., Vera, D., Ahmad, M., Ahmad, B., Harrison, R.	A Light weight Approach for Human Factor Assessment in Virtual Assembly Designs: An Evaluation Model for Postural Risk and Metabolic Workload	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.02.115
15	Tao, Y., Fang, Z., Ren, F., Wang, T., Deng, X., Sun, B.	A Method Based on Wearable Devices for Controlling Teaching of Robots for Human-robot Collaboration	2019	Proceedings 2018 Chinese Automation Congress, CAC 2018	10.1109/CAC.2018.8623163
16	Blankemeyer, S., Recker, T., Stuke, T., Brokmann, J., Geese, M., Reinger, M., Pischke, D., Oubari, A., Raatz, A.	A method to distinguish potential workplaces for human-robot collaboration	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.02.008
17	Gaisbauer, F., Lehwald, J., Agethen, P., Otto, M., Rukzio, E.	A Motion Reuse Framework for Accelerated Simulation of Manual Assembly Processes	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.03.282
18	Di Stefano, E., Ruffaldi, E., Avizzano, C.A.	A multi-camera framework for visual servoing of a collaborative robot in industrial environments	2017	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2017.8247645
19	Rajnathsing, H., Li, C.	A neural network based monitoring system for safety in shared work-space human-robot collaboration	2018	Industrial Robot	10.1108/IR-04-2018-0079
20	Otten, B., Stelzer, P., Weidner, R., Argubi-Wollesen, A., Wulfsberg, J.P.	A novel concept for wearable, modular and soft support systems used in industrial environments	2016	Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences	10.1109/HICSS.2016.74
21	Mårdberg, P., Fredby, J., Engström, K., Li, Y., Berglund, J., Carlson, J.S., Vallhagen, J.	A novel tool for optimization and verification of layout and human logistics in digital factories	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.03.158
22	Caputo, F., Greco, A., D'Amato, E., Notaro, I., Spada, S.	A preventive ergonomic approach based on virtual and immersive reality	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-60582-1_1
23	Kerin, M., Pham, D.T.	A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing	2019	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2019.117805
24	Fernandez-Carames, T.M., Fraga-Lamas, P.	A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0	2018	IEEE Access	10.1109/ACCESS.2018.2833501

25	Brenner, B., Hummel, V.	A Seamless Convergence of the Digital and Physical Factory Aiming in Personalized Product Emergence Process (PPEP) for Smart Products within ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen University	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.06.108
26	Tao, W., Lai, Z.-H., Leu, M.C., Yin, Z., Qin, R., Zhou, F., Lin, X., Liu, C.,	A self-aware and active-guiding training & assistant system for worker-centered intelligent manufacturing	2019	Manufacturing Letters	10.1016/j.mfglet.2019.08.003
27	Zhao, Y., Xu, P., Ren, L., Xue, T., Ren, L.	A survey of visualization for smart manufacturing	2019	Journal of Visualization	10.1007/s12650-018-0530-2
28	Palmarini, R., Erkoyuncu, J.A., Roy, R., Torabmostaedi, H.	A systematic review of augmented reality applications in maintenance	2018	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2017.06.002
29	Roldán, J.J., Crespo, E., Martín-Barrio, A., Peña-Tapia, E., Barrientos, A.	A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2019.05.004
30	Bordel, B., Alcarria, R., Sánchez-de-Rivera, D.	A two-phase algorithm for recognizing human activities in the context of industry 4.0 and human-driven processes	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-030-16184-2_18
31	Petit, D., Ramírez-Alpizar, I.G., He, Q., Harada, K.	A virtual capture framework for assembly tasks	2018	IEEE International Conference on Automation Science and Engineering	10.1109/COASE.2018.8560445
32	Faramondi, L., Bragatto, P., Fioravanti, C., Gnoni, M.G., Guarino, S., Setola, R.	A Wearable Platform to Identify Workers Unsafety Situations	2019	2019 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2019 - Proceedings	10.1109/METRO4.2019.8792857
33	Kinugawa, J., Kanazawa, A., Arai, S., Kosuge, K.	Adaptive Task Scheduling for an Assembly Task Coworker Robot Based on Incremental Learning of Human's Motion Patterns	2017	IEEE Robotics and Automation Letters	10.1109/LRA.2017.2655565
34	Gašová, M., Gašo, M., Štefánek, A.	Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept	2017	Procedia Engineering	10.1016/j.proeng.2017.06.038
35	Mourtzis, D., Xanthis, F., Zogopoulos, V.	An adaptive framework for augmented reality instructions considering workforce skill	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.063
36	Cecil, J., Albuhamood, S., Cecil-Xavier, A., Ramanathan, P.	An advanced cyber physical framework for micro devices assembly	2019	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	10.1109/TSMC.2017.2733542
37	Delang, K., Todtermuschke, M., Bdiwi, M., Putz, M.	An approach of service modeling for the demand-driven implementation of Human-Robot-Interaction in manufacturing	2018	IEEE International Conference on Automation Science and Engineering	10.1109/COASE.2018.8560379
38	Liu, H., Wang, L.	An AR-based Worker Support System for Human-Robot Collaboration	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.124
39	Bruno, F., Barbieri, L., Marino, E., Muzzupappa, M., D'Orlando, L., Colacino, B.	An augmented reality tool to detect and annotate design variations in an Industry 4.0 approach	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-04254-4
40	Mu, Z., Hu, Q., Liu, M.	An immersive nuclear power intelligent control system based on virtual reality	2017	Proceedings - 2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation, ICSGEA 2017	10.1109/ICSGEA.2017.101
41	Wende, J., Kiradjiev, P.	An Implementation of Batch Size 1 using the principles of Industrie 4.0	2014	Elektrotechnik und Informationstechnik	10.1007/s00502-014-0222-0
42	Del Amo, I.F., Galeotti, E., Palmarini, R., Dini, G., Erkoyuncu, J., Roy, R.	An innovative user-centred support tool for Augmented Reality maintenance systems design: A preliminary study	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.02.020
43	Mura, M.D., Dini, G., Failli, F.	An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.12.128
44	Permatasari, A., Amadea, C., Anggadwita, G., Alamanda, D.T.	An Integrated Human Resources Model in Manufacturing Companies: A Case of Indonesia	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	10.1088/1757-899X/505/1/012029
45	Berg, J., Reinhart, G.	An Integrated Planning and Programming System for Human-Robot-Cooperation	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2017.03.318
46	Kocisko, M., Teliskova, M., Baron, P., Zajac, J.	An integrated working environment using advanced augmented reality techniques	2017	2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2017	10.1109/IEA.2017.7939222
47	Peng, X., Lv, C., Zhu, X., Geng, J., Guo, Z.	An intelligent method to select maintenance tools in immersive virtual environment	2016	IEEE Aerospace Conference Proceedings	10.1109/AERO.2016.7500738
48	Mühlfelder, M.	Analysis and design of a cyber-physical production system (CPPS) in sensor manufacturing. A case study	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96077-7_41
49	Benesova, A., Hirman, M., Steiner, F., Tupa, J.	Analysis of Education Requirements for Electronics Manufacturing within Concept Industry 4.0	2018	Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology	10.1109/ISSE.2018.8443681
50	Mättig, B., Lorimer, I., Kirks, T., Jost, J.	Analysis of the application of Augmented Reality in the packaging process considering specific requirements on the visualization of information as well as the ergonomic integration of humans into the process	2016	Logistics Journal	10.2195/lj_Proc_maettig_de_201610_01
51	Pan, X., Sun, X., Wang, H., Gao, S., Wang, N., Lin, Z.	Application of an assistant teaching system based on mobile augmented reality (AR) for course design of mechanical manufacturing process	2017	Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Engineering Education, IEEE ICEED 2017	10.1109/ICEED.2017.8251911
52	Gualtieri, L., Rauch, E., Rojas, R., Vidoni, R., Matt, D.T.	Application of Axiomatic Design for the Design of a Safe Collaborative Human-Robot Assembly Workplace	2018	MATEC Web of Conferences	10.1051/mateconf/20182231003
53	Kucukoglu, I., Atici-Ulusu, H., Gunduz, T., Tokcalar, O.	Application of the artificial neural network method to detect defective assembling processes by using a wearable technology	2018	Journal of Manufacturing Systems	10.1016/j.jmsy.2018.10.001
54	Gkournelos, C., Karagiannis, P., Kousi, N., Michalos, G., Koukas, S., Makris, S.	Application of wearable devices for supporting operators in human-robot cooperative assembly tasks	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.01.019

55	Merkel, L., Berger, C., Schultz, C., Braunreuther, S., Reinhart, G.	Application-specific design of assistance systems for manual work in production	2018	IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	10.1109/IEEM.2017.8290080
56	Sochor, R., Kraus, L., Merkel, L., Braunreuther, S., Reinhart, G.	Approach to increase worker acceptance of cognitive assistance systems in manual assembly	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.229
57	Li, K., Tian, G.Y., Chen, X., Tang, C., Luo, H., Li, W., Gao, B., He, X., Wright, N.	AR-Aided Smart Sensing for In-Line Condition Monitoring of IGBT Wafer	2019	IEEE Transactions on Industrial Electronics	10.1109/TIE.2018.2886775
58	Nosikov, M.V.	Architecture of Human-controlled Arm Manipulator Operator Training System	2018	Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018	10.1109/GloSIC.2018.8570118
59	Egger-Lampf, S., Gerdentsch, C., Deinhard, L., Schatz, R., Hold, P.	Assembly instructions with AR: Towards measuring interactive assistance experience in an industry 4.0 context	2019	2019 11th International Conference on Quality of Multimedia Experience, QoMEX 2019	10.1109/QoMEX.2019.8743266
60	Cohen, Y., Nasereldin, H., Chaudhuri, A., Pilati, F.	Assembly systems in Industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-04203-1
61	Jayasekera, R.D.M.D., Xu, X.	Assembly validation in virtual reality—a demonstrative case	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03795-y
62	Chan, S.W., Omar, A.R., Ramlan, R., Omar S.S., Lim, K.H., Zaman, I.	Assessing participation in decision-making among employees in the manufacturing industry	2016	ICIMSA 2016 - 2016 3rd International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Applications	10.1109/ICIMSA.2016.7503997
63	Wang, K., He, J., Zhang, L.	Attention-based convolutional neural network for weakly labeled human activities' recognition with wearable sensors	2019	IEEE Sensors Journal	10.1109/JSEN.2019.2917225
64	Damiani, L., Demartini, M., Guizzi, G., Revetria, R., Tonelli, F.	Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.388
65	Michalos, G., Karagiannis, P., Makris, S., Tokçalar, Ö., Chrysosolouris, G.	Augmented Reality (AR) Applications for Supporting Human-robot Interactive Cooperation	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.12.005
66	Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Vlachou, E.	Augmented Reality Application to Support Remote Maintenance as a Service in the Robotics Industry	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2017.03.154
67	Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Xanthi, F.	Augmented reality application to support the assembly of highly customized products and to adapt to production re-scheduling	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03941-6
68	Amici, T.T., Filho, P.H., Campo, A.B.	Augmented reality applied to a wireless power measurement system of an industrial 4.0 advanced manufacturing line	2019	2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2018 - Proceedings	10.1109/INDUSCON.2018.8627301
69	Renner, P., Pfeiffer, T.	Augmented Reality Assistance in the Central Field-of-View Outperforms Peripheral Displays for Order Picking: Results from a Virtual Reality Simulation Study	2017	Adjunct Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2017	10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.59
70	Ferraguti, F., Pini, F., Gale, T., Messmer, F., Storchi, C., Leali, F., Fantuzzi, C.	Augmented reality based approach for on-line quality assessment of polished surfaces	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2019.04.007
71	Blaga, A., Tamas, L.	Augmented Reality for Digital Manufacturing	2018	MED 2018 - 26th Mediterranean Conference on Control and Automation	10.1109/MED.2018.8443028
72	Masood, T., Egger, J.	Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2019.02.003
73	Syberfeldt, A., Danielsson, O., Gustavsson, P.	Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory: Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products	2017	IEEE Access	10.1109/ACCESS.2017.2703952
74	Makris, S., Karagiannis, P., Koukas, S., Matthaiakis, A.-S.	Augmented reality system for operator support in human-robot collaborative assembly	2016	CIRP Annals - Manufacturing Technology	10.1016/j.cirp.2016.04.038
75	Álvarez, H., Lajas, I., Larrañaga, A., Amozarrain, L., Barandiaran, I.	Augmented reality system to guide operators in the setup of die cutters	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03634-0
76	Bhattacharya, B., Winer, E.H.	Augmented reality via expert demonstration authoring (AREDA)	2019	Computers in Industry	10.1016/j.compind.2018.04.021
77	Lhachemi, H., Malik, A., Shorten, R.	Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, and Feedback Control for Additive Manufacturing: A Review	2019	IEEE Access	10.1109/ACCESS.2019.2907287
78	Bauters, K., Cottyn, J., Claeys, D., Slembrock, M., Veclaert, P., van Landeghem, H.	Automated work cycle classification and performance measurement for manual work stations	2018	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2017.12.001
79	Monaco, M.G.L., Marchesi, A., Greco, A., Fiori, L., Silveti, A., Caputo, F., Miraglia, N., Draicchio, F.	Biomechanical load evaluation by means of wearable devices in industrial environments: An inertial motion capture system and senn based protocol	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94619-1_23
80	Gambhire, G., Gujjar, T., Pathak, S.	Business Potential and Impact of Industry 4.0 in Manufacturing Organizations	2018	Proceedings - 2018 4th International Conference on Computing, Communication Control and Automation, ICCUBEA 2018	10.1109/ICCUBEA.2018.8697552
81	Brending, S., Lawo, M., Pannek, J., Sprodowski, T., Zeising, P., Zimmermann, D.	Certifiable Software Architecture for Human Robot Collaboration in Industrial Production Environments	2017	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2017.08.171

82	Daling, L.M., Schroder, S., Haberstroh, M., Hees, F.	Challenges and Requirements for Employee Qualification in the Context of Human-Robot-Collaboration	2019	Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, ARSO	10.1109/ARSO.2018.8625850
83	Panetto, H., Iung, B., Ivanov, D., Weichhart, G., Wang, X.	Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future	2019	Annual Reviews in Control	10.1016/j.arcontrol.2019.02.002
84	Mizanoor Rahman, S.M.	Cognitive Cyber-Physical System (C-CPS) for human-robot collaborative manufacturing	2019	2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering, SoSE 2019	10.1109/SYSE.2019.8753835
85	Sadrifaridpour, B., Wang, Y.	Collaborative Assembly in Hybrid Manufacturing Cells: An Integrated Framework for Human-Robot Interaction	2018	IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	10.1109/TASE.2017.2748386
86	Aschenbrenner, D., Li, M., Dukalski, R., Verlinden, J., Lukosch, S.	Collaborative Production Line Planning with Augmented Fabrication	2018	25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings	10.1109/VR.2018.8446533
87	Malik, A.A., Bilberg, A.	Collaborative robots in assembly: A practical approach for tasks distribution	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.173
88	Tavares, P., Costa, C.M., Rocha, L., Malaca, P., Costa, P., Moreira, A.P., Sousa, A., Veiga, G.	Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2019.04.020
89	Heo, Y.J., Kim, D., Lee, W., Kim, H., Park, J., Chung, W.K.	Collision detection for industrial collaborative robots: A deep learning approach	2019	IEEE Robotics and Automation Letters	10.1109/LRA.2019.2893400
90	Lampen, E., Teuber, J., Gaisbauer, F., Bär, T., Pfeiffer, T., Wachsmuth, S.	Combining simulation and augmented reality methods for enhanced worker assistance in manual assembly	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.160
91	Aschenbrenner, D., Rojkov, M., Leutert, F., Verlinden, J., Lukosch, S., Latoschik, M.E., Schilling, K.	Comparing Different Augmented Reality Support Applications for Cooperative Repair of an Industrial Robot	2018	Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018	10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00036
92	Buñ, P., Górski, F., Lisek, N.	Comparison of manual assembly training possibilities in various virtual reality systems	2019	Lecture Notes in Electrical Engineering	10.1007/978-3-319-91334-6_54
93	Zhang, P., Bauer, S., Sontag, T.M.	Concept of planning and assurance for the human-robot-cooperation in the digital factory	2017	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111664
94	Hellebrandt, T., Ruessmann, M., Heine, I., Schmitt, R.H.	Conceptual approach to integrated human-centered performance management on the shop floor	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94709-9_30
95	Yepez, J.G.V., Moreno, A.Y., Prada, S.R.	Conceptual design of a robotic assistant system based on projections onto flat surfaces for human-machine interaction applications	2017	2016 IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation, CCRA 2016 - Conference Proceedings	10.1109/CCRA.2016.7811424
96	Periša, M., Kuljanić, T.M., Cvitić, I., Kolarovszki, P.	Conceptual model for informing user with innovative smart wearable device in industry 4.0	2019	Wireless Networks	10.1007/s11276-019-02057-9
97	Kolyubin, S., Shiriaev, A., Jubien, A.	Consistent kinematics and dynamics calibration of lightweight redundant industrial manipulators	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-018-2868-y
98	Mårdberg, P., Yan, Y., Bohlin, R., Delfs, N., Gustafsson, S., Carlson, J.S.	Controller Hierarchies for Efficient Virtual Ergonomic Assessments of Manual Assembly Sequences	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.02.084
99	Aschenbrenner, D., Sittner, F., Fritscher, M., Krauß, M., Schilling, K.	Cooperative Remote Repair Task in an Active Production Line For Industrial Internet Telemaintenance	2016	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2016.11.116
100	Gammieri, L., Schumann, M., Pelliccia, L., Di Gironimo, G., Klimant, P.	Coupling of a Redundant Manipulator with a Virtual Reality Environment to Enhance Human-robot Cooperation	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.06.056
101	Simões, B., De Amicis, R., Barandjarian, I., Posada, J.	Cross reality to enhance worker cognition in industrial assembly operations	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03939-0
102	Bostelman, R., Messina, E., Foufou, S.	Cross-industry standard test method developments: from manufacturing to wearable robots	2017	Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering	10.1631/FITEE.1601316
103	Horvath, L.	Cyber Physical System in Context with System Level Engineering Model	2019	IEEE International Symposium on Industrial Electronics	10.1109/ISIE.2019.8781553
104	Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., Zogopoulos, V.	Cyber-Physical Systems and Education 4.0 -The Teaching Factory 4.0 Concept	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.04.005
105	Giusti, F., Bevilacqua, M., Tedeschi, S., Emmanouilidis, C.	Data analytics and production efficiency evaluation on a flexible manufacturing cell	2018	EMTC 2018 - 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference: Discovering New Horizons in Instrumentation and Measurement, Proceedings	10.1109/EMTC.2018.8409677
106	Wang, P., Liu, H., Wang, L., Gao, R.X.	Deep learning-based human motion recognition for predictive context-aware human-robot collaboration	2018	CIRP Annals	10.1016/j.cirp.2018.04.066
107	Jayaweera, M., Wijesooriya, L., Wijewardana, D., De Silva, T., Gamage, C.	Demo abstract: Enhanced real-time machine inspection with mobile augmented reality for maintenance and repair	2017	Proceedings - 2017 IEEE/ACM 2nd International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation, IoTDI2017 (part of CPS Week)	10.1145/3054977.3057302
108	Francés, L., Morer, P., Rodríguez, M.I., Cazón, A.	Design and development of a low-cost wearable glove to track forces exerted by workers in car assembly lines	2019	Sensors (Switzerland)	10.3390/s19020296
109	Zhang, Y., Kwok, T.-H.	Design and Interaction Interface using Augmented Reality for Smart Manufacturing	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.07.140

110	Makrini, I.E., Merckaert, K., Lefeber, D., Vanderborgh, B.	Design of a collaborative architecture for human-robot assembly tasks	2017	IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems	10.1109/ROS.2017.8205971
111	Matsas, E., Vosniakos, G.-C.	Design of a virtual reality training system for human-robot collaboration in manufacturing tasks	2017	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-015-0259-2
112	Schlagowski, R., Merkel, L., Meitingner, C.	Design of an assistant system for industrial maintenance tasks and implementation of a prototype using augmented reality	2018	IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management	10.1109/IEEM.2017.8289899
113	Hansen, C., Gosselin, F., Ben Mansour, K., Devos, P., Marin, F.	Design-validation of a hand exoskeleton using musculoskeletal modeling	2018	Applied Ergonomics	10.1016/j.apergo.2017.11.015
114	Palmarini, R., Del Amo, I.F., Bertolino, G., Dini, G., Erkoyuncu, J.A., Roy, R., Farnsworth, M.	Designing an AR interface to improve trust in Human-Robots collaboration	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.01.009
115	Pacaux-Lemoine, M.-P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., Milot, P.	Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach	2017	Computers and Industrial Engineering	10.1016/j.cie.2017.05.014
116	Merkel, L., Berger, C., Braunreuther, S., Reinhart, G.	Determination of cognitive assistance functions for manual assembly systems	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94619-1_19
117	Liao, Y.-T., Kodama, K., Ishioaka, T., Lee, H.-H., Tanaka, E.	Development and evaluation of a worker-wear assistance suit with the adjustable and concealable elastic structure for the manual handling workers	2018	IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM	10.1109/AIM.2018.8452380
118	Vignali, G., Bottani, E., Guareschi, N., Donato, L.D., Ferraro, A., Pirozzi, M., Tomassini, L., Longo, F.	Development of a 4.0 industry application for increasing occupational safety: Guidelines for a correct approach	2019	Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019	10.1109/ICE.2019.8792814
119	Tran, N.-H., Park, H.-S., Nguyen, Q.-V., Hoang, T.-D.	Development of a smart cyber-physical manufacturing system in the Industry 4.0 context	2019	Applied Sciences (Switzerland)	10.3390/app9163325
120	Al-Ahmari, A.M., Abidi, M.H., Ahmad, A., Darmoul, S.	Development of a virtual manufacturing assembly simulation system	2016	Advances in Mechanical Engineering	10.1177/1687814016639824
121	Pang, G., Deng, J., Wang, F., Zhang, J., Pang, Z., Yang, G.	Development of flexible robot skin for safe and natural human-robot collaboration	2018	Micro machines	10.3390/mi9110576
122	González, N.A.A.	Development of spatial skills with virtual reality and augmented reality	2018	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-017-0388-x
123	Gong, L., Berglund, J., Fast-Berglund, Å., Johansson, B., Wang, Z., Börjesson, T.	Development of virtual reality support to factory layout planning	2019	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-019-00538-x
124	Keller, T., Metternich, J.	Digital assistance in production environments	2017	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111804
125	Merkel, L., Schultz, C., Braunreuther, S., Reinhart, G.	Digital assistance systems for picking applications.	2016	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111604
126	Baskaran, S., Niaki, F.A., Tomaszewski, M., Gill, J.S., Chen, Y., Jia, Y., Mears, L., Krovi, V.	Digital human and robot simulation in automotive assembly using siemens process simulate: A feasibility study	2019	Procedia Manufacturing	10.1016/j.profmfg.2019.06.097
127	Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., Baudry, D.	Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations	2019	Production and Manufacturing Research	10.1080/21693277.2019.1660283
128	Bilberg, A., Malik, A.A.	Digital twin driven human-robot collaborative assembly	2019	CIRP Annals	10.1016/j.cirp.2019.04.011
129	Tao, F., Qi, Q., Wang, L., Nee, A.Y.C.	Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison	2019	Engineering	10.1016/j.eng.2019.01.014
130	Merhar, L., Berger, C., Braunreuther, S., Reinhart, G.	Digitization of manufacturing companies: Employee acceptance towards mobile and wearable devices	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94619-1_18
131	Niebuhr, C.A., Vick, A.	Distributed real-time control service framework for human-robot interaction applications	2016	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2016.7733514
132	Otto, M., Prieur, M., Agethen, P., Rukzio, E.	Dual Reality for Production Verification Workshops: A Comprehensive Set of Virtual Methods	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.02.140
133	Araiza-Illan, D., De San Bernabe Clemente, A.	Dynamic Regions to Enhance Safety in Human-Robot Interactions	2018	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2018.8502453
134	Richert, A., Shehadeh, M., Plummanns, L., Gros, K., Schuster, K., Jeschke, S.	Educating engineers for industry 4.0: Virtual worlds and human-robot-teams: Empirical studies towards a new educational age	2016	IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON	10.1109/EDUCON.2016.7474545
135	Brizzi, F., Peppoloni, L., Graziano, A., Di Stefano, E., Avizzano, C.A., Ruffaldi, E.	Effects of Augmented Reality on the Performance of Teleoperated Industrial Assembly Tasks in a Robotic Embodiment	2018	IEEE Transactions on Human-Machine Systems	10.1109/THMS.2017.2782490
136	Kerpen, D., Lohrer, M., Saggiamo, M., Kemper, M., Lemm, J., Gloy, Y.-S.	Effects of cyber-physical production systems on human factors in a weaving mill: Implementation of digital working environments based on augmented reality	2016	Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology	10.1109/ICIT.2016.7475092
137	Koppenborg, M., Nickel, P., Naber, B., Lungfiel, A., Huelke, M.	Effects of movement speed and predictability in human-robot collaboration	2017	Human Factors and Ergonomics In Manufacturing	10.1002/hfm.20703
138	Wu, F., Tang, X., Yang, W., Yoshimichi, E., Wu, Q., Ren, Y., Ohara, T., Takahashi, S., Wu, J.	Effects of spatial frequency on audiovisual integration for communication between human and robot	2016	2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, IEEE ICMA 2016	10.1109/ICMA.2016.7558872

139	Kubenke, J.C., Kunz, A.	Efficient motion analysis of IT support for information retrieval at manual workplaces	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.02.049
140	Jacobs, J.V., Hettinger, L.J., Huang, Y.-H., Jeffries, S., Lesch, M.F., Simmons, L.A., Verma, S.K., Willetts, J.L.	Employee acceptance of wearable technology in the workplace	2019	Applied Ergonomics	10.1016/j.apergo.2019.03.003
141	Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekeur, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Linaasu, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., Walter, T.	Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions	2020	Computers and Industrial Engineering	10.1016/j.cie.2019.01.052
142	Costa, D., Pires, F., Rodrigues, N., Barbosa, J., Igrejas, G., Leitao, P.	Empowering humans in a cyber-physical production system: Human-in-the-loop perspective	2019	Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems, ICPS 2019	10.1109/ICPHYS.2019.8780138
143	Michalakoudis, I., Aurisicchio, M., Childs, P., Koutlidis, A., Harding, J.	Empowering manufacturing personnel through functional understanding	2018	Production Planning and Control	10.1080/09537287.2018.1455995
144	Hannola, L., Richter, A., Richter, S., Stocker, A.	Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes—a conceptual framework	2018	International Journal of Production Research	10.1080/00207543.2018.1445877
145	Havle, C.A., Ucler, C.	Enablers for Industry 4.0	2018	ISMSIT 2018 - 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Proceedings	10.1109/ISMSIT.2018.8567293
146	Guhl, J., Hgile, J., Krüger, J.	Enabling human-robot-interaction via virtual and augmented reality in distributed control systems	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.01.029
147	Fischer, C., Lušić, M., Faltus, F., Hornfeck, R., Franke, J.	Enabling Live Data Controlled Manual Assembly Processes by Worker Information System and Nearfield Localization System	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.08.013
148	Grendel, H., Larek, R., Riedel, F., Wagner, J.C.	Enabling manual assembly and integration of aerospace structures for Industry 4.0 - Methods	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.11.004
149	Ruppert, T., Jaskó, S., Holczinger, T., Abonyi, J.	Enabling technologies for operator 4.0: A survey	2018	Applied Sciences (Switzerland)	10.3390/app8091650
150	Emmanouilidis, C., Pistofigis, P., Bertonecĳ, L., Katsouras, V., Fournaris, A., Koulamas, C., Ruiz-Carcel, C.	Enabling the human in the loop: Linked data and knowledge in industrial cyber-physical systems	2019	Annual Reviews in Control	10.1016/j.arcontrol.2019.03.004
151	Pirvu, B.-C., Zamfirescu, C.-B., Gorecky, D.	Engineering insights from an anthropocentric cyber-physical system: A case study for an assembly station	2016	Mechatronics	10.1016/j.mechatronics.2015.08.010
152	Wang, X., Yew, A.W.W., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.	Enhancing smart shop floor management with ubiquitous augmented reality	2019	International Journal of Production Research	10.1080/00207543.2019.1629667
153	DelFabro, E., Santarossa, D.	Ergonomic Analysis in Manufacturing Process. A Real Time Approach	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.12.056
154	Maurice, P., Allienne, L., Malaise, A., Ivaldi, S.	Ethical and Social Considerations for the Introduction of Human-Centered Technologies at Work	2019	Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, ARSO	10.1109/ARSO.2018.8625830
155	Dodoo, E.R., Hill, B., Garcia, A., Kohl, A., MacAllister, A., Schlueter, J., Winer, E.	Evaluating commodity hardware and software for virtual reality assembly training	2018	IS and T International Symposium on Electronic Imaging Science and Technology	10.2352/ISSN.2470-1173.2018.03.ERVR-468
156	Uva, A.E., Gattullo, M., Manghisi, V.M., Spagnolo, D., Cascella, G.L., Fiorentino, M.	Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations	2018	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-017-0846-4
157	Hoedt, S., Claeys, A., Van Landeghem, H., Cottyn, J.	Evaluation Framework for Virtual Training within Mixed-Mode Manual Assembly	2016	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2016.07.614
158	Mirauer, N., Gehrlacher, S.	Evaluation of Order Picking Processes Regarding the Suitability of Smart Glasses-Based Assistance Using Rasmussen's Skills-Rules-Knowledge Framework	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94196-7_2
159	Constantinescu, C., Popescu, D., Muresan, P.-C., Stana, S.-I.	Exoskeleton-centered Process Optimization in Advanced Factory Environments	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.12.051
160	Hayat, A., Shan, M.	Fall detection system for labour safety	2018	ICEAST 2018 - 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology: Exploring Innovative Solutions for Smart Society	10.1109/ICEAST.2018.8434476
161	Stefania, S., Danila, G., Fabrizio, S., Ghibaud, L.	FCA ergonomics proactive approach in developing new cars: Virtual simulations and physical validation	2017	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-41627-4_6
162	Burow, K., Hribernik, K., Thoben, K.-D.	First Steps for a 5G-Ready Service in Cloud Manufacturing	2018	2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings	10.1109/ICE.2018.8436312
163	Darvish, K., Wanderlingh, F., Bruno, B., Simetti, E., Mastrogiovanni, F., Casalino, G.	Flexible human-robot cooperation models for assisted shop-floor tasks	2018	Mechatronics	10.1016/j.mechatronics.2018.03.006

164	Malik, A.A., Bilberg, A.	Framework to implement collaborative robots in manual assembly: A lean automation approach	2017	Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium	10.2507/28th.daaam.proceedings.160
165	Radinger, T., Stuja, K., Wöfel, W., Markl, E.	Functional safety concept for a handling robot built on optical systems	2017	Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium	10.2507/28th.daaam.proceedings.022
166	Muxfeldt, A., Steil, J.	Fusion of Human Demonstrations for Automatic Recovery during Industrial Assembly	2018	IEEE International Conference on Automation Science and Engineering	10.1109/COASE.2018.8560388
167	Becker, T., Stern, H.	Future Trends in Human Work area Design for Cyber-Physical Production Systems	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.11.070
168	Horváth, G., Erdos, G.	Gesture Control of Cyber Physical Systems	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2017.03.312
169	Neto, P., Simão, M., Mendes, N., Safeea, M.	Gesture-based human-robot interaction for human assistance in manufacturing	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-018-2788-x
170	Li, J.R., Xu, Y.H., Ni, J.L., Wang, Q.H.	Glove-based virtual hand grasping for virtual mechanical assembly	2016	Assembly Automation	10.1108/AA-01-2016-002
171	Arndt, A., Auth, C., Anderl, R.	Guideline for the implementation of human-oriented assistance systems in smart factories	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-60474-9_8
172	Peruzzini, M., Grandi, F., Pellicciari, M.	How to analyse the workers' experience in integrated product-process design	2018	Journal of Industrial Information Integration	10.1016/j.jii.2018.06.002
173	Malik, A.A., Bilberg, A.	Human centered lean automation in assembly	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.172
174	Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, N., Pilati, F.	Human Factor Analyser for work measurement of manual manufacturing and assembly processes	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03570-z
175	Papcun, P., Kajati, E., Koziorek, J.	Human machine interface in concept of industry 4.0	2018	DISA 2018 - IEEE World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines, Proceedings	10.1109/DISA.2018.8490603
176	Hansen, D.S., Jespersen, S., Bram, M.V., Yang, Z.	Human machine interface prototyping and application for advanced control of offshore topside separation processes	2018	Proceedings: IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	10.1109/IECON.2018.8591309
177	Caputo, F., D'Amato, E., Greco, A., Notaro, L., Spada, S.	Human posture tracking system for industrial process design and assessment	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-73888-8_70
178	Sag giamo, M., Loehter, M., Kerpen, D., Lemm, J., Gloy, Y.-S.	Human-and task-centered assistance systems in production processes of the textile industry: determination of operator-critical weaving machine components for AR-prototype development	2016	Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences	10.1109/HICSS.2016.76
179	Reis, J., Pinto, R., Goncalves, G.	Human-centered application using cyber-physical production system	2017	Proceedings IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	10.1109/IECON.2017.8217517
180	Ansari, F., Hold, P., Sihn, W.	Human-Centered Cyber Physical Production System: How Does Industry 4.0 impact on Decision-Making Tasks?	2018	2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2018	10.1109/TEMSCON.2018.8488409
181	Nelles, J., Kuz, S., Mertens, A., Schlick, C.M.	Human-centered design of assistance systems for production planning and control: The role of the human in Industry 4.0	2016	Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology	10.1109/ICIT.2016.7475093
182	Dombrowski, U., Renneemann, T., Wullbrandt, J., Schwarze, W., Denkowski, A.	Human-centered introduction of smart devices in production and logistics	2019	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.112043
183	Chen, X., Bojko, M., Riedel, R., Apostolakis, K.C., Zarpalas, D., Daras, P.	Human-centred Adaptation and Task Distribution utilizing Levels of Automation	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.234
184	Wittenberg, C.	Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0	2016	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2016.10.602
185	Larsson, M., Yoshida, H., Igarashi, T.	Human-in-the-loop fabrication of 3D surfaces with natural tree branches	2019	Proceedings: SCF 2019 - ACM Symposium on Computational Fabrication	10.1145/3328939.3329000
186	de Giorgio, A., Romero, M., Onori, M., Wang, L.	Human-machine Collaboration in Virtual Reality for Adaptive Production Engineering	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.pro mfg.2017.07.255
187	Martinsen, K., Downey, J., Baturynska, I.	Human-Machine Interface for Artificial Neural Network Based Machine Tool Process Monitoring	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.10.009
188	Dagalakis, N.G., Yoo, J.-M., Oeste, T.	Human-robot collaboration dynamic impact testing and calibration instrument for disposable robot safety artifacts	2016	Industrial Robot	10.1108/IR-06-2015-0125
189	Bochmann, L., Bänziger, T., Kunz, A., Wegener, K.	Human-robot Collaboration in Decentralized Manufacturing Systems: An Approach for Simulation-based Evaluation of Future Intelligent Production	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.06.021
190	Petruck, H., Faber, M., Giese, H., Geibel, M., Mostert, S., Usai, M., Mertens, A., Brandl, C.	Human-Robot Collaboration in Manual Assembly – A Collaborative Workplace	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96068-5_3
191	Tsarouchi, P., Makris, S., Chryssolouris, G.	Human-robot interaction review and challenges on task planning and programming	2016	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	10.1080/0951192X.2015.1130251
192	Ponmani, K., Sridharan, S.	Human-robot interaction using three-dimensional gestures	2018	Lecture Notes in Electrical Engineering	10.1007/978-981-10-8575-8_8
193	Sciutti, A., Mara, M., Tagliasco, V., Sandini, G.	Humanizing human-robot interaction: On the importance of mutual understanding	2018	IEEE Technology and Society Magazine	10.1109/MTS.2018.2795095
194	Willeke, S., Kasselmann, S.	Implementation of interactive assistance systems by maturity models	2016	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111625
195	Rückert, P., Wohlfromm, L., Tracht, K.	Implementation of virtual reality systems for simulation of human-robot collaboration	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.pro mfg.2018.01.023
196	Fischer, J., Pantforder, D., Vogel-Heuser, B.	Improvement of maintenance through speech interaction in cyber-physical production systems	2017	Proceedings - 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2017	10.1109/INDIN.2017.8104787

197	Caputo, F., Greco, A., D'Amato, E., Notaro, I., Spada, S.	Imu-based motion capture wearable system for ergonomic assessment in industrial environment	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94619-1_21
198	Ivaschenko, A., Milutkin, M., Sitnikov, P.	Industrial application of accented visualization based on augmented reality	2019	Conference of Open Innovation Association, FRUCT	10.23919/FRUCT.2019.8711981
199	Lorenz, M., Knopp, S., Kimant, P.	Industrial Augmented Reality: Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System	2018	Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018	10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00055
200	Stadler, S., Mirmig, N., Giuliani, M., Tscheligi, M., Materna, Z., Kapinus, M.	Industrial human-robot interaction: Creating personas for augmented reality supported robot control and teaching	2017	ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction	10.1145/3029798.3038365
201	Pérez, L., Diez, E., Usamentiaga, R., García, D.F.	Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces	2019	Computers in Industry	10.1016/j.compind.2019.05.001
202	Larek, R., Grendel, H., Wagner, J.C., Riedel, F.	Industry 4.0 in manual assembly processes - A concept for real time production steering and decision making	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.02.038
203	Kim, S., Nussbaum, M.A., Gabbard, J.L.	Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking	2019	Applied Ergonomics	10.1016/j.apergo.2018.08.026
204	Greco, A., Muoio, M., Lamberti, M., Gerbino, S., Caputo, F., Miraglia, N.	Integrated wearable devices for evaluating the biomechanical overload in manufacturing	2019	2019 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2019 - Proceedings	10.1109/METRO4.2019.8792868
205	Loch, F., Ziegler, U., Vogel-Heuser, B.	Integrating Haptic Interaction into a Virtual Training System for Manual Procedures in Industrial Environments	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.235
206	Daria, B., Martina, C., Alessandro, P., Fabio, S., Valentina, V., Zennaro, I.	Integrating mocap system and immersive reality for efficient human-centred workstation design	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.256
207	Oborski, P.	Integration of machine operators with shop floor control system for industry 4.0	2018	Management and Production Engineering Review	10.24425/119545
208	Yepez, P., Alsayed, B., Ahmad, R.	Intelligent assisted maintenance plan generation for corrective maintenance	2019	Manufacturing Letters	10.1016/j.mfglet.2019.06.004
209	Mättig, B., Döltgen, M., Archut, D., Kretschmer, V.	Intelligent work stress monitoring prevention of work-related stress with the help of physiological data measured by a sensor wristband	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-030-01057-7_90
210	Oestreich, H., Töniges, T., Wojtynek, M., Wrede, S.	Interactive Learning of Assembly Processes using Digital Assistance	2019	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2019.03.003
211	Dombrowski, U., Stefanak, T., Perret, J.	Interactive Simulation of Human-robot Collaboration Using a Force Feedback Device	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.210
212	Vergnano, A., Berselli, G., Pellicciari, M.	Interactive simulation-based-training tools for manufacturing systems operators: an industrial case study	2017	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-016-0367-7
213	Kodali, R.K., Yerroju, S., Krishna Yogi, B.Y.	IoT Based Wearable Device for Workers in Industrial Scenarios	2019	IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON	10.1109/TENCON.2018.8650187
214	Chowdhury, M., Maier, M.	Local and nonlocal human-to-robot task allocation in fiber-wireless multi-robot networks	2018	IEEE Systems Journal	10.1109/JSYST.2017.2661282
215	Tzimas, E., Vosniakos, G.-C., Matsas, E.	Machine tool setup instructions in the smart factory using augmented reality: a system construction perspective	2019	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-018-0470-z
216	Deac, G.C., Deac, C.N., Popa, C.L., Ghinea, M., Cotet, C.E.	Machine vision in manufacturing processes and the digital twin of manufacturing architectures	2017	Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium	10.2507/28th.daaam.proceedings.103
217	Cachada, A., Barbosa, J., Leitão, P., Geraides, C.A.S., Deusdado, L., Costa, J., Teixeira, C., Teixeira, J., Moreira, A.H.J., Moreira, P.M., Romero, L.	Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture	2018	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2018.8502489
218	Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Boli, N.	Maintenance assistance application of Engineering to Order manufacturing equipment: A Product Service System (PSS) approach	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.263
219	Jin, G., Sperandio, S., Girard, P.	Management of the design process: Human resource evaluation in factories of the future	2018	Concurrent Engineering Research and Applications	10.1177/1063293X18802888
220	Qeshmy, D.E., Makdisi, J., Da Silva, E.H.D.R., Angelisa, J.	Managing human errors: Augmented reality systems as a tool in the quality journey	2019	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.12.005
221	Cheng, H., Xu, W., Ai, Q., Liu, Q., Zhou, Z., Pham, D.T.	Manufacturing Capability Assessment for Human-Robot Collaborative Disassembly Based on Multi-Data Fusion	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.008
222	Dini, A., Murko, C., Yahyanejad, S., Augsdorfer, U., Hofbauer, M., Paletta, L.	Measurement and prediction of situation awareness in human-robot interaction based on a framework of probabilistic attention	2017	IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems	10.1109/ROSL.2017.8206301
223	Krugh, M., McGee, E., McGee, S., Mears, L., Ivanco, A., Podd, K.C., Watkins, B.	Measurement of Operator-machine Interaction on a Chaku-chaku Assembly Line	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.039
224	Vedant, R.M., Krugh, M., Mears, L.	Measuring finger engagement during manual assembly operations in automotive assembly	2019	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2019.06.095
225	Mattsson, S., Li, D., Fast-Berglund, Å., Gong, L.	Measuring operator emotion objectively at a complex final assembly station	2017	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-41691-5_19
226	Yang, L., Li, W., Duan, Y., Luo, Y., Yang, W.	Message Dissemination Methods for Implicit Human-Machine Interactions Based on Industrial Internet of Things	2018	Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering	10.3969/j.issn.1004-132X.2018.04.014
227	Ore, F., Hansson, L., Wiktorsson, M.	Method for Design of Human-industrial Robot Collaboration Workstations	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.112

228	Costa Mateus, J.E., Aghezzaf, E.-H., Claeys, D., Limère, V., Cottyn, J.	Method for transition from manual assembly to Human-Robot collaborative assembly	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.328
229	Kumar, A.	Methods and Materials for Smart Manufacturing: Additive Manufacturing, Internet of Things, Flexible Sensors and Soft Robotics	2018	Manufacturing Letters	10.1016/j.mfglet.2017.12.014
230	Aroui, K., Alpan, G., Frein, Y.	Minimising work overload in mixed-model assembly lines with different types of operators: a case study from the truck industry	2017	International Journal of Production Research	10.1080/00207543.2017.1346313
231	Juraschek, M., Büth, L., Posselt, G., Herrmann, C.	Mixed Reality in Learning Factories	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.04.009
232	Muñoz, A., Mahiques, X., Solanes, J.E., Martí, A., Gracia, L., Tornero, J.	Mixed reality-based user interface for quality control inspection of car body surfaces	2019	Journal of Manufacturing Systems	10.1016/j.jmsy.2019.08.004
233	Xiao, H., Duan, Y., Zhang, Z.	Mobile 3D assembly process information construction and transfer to the assembly station of complex products	2018	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	10.1080/0951192X.2017.1356470
234	Pukas, A., Smal, V., Voytyuk, I., Honchar, L., Hrytskiy, V., Maslyiak, B.	Mobile Application for Practical Skills Testing Based on Augmented Reality	2019	2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2019 - Proceedings	10.1109/ACIT.2019.8779879
235	Stier, J.	Mobile production planning and production control via app - in the digital factory, paper is replaced by tablets and smartphones	2016	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111524
236	Wang, Q., Jiao, W., Yu, R., Johnson, M.T., Zhang, Y.	Modeling of Human Welders' Operations in Virtual Reality Human-Robot Interaction	2019	IEEE Robotics and Automation Letters	10.1109/LRA.2019.2921928
237	Um, J., Popper, J., Ruskoowski, M.	Modular augmented reality platform for smart operator in production environment	2018	Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018	10.1109/ICPHYS.2018.8390796
238	Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., Regattieri, A.	Motion Analysis System for the digitalization and assessment of manual manufacturing and assembly processes	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.329
239	Jost, J., Kirks, T., Mattig, B.	Multi-agent systems for decentralized control and adaptive interaction between humans and machines for industrial environments	2017	2017 7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2017 - Proceedings	10.1109/ICSEngT.2017.8123427
240	Penas, O., Plateaux, R., Patalano, S., Hammadi, M.	Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems	2017	Computers in Industry	10.1016/j.compind.2016.12.001
241	Rahman, S.M.M., Wang, Y.	Mutual trust-based subtask allocation for human-robot collaboration in flexible lightweight assembly in manufacturing	2018	Mechatronics	10.1016/j.mechatronics.2018.07.007
242	Caputo, F., Greco, A., D'Amato, E., Notaro, I., Spada, S.	On the use of Virtual Reality for a human-centered workplace design	2018	Procedia Structural Integrity	10.1016/j.prostr.2017.12.031
243	Du, G., Chen, M., Liu, C., Zhang, B., Zhang, P.	Online robot teaching with natural human-robot interaction	2018	IEEE Transactions on Industrial Electronics	10.1109/TIE.2018.2823667
244	Roda-Sanchez, L., Garrido-Hidalgo, C., Hortelano, D., Olivares, T., Ruiz, M.C.	OperaBLE: An IoT-Based Wearable to Improve Efficiency and Smart Worker Care Services in Industry 4.0	2018	Journal of Sensors	10.1155/2018/6272793
245	Rødseth, H., Eleftheriadis, R., Logdgaard, E., Fordal, J.M.	Operator 4.0 – Emerging job categories in manufacturing	2019	Lecture Notes in Electrical Engineering	10.1007/978-981-13-2375-1_16
246	Casalino, A., Messeri, C., Pozzi, M., Zanchettin, A.M., Rocco, P., Prattichizzo, D.	Operator Awareness in Human-Robot Collaboration Through Wearable Vibrotactile Feedback	2018	IEEE Robotics and Automation Letters	10.1109/LRA.2018.2865034
247	Vogel-Heuser, B., Karaseva, V., Folmer, J., Kirchen, I.	Operator Knowledge Inclusion in Data-Mining Approaches for Product Quality Assurance using Cause-Effect Graphs	2017	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2017.08.233
248	Danielsson, O., Syberfeldt, A., Holm, M., Wang, L.	Operators perspective on augmented reality as a support tool in engine assembly	2018	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2018.03.153
249	Hold, P., Erol, S., Reisinger, G., Sihn, W.	Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.04.024
250	Rokni, S.A., Ghasemzadeh, H.	Plug-n-learn: Automatic learning of computational algorithms in human-centered internet-of-things applications	2016	Proceedings - Design Automation Conference	10.1145/2897937.2898066
251	Sorko, S.R., Brunnhofer, M.	Potentials of Augmented Reality in Training	2019	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2019.03.014
252	Alhama Blanco, P.J., Abu-Dakka, F.J., Abderrahim, M.	Practical use of robot manipulators as intelligent manufacturing systems	2018	Sensors (Switzerland)	10.3390/s18092877
253	Türk, M., Resman, M., Heraković, N.	Preparation of Papers for IFAC Conferences & Symposia: Computer-aided Processing of Manual Assembly Operations with Integration of Simulation Tools in Production Processes	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.04.014
254	Bartos, A., Bertok, B.	Production line balancing by P-graphs	2019	Optimization and Engineering	10.1007/s11081-019-09462-1
255	Dohi, M., Okada, K., Maeda, I., Fujitani, S., Fujita, T.	Proposal of Collaboration Safety in a Coexistence Environment of Human and Robots	2018	Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation	10.1109/ICRA.2018.8460869
256	Gullà, F., Menghi, R., Papetti, A., Carulli, M., Bordegnoni, M., Gaggioli, A., Germani, M.	Prototyping adaptive systems in smart environments using virtual reality	2019	International Journal on Interactive Design and Manufacturing	10.1007/s12008-018-00522-x
257	Matsas, E., Vosniakos, G.-C., Batras, D.	Prototyping proactive and adaptive techniques for human-robot collaboration in manufacturing using virtual reality	2018	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2017.09.005

258	Antonelli, D., Astanin, S.	Qualification of a Collaborative Human-robot Welding Cell	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2015.12.036
259	Faccio, M., Ferrari, E., Galizia, F.G., Gamberi, M., Pilati, F.	Real-time assistance to manual assembly through depth camera and visual feedback	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.303
260	Kröger, A., Vierfuß, R.	Real-time worker assistance system for manual assembly 4.0	2016	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111512
261	Robertson, T., Bischof, J., Geyman, M., Lise, E.	Reducing Maintenance Error with Wearable Technology	2018	Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium	10.1109/RAM.2018.8463068
262	Zeidler, F., Bayhan, H., Venkatapathy, A.K.R., Hompel, M.T.	Reference field for research and development of novel hybrid forms of human machine interaction in logistics	2017	Logistics Journal	10.2195/lj_Proc_zeidler_de_201710_01
263	Wilke, A., Magenheimer, J.	Requirements analysis for the design of workplace-integrated learning scenarios with mobile devices: Mapping the territory for learning in industry 4.0	2017	IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON	10.1109/EDUCON.2017.7942890
264	Birtel, M., Mohr, F., Hermann, J., Bertram, P., Ruskowski, M.	Requirements for a Human-Centered Condition Monitoring in Modular Production Environments	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.464
265	Dessureault, S.	Rethinking Fleet and Personnel Management in the Era of IoT, Big Data, Gamification, and Low-Cost Tablet Technology	2019	Mining, Metallurgy and Exploration	10.1007/s42461-019-0073-7
266	Walker, M.E., Hedayati, H., Szafir, D.	Robot Teleoperation with Augmented Reality Virtual Surrogates	2019	ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction	10.1109/HRI.2019.8673306
267	Mao, H., Peng, L., Liu, Z., Zhen, Y., Kurwa, M.	Robots collaboration for wearable products lifetime testing	2016	Industrial Robot	10.1108/IR-01-2016-0043
268	Akácser, V., Cruz-Machado, V.	Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems	2019	Engineering Science and Technology, an International Journal	10.1016/j.jestech.2019.01.006
269	Michalos, G., Kousi, N., Karagiannis, P., Gkourellos, C., Dimoulas, K., Koukas, S., Mparis, K., Papavasileiou, A., Makris, S.	Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study	2018	Mechatronics	10.1016/j.mechatronics.2018.08.006
270	Huy, D.Q., Vietcheslav, I., Gerald, S.G.L.	See-through and spatial augmented reality - A novel framework for human-robot interaction	2017	2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2017	10.1109/ICCAR.2017.7942791
271	Guo, M., Wang, Z.	Segmentation and recognition of human motion sequences using wearable inertial sensors	2018	Multimedia Tools and Applications	10.1007/s11042-017-5573-1
272	Arena, D., Kiritsis, D., Ziogou, C., Voutetakis, S.	Semantics-driven knowledge representation for decision support and status awareness at process plant floors	2018	2018 International Conference on Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings	10.1109/ICE.2017.8279979
273	Mukhametshin, S., Makhmutova, A., Anikin, I.	Sensor tag detection, tracking and recognition for AR application	2019	2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019	10.1109/ICIEAM.2019.8743017
274	Yin, X., Fan, X., Gu, Y., Wang, J.	Sequential dynamic gesture recognition controlled poka-yoke system for manual assembly	2017	Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS	10.13196/j.cims.2017.07.011
275	Martins, A., Costelha, H., Neves, C.	Shop Floor Virtualization and Industry 4.0	2019	19th IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, ICARSC 2019	10.1109/ICARSC.2019.8733657
276	Noor Hasnan, N.Z., Yusoff, Y.M.	Short review: Application Areas of Industry 4.0 Technologies in Food Processing Sector	2018	IEEE 16th Student Conference on Research and Development, SCOREd 2018	10.1109/SCORED.2018.8711184
277	Süto, S., Forgó, Z., Tolvaly-Roşca, F.	Simulation Based Human-robot Co-working	2017	Procedia Engineering	10.1016/j.proeng.2017.02.425
278	Dombrowski, U., Stefanak, T., Reimer, A.	Simulation of human-robot collaboration by means of power and force limiting	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.10.028
279	Bobka, P., Germann, T., Heyn, J.K., Gerbers, R., Dietrich, F., Dröder, K.	Simulation Platform to Investigate Safe Operation of Human-Robot Collaboration Systems	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.01.199
280	Caputo, F., Greco, A., Fera, M., Caiazzo, G., Spada, S.	Simulation techniques for ergonomic performance evaluation of manual workplaces during preliminary design phase	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96077-7_18
281	Meißner, D.-W.J.J., Schmatz, M.S.F., Beuß, D.-I.F., Sender, D.-W.J.J., Flügge, P.D.-I.W., Gorr, D.-K.E.	Smart Human-Robot-Collaboration in Mechanical Joining Processes	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.06.029
282	Erasmus, J., Grefen, P., Vanderfeesten, L., Tragano, K.	Smart hybrid manufacturing control using cloud computing and the internet-of-things	2018	Machines	10.3390/MACHINES6040062
283	Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A.	Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context	2017	Computers and Industrial Engineering	10.1016/j.cie.2017.09.016
284	Kretschmer, V., Plewan, T., Rinckenauer, G., Maettig, B.	Smart palletisation: Cognitive ergonomics in augmented reality based palletising	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-73888-8_55
285	Zabalza, J., Fei, Z., Wong, C., Yan, Y., Mimeo, C., Yang, E., Rodden, T., Mehnen, J., Pham, Q.-C., Ren, J.	Smart sensing and adaptive reasoning for enabling industrial robots with interactive human-robot capabilities in dynamic environments—a case study	2019	Sensors (Switzerland)	10.3390/s19061354
286	Richert, A., Shehadeh, M.A., Müller, S.L., Schröder, S., Jeschke, S.	Socializing with robots: Human-robot interactions within a virtual environment	2016	Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, ARSO	10.1109/ARSO.2016.7736255
287	Mengoni, M., Ceccacci, S., Generosi, A., Leopardi, A.	Spatial Augmented Reality: An application for human work in smart manufacturing environment	2018	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2018.10.072

288	Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., Brewster, R.L.	Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future - Operators' Perspective on Augmented Reality	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.02.017
289	Villani, V., Pini, F., Leali, F., Secchi, C., Fantuzzi, C.	Survey on Human-Robot Interaction for Robot Programming in Industrial Applications	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.236
290	Gallala, A., Hchri, B., Plapper, P.	Survey: The Evolution of the Usage of Augmented Reality in Industry 4.0	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	10.1088/1757-899X/521/1/012017
291	Ardanza, A., Moreno, A., Segura, Á., de la Cruz, M., Aguinaga, D.	Sustainable and flexible industrial human machine interfaces to support adaptable applications in the Industry 4.0 paradigm	2019	International Journal of Production Research	10.1080/00207543.2019.1572932
292	Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.A.	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	2018	Process Safety and Environmental Protection	10.1016/j.psep.2018.05.009
293	Yin, X., Fan, X., Zhu, W., Liu, R.	Synchronous AR assembly assistance and monitoring system based on ego-centric vision	2019	Assembly Automation	10.1108/AA-03-2017-032
294	Uzunovic, T., Golubovic, E., Tucakovic, Z., Acikmese, Y., Sabanovic, A.	Task-based control and human activity recognition for human-robot collaboration	2018	Proceedings: IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	10.1109/IECON.2018.8591206
295	Pelliccia, L., Klimant, F., De Santis, A., Di Gironimo, G., Lanzotti, A., Tarallo, A., Putz, M., Klimant, P.	Task-based Motion Control of Digital Humans for Industrial Applications	2017	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.06.057
296	Turovets, Y., Vishnevskiy, K., Tokareva, M., Kukushkin, K.	Technology foresight for digital manufacturing: Russian case	2019	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	10.1088/1757-899X/497/1/012062
297	Garretson, IC., Mani, M., Leong, S., Lyons, K.W., Hrapala, K.R.	Terminology to support manufacturing process characterization and assessment for sustainable production	2016	Journal of Cleaner Production	10.1016/j.jclepro.2016.08.103
298	Peruzzini, M., Carassai, S., Pellicciari, M.	The Benefits of Human-centred Design in Industrial Practices: Re-design of Workstations in Pipe Industry	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.07.251
299	Tamaazousti, M., Naudet-Collette, S., Gay-Bellile, V., Bourgeois, S., Besbes, B., Dhome, M.	The constrained SLAM framework for non-instrumented augmented reality: Application to industrial training	2016	Multimedia Tools and Applications	10.1007/s11042-015-2968-8
300	Oyekan, J.O., Hutabarat, W., Tiwari, A., Grech, R., Aung, M.H., Mariani, M.P., López-Dávalos, L., Ricaud, T., Singh, S., Dupuis, C.	The effectiveness of virtual environments in developing collaborative strategies between industrial robots and humans	2019	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2018.07.006
301	Pankok, C., Zahabi, M., Zhang, W., Choi, I., Liao, Y.-F., Nam, C.S., Kaber, D.	The effects of interruption similarity and complexity on performance in a simulated visual-manual assembly operation	2017	Applied Ergonomics	10.1016/j.apergo.2016.08.022
302	De Moura, D.Y., Sadagic, A.	The effects of stereopsis and immersion on bimanual assembly tasks in a virtual reality system	2019	26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings	10.1109/VR.2019.8798112
303	Hoedt, S., Claeys, A., Van Landeghem, H., Cottyn, J.	The evaluation of an elementary virtual training system for manual assembly	2017	International Journal of Production Research	10.1080/00207543.2017.1374572
304	Osterrieder, P., Budde, L., Friedli, T.	The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review	2019	International Journal of Production Economics	10.1016/j.ijpe.2019.08.011
305	Cozzolino, V., Moroz, O., Ding, A.Y.	The virtual factory: Hologram-enabled control and monitoring of industrial iot devices	2019	Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality, AIVR 2018	10.1109/AIVR.2018.00024
306	Preto, S., Gomes, C.C.	Three times smart – Smart workplaces, smart lighting & smart glass	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-60525-8_45
307	Yew, A.W.W., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.	Towards a gridable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces	2016	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	10.1016/j.rcim.2015.12.002
308	Wächter, M., Hoffmann, H., Bullinger, A.C.	Towards an Engineering Process to Design Usable Tangible Human-Machine Interfaces	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96068-5_15
309	Kammerer, K., Pryss, R., Sommer, K., Reichert, M.	Towards context-aware process guidance in cyber-physical systems with augmented reality	2018	Proceedings - 2018 4th International Workshop on Requirements Engineering for Self-Adaptive, Collaborative, and Cyber Physical Systems, RESACS 2018	10.1109/RESACS.2018.00013
310	Pacaux-Lemoine, M.-P., Berdal, Q., Enjalbert, S., Trentesaux, D.	Towards human-based industrial cyber-physical systems	2018	Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018	10.1109/ICPHYS.2018.8390776
311	Villani, V., Sabattini, L., Czerniak, J.N., Mertens, A., Vogel-Heuser, B., Fantuzzi, C.	Towards modern inclusive factories: A methodology for the development of smart adaptive human-machine interfaces	2017	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2017.8247634
312	Papanastasiou, S., Kousi, N., Karagiannis, P., Gkourmelos, C., Papavasileiou, A., Dimoulas, K., Baris, K., Koukas, S., Michalos, G., Makris, S.	Towards seamless human robot collaboration: integrating multimodal interaction	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10.1007/s00170-019-03790-3
313	Kutepnikov, D., Ishaev, O., Lebedev, V., Zenin, S.	Transformation of public relations in the conditions of technological revolutions: Technology and innovation	2019	International Journal of Recent Technology and Engineering	10.35940/ijrte.B2880.078219

314	Dirk, D., Gerrit, P., Sofie, A., Tine, D.L., Cindy, G., Kristel, K., Karine, E., Marie- Noëlle, S.	Two user-friendly digital tools for multidimensional risk assessment among workers with display screen equipment	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96077-7_48
315	Restrepo-Zapata, J., Gallego-Duque, C., Marquez-Viloria, D., Botero-Valencia, J.	Two-degree adjustable exoskeleton for assistance of the human arm using a mechanical system of fast assembly and upgradability	2017	International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems	10.21307/ijssis-2017-221
316	Gopinath, V., Johansen, K.	Understanding situational and mode awareness for safe human-robot collaboration: case studies on assembly applications	2019	Production Engineering	10.1007/s11740-018-0868-2
317	Simões, B., Álvarez, H., Segura, A., Barandiaran, I.	Unlocking Augmented Interactions in Short-Lived Assembly Tasks	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-94120-2_26
318	Aromaa, S., Linasuo, M., Kaasinen, E., Bojko, M., Schmalfuß, F., Apostolakis, K.C., Zarpalas, D., Daras, P., Öztürk, C., Boubekuer, M.	User Evaluation of Industry 4.0 Concepts for Worker Engagement	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-030-02053-8_6
319	Deac, C.N., Deac, G.C., Popa, C.L., Ghinea, M., Cotet, C.E.	Using augmented reality in smartmanufacturing	2017	Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium	10.2507/28th.daaam.proceedings.102
320	Aleksy, M., Schmitt, J.	Utilizing augmented reality and wearables in industrial applications	2017	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-61542-4_13
321	Randeniya, N., Ranjha, S., Kulkarni, A., Lu, G.	Virtual Reality Based Maintenance Training Effectiveness Measures - A Novel Approach for Rail Industry	2019	IEEE International Symposium on Industrial Electronics	10.1109/ISIE.2019.8781351
322	Dahl, M., Albo, A., Eriksson, J., Petterson, J., Falkman, P.	Virtual reality commissioning in production systems preparation	2017	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA	10.1109/ETFA.2017.8247581
323	Zywicki, K., Zawadzki, P., Górski, F.	Virtual reality production training system in the scope of intelligent factory	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-64465-3_43
324	Castro, P.R., Högberg, D., Ramsen, H., Bjursten, J., Hanson, L.	Virtual simulation of human-robot collaboration workstations	2019	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-96077-7_26
325	Herzog, V.N., Buchmeister, B., Beharic, A., Gajsek, B.	Visual and optometric issues with smart glasses in Industry 4.0 working environment	2018	Advances in Production Engineering And Management	10.14743/apem2018.4.300
326	Steenkamp, L.P., Hagedorn-Hansen, D., Oosthuizen, G.A.	Visual Management System to Manage Manufacturing Resources	2017	Procedia Manufacturing	10.1016/j.promfg.2017.02.058
327	Zhu, Z., Liu, C., Xu, X.	Visualisation of the digital twin data in manufacturing by using augmented reality	2019	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2019.03.223
328	Bauer, D., Wutzke, R., Bauernhansl, T.	Wear@Work-A New Approach for Data Acquisition Using Wearables	2016	Procedia CIRP	10.1016/j.procir.2016.04.121
329	Angrisani, L., Arpaia, P., Moccaldi, N., Esposito, A.	Wearable Augmented Reality and Brain Computer Interface to Improve Human-Robot Interactions in Smart Industry: A Feasibility Study for SSVEP Signals	2018	IEEE 4th International Forum on Research and Technologies for Society and Industry, RTSI 2018 - Proceedings	10.1109/RTSI2018.8548517
330	Plutz, M., Böckmann, M.G., Siebenkotten, P., Schmitt, R.	With smart glasses & co. For intelligent and employee-oriented factory	2016	ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	10.3139/104.111469
331	Löhrer, M., Ziesen, N., Altepost, A., Saggiamo, M., Gloy, Y.S.	Work process and task-based design of intelligent assistance systems in German textile industry	2017	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	10.1088/1757-899X/254/2/222006
332	Galaske, N., Arndt, A., Friedrich, H., Bettenhausen, K.D., Anderl, R.	Workforce management 4.0 - Assessment of human factors readiness towards digital manufacturing	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing	10.1007/978-3-319-60474-9_10
333	Robla-Gomez, S., Becerra, V.M., Llata, J.R., Gonzalez-Sarabia, E., Torre-Ferrero, C., Perez-Oria, J.	Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments	2017	IEEE Access	10.1109/ACCESS.2017.2773127
334	Cohen, Y., Golan, M., Singer, G., Faccio, M.	Workstation-Operator Interaction in 4.0 Era: WOI 4.0	2018	IFAC-PapersOnLine	10.1016/j.ifacol.2018.08.327
335	Budziszewski, P., Grabowski, A., Milanowicz, M., Jankowski, J.	Workstations for people with disabilities: an example of a virtual reality approach	2016	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	10.1080/10803548.2015.1131069

## G. Baustein 1, Werkzeug 1-2: Ergebnisse der bibliometrischen Analyse

Tabelle 8-6: Detaillierte Ergebnisse der bibliometrischen Analyse

Suchbegriff	Anzahl Dokumente	Suchtreffer über alle Dokumente	Suchtreffer pro Dokument	Häufigkeit in %
data	286	5.793	20,3	85,4
assembly	222	6.585	29,7	66,3
digital	200	1.724	8,6	62,7
intelligent	196	921	4,7	59,7
robot	178	7.844	44,1	58,5
augmented reality	174	2.201	12,6	53,1
industry 4.0	135	1.078	8,0	51,9
virtual reality	129	981	7,6	40,3
cyber physical systems	105	1.370	13,0	38,5
internet of things	99	1.045	10,6	31,3
human robot collaboration	90	1.269	14,1	29,6
decision-making	70	212	3,0	26,9
smart factory	66	337	5,1	20,9
human machine interaction	63	152	2,4	19,7
human machine interface	60	496	8,3	18,8
artificial intelligence	57	116	2,0	17,9
big data	54	244	4,5	17,0
rfid	45	258	5,7	16,1
app	33	98	3,0	15,5
worker assistanc	31	72	2,3	13,4
interoperability	30	94	3,1	10,4
qr	26	70	2,7	9,9
wearables	25	116	4,6	9,3
cloud manufacturing	21	76	3,6	9,0
predictive maintenance AND assembly	16	264	16,5	7,8
human machine collaboration	12	28	2,3	7,5
operator/worker safety	10	52	5,2	6,3
vertical integration	9	14	1,6	4,8
social media	8	9	1,1	3,6
horizontal integration	6	13	2,2	3,0
self-organization	5	6	1,2	2,7

## H. Baustein 1, Werkzeug 1-3: Bewertungskriterien der KOMPASS-Methode

Tabelle 8-7: KOMPASS-Bewertungskriterien nach GROTE ET AL. (1997) und GROTE ET AL. (2000)

<b>Ebene</b>	<b>Kriterium</b>	<b>Bedeutung</b>
Arbeitsystem (AS)	Vollständigkeit der Aufgabe des AS	Umfang der Produktbearbeitung; funktionale Integration; Grad der Produktionskomplexität
	Unabhängigkeit des AS	Puffer zwischen AS; Flexibilität im Arbeitsfluss; Ausmaß, in dem sich Schwankungen und Störungen aus anderen Bereichen auf das AS auswirken und umgekehrt
	Passung von Regulationserfordernissen und -möglichkeiten	Grad der Unsicherheit, mit dem ein AS konfrontiert ist; Möglichkeiten, dieser zu begegnen; Flexibilität in den Arbeitsformen
	Polyvalenz der Mitarbeiter	Ausmaß der Qualifikation verschiedener Mitarbeitenden in einer Gruppe des AS, gemessen an dem von ihnen beherrschten Aufgabenspektrum
	Autonomie der Produktionsgruppen	Grad an Mitbestimmung bei der Koordination, bei internen Personalangelegenheiten und Verbesserungen im AS
	Grenzregulation durch Vorgesetzte	Verhältnis von Abstimmung AS-interner Prozesse mit den Anforderungen aus der Systemumwelt, z. B. die Koordination mit vor-, nach- und übergeordneten Stellen
Arbeitsstätigkeit	Ganzheitlichkeit der individuellen Aufgabe	Umfang der Aufgabe inkl. vorbereitenden, planenden, ausführenden, kontrollierenden, nachbereitenden und störungsbehebenden Aufgabenanteilen
	Denk- und Planungserfordernisse	Komplexität der zur Aufgabenbewältigung erforderlichen kognitiven Prozesse hinsichtlich Arbeitsinhalt, -mitteln, -prozess und -ergebnissen
	Kommunikationserfordernisse	Ausmaß, in dem sich Ausführende abstimmen und das Arbeitshandeln koordinieren
	Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten	Möglichkeit, bestehende Qualifikationen zu nutzen und neue zu erwerben
	Anforderungsvielfalt	aufgabenbedingter Umgang mit unterschiedlichen Materialien, Produktionstechniken, Auftragsarten oder Kooperationspartnern
	Durchschaubarkeit der Arbeitsabläufe	Transparenz bzgl. der Einbettung der eigenen Aufgabe in vor- und nachgelagerte Arbeitsschritte
	Gestaltbarkeit der Arbeitsbedingungen	Möglichkeiten zur Beeinflussung von Aufträgen, Arbeitszeit, Arbeitsverteilung und Auftragszielen
	Zeitelastizität	Ausmaß der Einhaltung von außen festgesetzter Zeitpunkte und Fristen zur Aufgabenausführung; Zeitdruck
Mensch-Maschine-System (MMS)	Kopplung	Art und Ausmaß der Bindung an ein technisches System nach Zeit, Ort, Arbeitsverfahren und gefordertem kognitivem Aufwand
	Prozesstransparenz	Möglichkeit, mentale Modelle zum Arbeitsprozess aufzubauen; Prozessrückmeldung der Maschine
	Autorität	Verteilung der Entscheidungshoheit über Informationszugang und Beeinflussung der Prozessausführung zwischen Mensch und Technik
	Flexibilität	Veränderbarkeit der Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik und Aufteilung der diesbezüglichen Entscheidungshoheit; adaptierbares System = Autoritätsverteilung durch den Menschen, adaptives System = Autoritätsentscheidung durch die Technik

---

## I. Baustein 1, Werkzeug 1-3: Validierung der Arbeitsbewertungskriterien

Tabelle 8-8: Übersicht der befragten Personen

<b>Nr.</b>	<b>Position</b>	<b>Unternehmensbranche</b>	<b>Anzahl Angestellter</b>
1	Leitung Qualitätsmanagement und Prozessoptimierung	Elektronik	1.400
2	Industrial Engineering und Ergonomie	Automobil	60.000
3	Projektmanagement Fertigung	Elektronik	1.000
4	Geschäftsführung	IT	16
5	Leitung Industrial Engineering	Maschinenbau	400
6	Leitung eines Technologiefelds	Automobil	170

## J. Baustein 2, Werkzeug 2-1: Übersicht der verwendeten Literatur für die Recherche allgemeiner Anforderungen

Tabelle 8-9: Übersicht der berücksichtigten Literatur

Nr.	Autor	Titel	Art
1	SCHULER (2014)	Psychologische Personalauswahl. Eignungsdiagnostik für Personalentscheidungen und Berufsberatung	Fachbuch
2	BECKER (2013)	Personalentwicklung. Bildung, Förderung und Organisationsentwicklung in Theorie und Praxis	Fachbuch
3	BECKER (2011)	Systematische Personalentwicklung. Planung, Steuerung und Kontrolle im Funktionszyklus	Fachbuch
4	FUX (2005)	Persönlichkeit und Berufstätigkeit. Theorie und Instrumente von John Holland im deutschsprachigen Raum, unter Adaptation und Weiterentwicklung von Self-directed Search (SDS) und Position Classification Inventory (PCI)	Bericht
5	OBERMANN (2008)	Die Anwendung von Assessment Centern im deutschsprachigen Raum. Vorläufiger deskriptiver Ergebnisbericht zur AkAC-AC-Studie 2008	Studie
6	OBERMANN (2012)	Die Anwendung von Assessment Centern im deutschsprachigen Raum. Vorläufiger deskriptiver Ergebnisbericht zur AkAC-AC-Studie 2012	Studie
7	OBERMANN (2016)	Assessment Center-Praxis 2016. Vorläufiger deskriptiver Ergebnisbericht zur AkAC-AC-Studie 16	Studie
8	BARTRAM (2011)	The SHL Universal Competency Framework	Bericht
9	JOCHMANN (2013)	Status quo der Personalentwicklung – eine Bestandsaufnahme	Fachbuch
10	JOCHMANN (2017)	Der Schlüssel zum Unternehmen der Zukunft. Digitale Kompetenzen und Audits auf der Führungs- und Managementebene	Bericht
11	ROSENBERGER (2014)	Modernes Personalmanagement. Strategisch, operativ, systemisch	Fachbuch
12	ZECKRA (2014)	Strategieorientierte Personal- und Managemententwicklung in der Generali Deutschland Gruppe	Bericht
13	THURSTONE (1934)	The vectors of mind	Journal
14	KLÖTZL (1996)	Personalentwicklung	Fachbuch
15	LORENZ (2015)	Erfolgreiche Personalauswahl. Sicher, schnell und durchdacht	Fachbuch
16	LITZCKE (2003)	Psychologische Verfahren der Personalauswahl	Fachbuch
17	WEGERICHT (2015)	Strategische Personalentwicklung in der Praxis	Fachbuch
18	LEINWEBER (2013)	Kompetenzmanagement	Fachbuch
19	FALLGATTER (2013)	Personalbeurteilung	Fachbuch
20	GION-RÖCKELEIN (2013)	Nachhaltiges und ganzheitliches Kompetenzmanagement bei Merck	Bericht
21	WIEN (2013)	Systematische Personalentwicklung. 18 Strategien zur Implementierung eines erfolgreichen Personalentwicklungskonzepts	Fachbuch

## K. Baustein 2, Werkzeug 2-1: Bewertung und Rangfolge der allgemeinen Anforderungen

Tabelle 8-10: Ergebnisse der Bewertung allgemeiner Anforderungen und ihre Rangfolge

Anforderung	Quellen																					Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
ganzheitliches Denken (P)	4,3	2,3		2,3	3,7	4,0	4,3		4,0	4,0	4,0	2,0				2,7	3,0	2,0		2,0		44,6
Kooperationsfähigkeit (S)		2,3			3,7	4,0	4,3	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0		1,0	1,7			2,0			2,7	39,7
schöpferische Fähigkeit (P)		2,3	2,0	2,3	3,7	4,0	4,3			4,0	4,0		3,3	1,0	1,7		3,0				2,7	38,3
Kommunikationsfähigkeit (S)		2,3	2,0		3,7	4,0	4,3		4,0		4,0	2,0		1,0	1,7	2,7	3,0			2,0		36,7
Fachwissen (F)	4,3	2,3	2,0		3,7	4,0	4,3		4,0	4,0								2,0	3,0		2,7	36,3
Sprachgewandtheit (S)			2,0	2,3	3,7	4,0	4,3	4,0		4,0				1,0		2,7		2,0	3,0	2,0		35,0
Schlagfertigkeit (A)			2,0		3,7	4,0	4,3		4,0				3,3	1,0	1,7	2,7	3,0	2,0			2,7	34,4
ergebnisorientiertes Handeln (A)		2,3	2,0		3,7	4,0	4,3			4,0	4,0		3,3	1,0	1,7			2,0		2,0		34,3
zielorientiertes Führen (A)		2,3			3,7	4,0	4,3	4,0						1,0	1,7	2,7		2,0	3,0	2,0		30,7
Einsatzbereitschaft (P)	4,3				3,7	4,0	4,3			4,0					1,7	2,7	3,0	2,0				29,7
Entscheidungsfähigkeit (A)		2,3			3,7	4,0	4,3	4,0		4,0		2,0		1,0	1,7			2,0				29,0
Offenheit für Veränderung (P)		2,3	2,0		3,7	4,0	4,3			4,0		2,0				2,7		2,0		2,0		29,0
Dialogfähig., Kundenorient. (S)	4,3	2,3			3,7	4,0	4,3		4,0			2,0						2,0		2,0		28,6
Teamfähigkeit (S)	4,3		2,0							4,0	2,0	3,3				2,7			3,0	2,0	2,7	26,0
analytische Fähigkeiten (F)		2,3			3,7	4,0	4,3	4,0		4,0					1,7			2,0				26,0
system.-method. Vorgehen (F)				2,3	3,7	4,0	4,3	4,0			4,0					2,7						25,0
Tatkraft (A)					3,7	4,0	4,3			4,0			3,3	1,0		2,7		2,0				25,0
Selbstmanagement (P)		2,3							4,0	4,0	4,0	2,0	3,3					2,0	3,0			24,6
Belastbarkeit (A)					3,7	4,0	4,3			4,0			3,3					2,0	3,0			24,3
Organisationsfähigkeit (F)	4,3				3,7	4,0	4,3	4,0						1,0		2,7						24,0
fachübergreifende Kenntnisse (F)			2,0	2,3				4,0		4,0	4,0						3,0	2,0			2,7	24,0
Konfliktlösungsfähigkeit (S)		2,3			3,7	4,0	4,3					2,0		1,0		2,7	3,0					23,0
Problemlösungsfähigkeit (S)				2,3	3,7	4,0	4,3							1,0		2,7		2,0			2,7	22,7
Delegationsfähigkeit (P)					3,7	4,0	4,3							1,0	1,7				3,0		2,7	20,4
Lernbereitschaft (P)		2,3	2,0	2,3						4,0	4,0							2,0			2,7	19,3
Loyalität (P)	4,3					4,0	4,3										3,0	2,0				17,6
Disziplin (P)			2,0						4,0				3,3	1,0		2,7			3,0			16,0
Eigenverantwortung (P)										4,0			3,3		1,7		3,0		3,0			15,0
Zuverlässigkeit (P)				2,3									3,3			2,7			3,0		2,7	14,0
Beziehungsmanagement (S)				2,3				4,0					3,3	1,0			3,0					13,6
Initiative (A)												2,0		1,0	1,7	2,7			3,0		2,7	13,1
Glaubwürdigkeit (P)					3,7	4,0	4,3															12,0
Innovationsfreudigkeit (A)									4,0	4,0		2,0						2,0				12,0
Mitarbeiterförderung (P)									4,0			2,0							3,0	2,0		11,0
Verständnisbereitschaft (S)									4,0	4,0								2,0				10,0
Konzeptionsstärke (F)		2,3								4,0					1,7			2,0				10,0
normativ-ethische Einstellung (P)	4,3	2,3																	3,0			9,6
Projektmanagement (F)												2,0							3,0		2,7	7,7
Integrationsfähigkeit (S)			2,0													2,7					2,7	7,4
Marktkennntnisse (F)										4,0									3,0			7,0
Beurteilungsvermögen (F)								4,0														4,0
Hilfsbereitschaft (P)								4,0														4,0
Anpassungsfähigkeit (S)																			3,0			3,0
Akquisitionsstärke (S)			2,0																			2,0
Planungsverhalten (F)			2,0																			2,0
Konsequenz (A)											2,0											2,0
Beratungsfähigkeit (S)															1,7							1,7

## L. Baustein 2, Werkzeug 2-1: Übersicht der verwendeten Literatur für die Recherche der Anforderungen einer Smart Factory

Tabelle 8-11: Übersicht der berücksichtigten Literatur

Nr.	Autor	Titel	Seiten
1	ACATECH (2018)	Wandlungsfähige, menschenzentrierte Strukturen in Fabriken und Netzwerken der Industrie 4.0	6-7, 20
2	PLATTFORM I 4.0 (2018)	Kompetenzen für die Produktion der Zukunft – Arbeitsgestaltung 4.0 am Beispiel der auftragsgesteuerten Produktion	14
3	ANDERL ET AL. (2015)	Leitfaden Industrie 4.0–Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand	28
4	SPATH ET AL. (2013)	Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0	19-128
5	WEILAND (2013)	Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0	72
6	AHRENS & SPÖTTL (2015)	Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften	195, 198
7	WINDELBAND & SPÖTTL (2012)	Konsequenzen der Umsetzung des „Internet der Dinge“ für Facharbeit und Mensch-Maschine. Schnittstelle	
8	DEUSE ET AL. (2015)	Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0	156-157, 161
9	GROTE (2015)	Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0	132, 136
10	STICH ET AL. (2015)	Arbeiten und Lernen in der digitalisierten Welt	112-113
11	KURZ (2014)	Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit	108
12	ACATECH (2016)	Kompetenzen für Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze	
13	WIEN & FRANZKE (2013)	Systematische Personalentwicklung. 18 Strategien zur Implementierung eines erfolgreichen Personalentwicklungskonzepts	5, 8
14	BARNARD (2013)	Die Zukunft der Arbeit am Vodafone Campus	668
15	BRUDER (2013)	Zukunft der Gestaltung menschengerechter Arbeitssysteme	632-645
16	STOCK-HOMBURG (2013)	Zukunft der Arbeitswelt 2030 als Herausforderung des Personalmanagements	615-623
17	REINHART ET AL. (2017)	Der Mensch in der Produktion von Morgen	52-54, 63
18	PFEIFFER & SUPHAN (2015)	Industrie 4.0 und Erfahrung	212
19	WINDELBAND & DWORSCHAK (2015)	Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0	85
20	KLUG (2011)	Analyse des Personalentwicklungsbedarfs	52
21	KAGERMANN (2014)	Chancen von Industrie 4.0 nutzen	608
22	HIRSCH-KREINSEN (2015)	Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen	21

## M. Baustein 2, Werkzeug 2-1: Synonyme der gefundenen Smart-Factory-Anforderungen

Tabelle 8-12: Zusammenfassung der Anforderungen einer Smart Factory und ihrer Synonyme

Anforderung / Kompetenz	Synonyme
Flexibilität	flexibles Arbeitshandeln
örtlich	räumlich, grundsätzliche Mobilität, Arbeitsort
zeitlich	Arbeitszeit
funktional	inhaltlich
Teamfähigkeit	Zusammenarbeit, Beteiligungsfähigkeit, funktionsübergreifende Zusammenarbeit
Kooperationsfähigkeit	Kooperationsbereitschaft
Wissen/Verständnis	Wissen über komplexe Technologien, Wissen allgemein
Interdisziplinarität	interdisziplinäre Kompetenz, unterschiedliche Arbeitsinhalte, interdisziplinäres Wissen, interdisziplinäres Vorgehen, Arbeiten und Lernen
ganzheitliches Denken	Denken im Gesamtsystem, ganzheitliche Sichtweise, ganzheitliches Systemverständnis, Ganzheitlichkeit, Durchschaufähigkeit, ganzheitliche Wahrnehmungsfähigkeit
Veränderungsfähigkeit	Wandlungsfähigkeit, Veränderungsbereitschaft
Innovationsfreudigkeit	Innovationsfähigkeit
Problemlösefähigkeit	Problemlösungskompetenz, Problemlösekompetenz
Kommunikationsfähigkeit	Kommunikationsfreude
digital	tiefgehendes Verständnis für Social-Media-Funktionalitäten, digitale Kommunikation
methodisches Vorgehen	systematische Kompetenzen, Methodenkompetenz, dialogisches Vorgehen
arbeitstechnische Erfahrung	Technikbeherrschung
Lernbereitschaft und -fähigkeit	kurzfristige Lernbereitschaft
Organisationsfähigkeit	Selbstorganisation, Planungsfähigkeit
Systemkompetenz – Verständnis	ganzheitliches Systemverständnis
IT	grundlegendes IT-Wissen, IT-Kompetenz, Softwarenutzungsfähigkeit, IT-Verständnis
Vernetzung	Maschineninteraktion
Agilität	Dynamik
Eigenverantwortung	Selbstverantwortlichkeit, Verantwortung, Verantwortungsfähigkeit
Entscheidungsfähigkeit	Entscheidungsfreude
Kreativität	Gestaltungsfähigkeit
psychische Belastbarkeit	Stressresistenz, kognitive Belastbarkeit, psychische Belastungsfähigkeit
physische Belastbarkeit	körperliche Belastbarkeit, körperliche Belastungsfähigkeit
Integrationsfähigkeit	Diversity



## Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Carl Hanser 2011. ISBN: 978-3-446-42595-8.

ACATECH 2016: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. <<https://www.acatech.de/publikation/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-4-0-erste-ergebnisse-und-schlussfolgerungen/>> – 18.05.2020.

ACEMOGLU & AUTOR 2011

Acemoglu, D.; Autor, D. H.: Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. In: Card, D. et al. (Hrsg.): Handbook of Labor Economics. Volume 4B. Amsterdam: North-Holland 2011, S. 1043-1171. ISBN: 978-0-444-53452-1.

AL-RODHAN & STOUDMANN 2006

Al-Rodhan, N. R.F.; Stoudmann, G.: Definitions of Globalization: A Comprehensive Overview and a Proposed Definition. Geneva Centre for Security Policy. Genf. 2006.

ALTEMEIER ET AL. 2017

Alteemeier, K.; Bansmann, M.; Dietrich, O.; Dumitrescu, R.; Nettelstroth, W.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0. Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. it's OWL Clustermanagement GmbH (Hrsg.). Paderborn. 2017.

ASHBY 1956

Ashby, W. R.: An Introduction to Cybernetics. New York: John Wiley & Sons 1956. ISBN: 978-0-4120-5670-3.

AUTOR ET AL. 1998

Autor, D. H.; Katz, L. F.; Krueger, A. B.: Computing Inequality: Have Computers Changed the Labor Market? The Quarterly Journal of Economics 113 (1998) 4, S. 1169-1213.

BALL & TUNGER 2005

Ball, R.; Tunger, D.: Bibliometrische Analysen – Daten, Fakten und Methoden. Grundwissen Bibliometrie für Wissenschaftler, Wissenschaftsmanager, Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Forschungszentrum Jülich GmbH Zentralbibliothek (Hrsg.). Jülich. 2005.

BAUERNHANSL 2014

Bauernhansl, T.: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl, T. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014, S. 5-35. ISBN: 978-3-658-04681-1.

BAUERNHANSL ET AL. 2014

Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014. ISBN: 978-3-658-04681-1.

BAUERNHANSL ET AL. 2016

Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G.: WGP-Standpunkt Industrie 4.0. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e.V. (Hrsg.). 2016.

BECKER 2013

Becker, M.: Personalentwicklung. Bildung, Förderung und Organisationsentwicklung in Theorie und Praxis. 6. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2013. ISBN: 978-3-7910-3243-6.

BECKER & STERN 2016

Becker, T.; Stern, H.: Future Trends in Human Work area Design for Cyber-Physical Production Systems. Procedia CIRP. Factories of the Future in the digital environment - Proceedings of the 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems 57 (2016), S. 404-409.

BEHRENS ET AL. 2017

Behrens, B.-A.; Groche, P.; Krüger, J.; Wulfsberg, J. P.: WGP-Standpunkt Industriearbeitsplatz 2025. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e.V. (Hrsg.). 2017.

BENGLER ET AL. 2017

Bengler, K.; Lock, C.; Teubner, S.; Reinhart, G.: Grundlegende Konzepte und Modelle.

In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser 2017, S. 54-60. ISBN: 978-3-446-44642-7.

BERTHEL & BECKER 2013

Berthel, J.; Becker, F. G.: Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit. 10. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2013. ISBN: 978-3-7910-3231-3.

BFW GMBH 2017: Berater-Leitfaden für die Durchführung von Unternehmenschecks in Zusammenhang mit Industrie 4.0-Entwicklungen. bfw GmbH (Hrsg.). Erkrath. 2017.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L. T.M.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer-Verlag 2009. ISBN: 978-1-84882-586-4.

BLICKLE 2014

Blickle, G.: Anforderungsanalyse. In: Nerdinger, F. W. et al. (Hrsg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Heidelberg: Springer-Verlag 2014, S. 207-221. ISBN: 978-3-642-41129-8.

BMAS 2017: Weißbuch Arbeiten 4.0. Arbeit weiter denken. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Hrsg.). 2017.

BMBF 2015: Zukunftsbild "Industrie 4.0". Referat IT-Systeme. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.). Bonn. 2015.

BOKRANZ & LANDAU 2006

Bokranz, R.; Landau, K. (Hrsg.): Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Deutsche MTM-Vereinigung e.V. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2006. ISBN: 978-3-7910-2133-1.

BORTZ & DÖRING 2006

Bortz, J.; Döring, N.: Qualitative Methoden. In: Bortz, J. et al. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Aufl. Heidelberg: Springer-Verlag 2006, S. 295-350. ISBN: 978-3-540-33305-0.

BOTTHOF & HARTMANN 2015

Botthof, A.; Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg 2015. ISBN: 978-3-662-45914-0.

BOYSEN 2006

Boysen, N.: Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung. In: Waldmann, K.-H. et al. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 2006, Operations Research 2006. Karlsruhe, 06.-08.09.2006. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2006, S. 11-15. ISBN: 978-3-540-69994-1.

BRÖCKERMANN 2016

Bröckermann, R.: Personalwirtschaft. Lehr- und Übungsbuch für Human Resource Management. 7. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2016. ISBN: 978-3-7910-3588-8.

BRYNJOLFSSON & MCAFEE 2016

Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: The Second Machine Age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird. 6. Aufl. Kulmbach: Plassen 2016. ISBN: 978-3-86470-211-2.

BUBB & SCHMIDTKE 1981

Bubb, H.; Schmidtke, H.: Analyse der Systemstruktur. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie. 2. Aufl. München, Wien: Carl Hanser 1981, S. 263-285. ISBN: 3446133909.

BULLINGER 1994

Bullinger, H.-J.: Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart: B. G. Teubner 1994. ISBN: 3519063662.

CARD & DINARDO 2002

Card, D.; DiNardo, J. E.: Skill-Biased Technological Change and Rising Wage Inequality: Some Problems and Puzzles. Journal of Labor Economics 20 (2002) 4, S. 733-783.

DANILOVIC & SANDKULL 2005

Danilovic, M.; Sandkull, B.: The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. International Journal of Project Management 23 (2005) 3, S. 193-203.

DESTATIS 2019

Statistisches Bundesamt (Destatis): Statistisches Jahrbuch 2019. Deutschland und Internationales. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2019. ISBN: 978-3-8246-1086-0.

DETECON INTERNATIONAL GMBH 14.12.2016: Vision 2022: Digitale Trends verändern Arbeitswelt in der industriellen Produktion deutlich. Detecon International GmbH.

DIN 66001

DIN 66001: Sinnbilder und ihre Anwendung. Berlin: Beuth 1983.

DIN 6385

DIN 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth 2016.

DOLLINGER ET AL. 2017

Dollinger, C.; Bengler, K.; Reinhart, G.: Personalführung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser 2017, S. 79-88. ISBN: 978-3-446-44642-7.

DOMBROWSKI ET AL. 2014

Dombrowski, U.; Riechel, C.; Evers, M.: Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: Kersten, W. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito 2014, S. 129-153. ISBN: 978-3-95545-083-0.

DOMBROWSKI & WAGNER 2014

Dombrowski, U.; Wagner, T.: Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0. Mitarbeiterpartizipation als Erfolgsfaktor zur Akzeptanzbildung und Kompetenzentwicklung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikvertrieb ZWF 109 (2014) 5, 351-355.

DREYER 2009

Dreyer, M.: Der demografische Wandel und die Kultur – was haben beide miteinander zu tun? In: Hausmann, A. et al. (Hrsg.): Demografischer Wandel und Kultur. Veränderungen im Kulturangebot und der Kulturnachfrage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2009, S. 36-48. ISBN: 978-3-531-15857-0.

DRUMM 2008

Drumm, H. J.: Personalwirtschaft. 6. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 2008. ISBN: 978-3-540-77696-3.

DUDENREDAKTION 16.03.2020

Dudenredaktion: Sprachgewandtheit. <<https://www.duden.de/node/170844/revision/170880>>.

DUNCKEL & RESCH 2010

Dunckel, H.; Resch, M. G.: Arbeitsanalyse. In: Kleinbeck, U. et al. (Hrsg.): Arbeitspsychologie. Göttingen: Hogrefe 2010, S. 1111-1158. ISBN: 978-3-8017-0598-5.

EASTERLY ET AL. 2004

Easterly, W.; Williamson, J.; Banerjee, A. V.: Channels from Globalization to Inequality: Productivity World versus Factor World. In: The Brookings Institution (Hrsg.): Brookings Trade Forum 2004, S. 39-81.

ERPENBECK 2012

Erpenbeck, J.: Zwischen exakter Nullaussage und vieldeutiger Beliebigkeit. In: Erpenbeck, J. (Hrsg.): Der Königsweg zur Kompetenz. Grundlagen qualitativ-quantitativer Kompetenzerfassung. Münster: Waxmann 2012, S. 7-42. ISBN: 978-3-8309-2489-0.

EVERSHEIM 1992

Eversheim, W.: Flexible Produktionssysteme. In: Frese, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. 3. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1992, S. 2058-2066. ISBN: 3-7910-8027-X.

FRIELING & BUCH 2007

Frieling, E.; Buch, M.: Arbeitsanalyse als Grundlage der Arbeitsgestaltung. In: Schuler, H. et al. (Hrsg.): Handbuch der Arbeits- und Organisationspsychologie. Göttingen: Hogrefe 2007, S. 117-125. ISBN: 978-3-8017-1849-7.

GEIGHARDT-KNOLLMANN 2011

Geighardt-Knollmann, C.: DGFP Studie: Megatrends und HR Trends. PraxisPapier 7/2011. Deutsche Gesellschaft für Personalführung e.V. (Hrsg.). Düsseldorf. 2011.

GILLENKIRCH & FEESS 14.07.2018

Gillenkirch, R.; Feess, E.: Gabler Wirtschaftslexikon. Das Wissen der Experten.  
<<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/system-50117/version-273342>>.

GLOYSTEIN 2017

Gloystein, A.: Leitfaden passgenaue Qualifizierung für KMU. In: Prokom 4.0 (Hrsg.): Facharbeit und Digitalisierung. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt "Kompetenzmanagement für die Facharbeit in der High-Tech-Industrie" (Prokom 4.0), S. 135.

## GRAF 2001

Graf, A.: Evaluation von Personalentwicklung. *WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 30 (2001) 2, S. 69-74.

## GROBECKER ET AL. 2018

Grobecker, C.; Krack-Roberg, E.; Pöttsch, O.; Sommer, B.: Bevölkerung und Demografie. In: Statistisches Bundesamt (Destatis) et al. (Hrsg.): *Datenreport 2018. Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland*. Bonn: bpb 2018, S. 11-27. ISBN: 978-3-8389-7179-7.

## GROTE ET AL. 1997

Grote, G.; Wäfler, T.; Weik, S.: KOMPASS: Eine Methode für die komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen. In: Strohm, O. et al. (Hrsg.): *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 1997, S. 259-280. ISBN: 978-3-7281-2171-4.

## GROTE ET AL. 2000

Grote, G.; Ryser, C.; Wäfler, T.; Windischer, A.; Weik, S.: KOMPASS: a method for complementary function allocation in automated work systems. *International Journal of Human-Computer Studies* 52 (2000) 2, S. 267-287.

## GROTE 2015

Grote, G.: Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, H. et al. (Hrsg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden: Nomos 2015, S. 131-146. ISBN: 978-3-8487-2225-9.

## HACKER &amp; SACHSE 2014

Hacker, W.; Sachse, P.: *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten*. 3. Aufl. Göttingen: Hogrefe 2014. ISBN: 978-3-8017-2540-2.

## HÄDER 2015

Häder, M.: *Empirische Sozialforschung. Eine Einführung*. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer VS 2015. ISBN: 978-3-531-19674-9.

## HARZING 2007

Harzing, A.-W.: *Publish or Perish: Harzing.com* 2007.

HAVEMANN 2009

Havemann, F.: Einführung in die Bibliometrie. Gesellschaft für Wissenschaftsforschung. Berlin. 2009.

HELFRICH 2016

Helfrich, H.: Wissenschaftstheorie für Betriebswirtschaftler. Wiesbaden: Springer Gabler 2016. ISBN: 978-3-658-07035-9.

HEß 2008

Heß, W.: Ein Blick in die Zukunft – acht Megatrends, die Wirtschaft und Gesellschaft verändern. Allianz Dresdner Economic Research. 2008.

HESS 2019

Hess, T.: Digitalisierung. <<http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Informatik--Grundlagen/digitalisierung>> – 25.06.2019.

HETTINGER & BECKER 1993

Hettinger, T.; Becker, M. (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Ludwigshafen: Kiehl 1993. ISBN: 3-470-45401-9.

HEYSE & ERPENBECK 2004

Heyse, V.; Erpenbeck, J.: Kompetenztraining. 64 Informations- und Trainingsprogramme. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2004. ISBN: 3791022636.

HEYSE & ERPENBECK 2009

Heyse, V.; Erpenbeck, J.: Kompetenztraining. Informations- und Trainingsprogramme. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2009. ISBN: 978-3-7992-6367-2.

HIRSCH 2005

Hirsch, J. E.: An index to quantify an individual's scientific research output. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102 (2005) 46, S. 16569-16572.

HIRSCH-KREINSEN & HOMPEL 2017

Hirsch-Kreinsen, H.; Hompel, M. ten: Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze. In: Vogel-Heuser, B. et al. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 3: Logistik. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2017, S. 357-376. ISBN: 978-3-662-53250-8.

## HOLTBRÜGGE 2015

Holtbrügge, D.: Personalmanagement. 6. Aufl. Berlin: Springer Gabler 2015. ISBN: 978-3-662-48109-7.

## IMBSWEILER 2018

Imbsweiler, A. J.: Ableitung von Anforderungen der Produktionsmitarbeiter in einer Smart Factory. (Semesterarbeit). Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*), Technische Universität München. Garching (2018).

## ISO 29148-2018

Institute of Electrical and Electronics Engineers 29148-2018, 35.080: Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering: 11.2018.

## JASPERNEITE 2012

Jasperneite, J.: Was hinter Begriffen wie Industrie 4.0 steckt. Computer & Automation (2012) 12, S. 24-28.

## JUNG 2011

Jung, H.: Personalwirtschaft. Oldenbourg: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2011. ISBN: 978-3-486-59665-6.

KAGERMANN ET AL. 2013a: Recommendations for Recommendation for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (Hrsg.). Frankfurt/Main. 2013.

KAGERMANN ET AL. 2013b: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (Hrsg.). Frankfurt/Main. 2013.

## KAIVO-OJA &amp; LAURAEUS 2018

Kaivo-oja, J. R.; Lauraeus, I. T.: The VUCA approach as a solution concept to corporate foresight challenges and global technological disruption. Foresight 20 (2018) 1, S. 27-49.

## KAMBLE ET AL. 2018

Kamble, S. S.; Gunasekaran, A.; Gawankar, S. A.: Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. Process Safety and Environmental Protection 117 (2018), S. 408-425.

KAUFFELD 2014

Kauffeld, S. (Hrsg.): Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 2014. ISBN: 978-3-642-42064-1.

KAUFFELD & LEINS 2014

Kauffeld, S.; Leins, V.: Kontexte einer Arbeitsanalyse. <<http://www.lehrbuch-psychologie.de/sites/default/files/atoms/files/web-exkurs.011.01.pdf>> – 31.01.2017.

KAUFFELD & MARTENS 2014

Kauffeld, S.; Martens, A.: Arbeitsanalyse und -gestaltung. In: Kauffeld, S. (Hrsg.): Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 2014, S. 211-240. ISBN: 978-3-642-42064-1.

KISTNER & STEVEN 2002

Kistner, K.-P.; Steven, M.: Betriebswirtschaftslehre im Grundstudium 1. Produktion, Absatz, Finanzierung. 4. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 2002. ISBN: 978-3-7908-1482-8.

KOCH 2014

Koch, E.: Globalisierung: Wirtschaft und Politik. Chancen – Risiken – Antworten. Wiesbaden: Springer Gabler 2014. ISBN: 978-3-658-02955-5.

KORDER 2017

Korder, S.: Entwicklung möglicher Zukunftsbilder zur manuellen Montage im Kontext der Industrie 4.0. (Masterarbeit). Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*), Technische Universität München. Garching (2017).

KÜPPER & HELBER 2004

Küpper, H.-U.; Helber, S.: Ablauforganisation in Produktion und Logistik. 3. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2004. ISBN: 978-3-7910-2342-7.

KUTZNER 2009

Kutzner, C.: Die demografische Entwicklung in Deutschland. In: Hausmann, A. et al. (Hrsg.): Demografischer Wandel und Kultur. Veränderungen im Kulturangebot und der Kulturnachfrage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2009, S. 16-33. ISBN: 978-3-531-15857-0.

LANDMANN & HEUMANN 2016: Auf dem Weg zum Arbeitsmarkt 4.0? Mögliche Auswirkungen der Digitalisierung auf Arbeit und Beschäftigung in Deutschland bis 2030. Bertelsmann Stiftung; stiftung neue verantwortung. Landmann, J.; Heumann, S. (Hrsg.). 2016.

**LEINWEBER 2010**

Leinweber, S.: Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert, M. T. (Hrsg.): Strategische Personalentwicklung. Ein Programm in acht Etappen. 2. Aufl. Heidelberg: Springer-Verlag 2010, S. 145-178. ISBN: 978-3-642-04399-4.

**LINDEMANN ET AL. 2006**

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer-Verlag 2006. ISBN: 3-540-25506-0.

**LINDEMANN 2009**

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 2009. ISBN: 978-3-642-01422-2.

**LINDEMANN ET AL. 2009**

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural Complexity Management. An Approach for the Field of Product Design. Berlin: Springer-Verlag 2009. ISBN: 978-3-540-87889-6.

**LINDEMANN & BAUMBERGER 2006**

Lindemann, U.; Baumberger, C.: Individualisierte Produkte. In: Lindemann, U. et al. (Hrsg.): Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer-Verlag 2006, S. 7-16. ISBN: 3-540-25506-0.

**LINDNER-LOHMANN ET AL. 2016**

Lindner-Lohmann, D.; Lohmann, F.; Schirmer, U.: Personalmanagement. 3. Aufl. Berlin: Springer Gabler 2016. ISBN: 978-3-662-48402-9.

**LOTTER & WIENDAHL 2012**

Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012. ISBN: 978-3-642-29060-2.

**LU 2017**

Lu, Y.: Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration 6 (2017), S. 1-10.

**LUCKE ET AL. 2008**

Lucke, D.; Constantinescu, C.; Westkämper Engelbert: Smart Factory – A Step towards the Next Generation of Manufacturing. In: Mitsubishi, M. et al. (Hrsg.): Manufacturing Systems

and Technologies for the New Frontier, The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, 26.-28.05.2008. 1. Aufl. London: Springer-Verlag 2008, S. 115-118.

ISBN: 978-1-84800-267-8.

LUCZAK 1998

Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer-Verlag 1998. ISBN: 978-3-662-05832-9.

LUCZAK & VOLPERT 1987

Luczak, H.; Volpert, W.: Arbeitswissenschaft: Kerndefinition, Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete. Bericht an den Vorstand der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft und die Stiftung Volkswagenwerk. 3. Aufl. Eschborn: RKW-Verlag 1987. ISBN: 3-921451-75-2.

MAIER ET AL. 2014

Maier, T.; Zika, G.; Wolter, M. I.; Kalinowski, M.; Helmrich, R.: Engpässe im mittleren Qualifikationsbereich trotz erhöhter Zuwanderung. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (Hrsg.). 2014.

MATT & RAUCH 2014

Matt, D. T.; Rauch, E.: Chancen zur Bewältigung des Fachkräftemangels in KMU durch die Urbane Produktion von morgen. In: Kersten, W. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin: Gito 2014, S. 155-176. ISBN: 978-3-95545-083-0.

MCCRAE & COSTA 2006

McCrae, R. R.; Costa, P. T.: Personality in Adulthood. A Five-Factor Theory Perspective. 2. Aufl. New York: Guilford Press 2006. ISBN: 1572308273.

MCGEHEE & THAYER 1967

McGehee, W.; Thayer, P. W.: Training in business and industry. New York: John Wiley & Sons 1967. ISBN: 978-0471584100.

MEHRMANN 2004

Mehrmann, E.: Controlling in der Praxis. Wie kleine und mittlere Unternehmen ein effektives Berichtswesen aufbauen. (Mit Fallbeispielen und Checklisten) Wiesbaden: Gabler 2004. ISBN: 978-3-409-12590-1.

MICHALOWA & RÖHRIG 2018

Michailowa, S.; Röhrig, A.: Digitale Kompetenzen für das Arbeiten 4.0: mehr als der Umgang mit Technik. In: Molina, K. de et al. (Hrsg.): Kompetenzen der Zukunft - Arbeit

2030. Als lernende Organisation wettbewerbsfähig bleiben. Freiburg: Haufe Group 2018. ISBN: 978-3-648-10724-9.

MIETZNER ET AL. 2017

Mietzner, D.; Hartmann, F.; Fahrenkrug, M.: Szenariobasierte Geschäftsmodellentwicklung als Ansatz der strategischen Vorausschau in kleinen und mittleren Unternehmen. In: Prokom 4.0 (Hrsg.): Facharbeit und Digitalisierung. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt "Kompetenzmanagement für die Facharbeit in der High-Tech-Industrie" (Prokom 4.0), S. 130-131.

MOLINA ET AL. 2018

Molina, K. de; Kaiser, S.; Widuckel, W. (Hrsg.): Kompetenzen der Zukunft – Arbeit 2030. Als lernende Organisation wettbewerbsfähig bleiben. Freiburg: Haufe Group 2018. ISBN: 978-3-648-10724-9.

MOORE 2019

Moore, J. I.: Abraham Lincoln quotes on life, education, and freedom. <<https://everyday-powerblog.com/abraham-lincoln-quotes/>> – 10.03.2019.

NAISBITT & ABURDENE 1990

Naisbitt, J.; Aburdene, P.: Megatrends 2000. Zehn Perspektiven für den Weg ins nächste Jahrtausend. 5. Aufl. Düsseldorf: Econ-Verlag 1990. ISBN: 3430170257.

NEBL 2009

Nebf, T.: Produktionswirtschaft. 6. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2009. ISBN: 978-3-486-58493-6.

NOACK 2001

Noack, J.: Techniken der objektorientierten Softwareentwicklung. Berlin: Springer-Verlag 2001. ISBN: 978-3-642-63991-3.

NORTH ET AL. 2018

North, K.; Reinhardt, K.; Sieber-Suter, B.: Kompetenzmanagement in der Praxis. Mitarbeiterkompetenzen systematisch identifizieren, nutzen und entwickeln. Mit vielen Praxisbeispielen. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2018. ISBN: 978-3-658-16871-1.

OPASCHOWSKI 2013

Opaschowski, H. W.: Die neue Arbeitswelt denken. In: Pappmehl, A. et al. (Hrsg.): Die Arbeitswelt im 21. Jahrhundert. Herausforderungen, Perspektiven, Lösungsansätze. Wiesbaden: Springer Gabler 2013, S. 203-209. ISBN: 978-3-658-01415-5.

OSTERRIEDER ET AL. 2019

Osterrieder, P.; Budde, L.; Friedli, T.: The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics* (2019).

PÖTZSCH & RÖßGER 2015

Pötzsch, O.; Rößger, F.: Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.). Wiesbaden. 2015.

PRITCHARD 1969

Pritchard, A.: Statistical Bibliography or Bibliometrics? *Journal of Documentation* 25 (1969) 4, S. 348-349.

PROGNOS AG 2012

Prognos AG: Arbeitslandschaft 2035. Studie. vbw Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (Hrsg.). München. 2012.

RAMSAUER 2013

Ramsauer, C.: Industrie 4.0 – Die Produktion der Zukunft. *WINGbusiness* 46 (2013) 3, S. 6-12.

REFA 1984

REFA: Teil 1: Grundlagen. REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 7. Aufl. München: Carl Hanser 1984. ISBN: 3446142347.

REFA 1991a

REFA: Anforderungsermittlung (Arbeitsbewertung). REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 2. Aufl. München: Carl Hanser 1991. ISBN: 3446162283.

REFA 1991b

REFA: Arbeitspädagogik. REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 3. Aufl. München: Carl Hanser 1991. ISBN: 3446160795.

## REFA 1993

REFA: Grundlagen der Arbeitsgestaltung. REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 2. Aufl. München: Carl Hanser 1993. ISBN: 3446173862.

## REFA-CONSULTING AG 2019a

REFA-Consulting AG: Arbeitsgestaltung. REFA Lexikon: Definitionen und Begriffsklärungen. <<https://refa-consulting.de/arbeitsgestaltung>> – 07.03.2019.

## REFA-CONSULTING AG 2019b

REFA-Consulting AG: Arbeitsorganisation. REFA Lexikon: Definitionen und Begriffsklärungen. <<https://refa-consulting.de/arbeitsorganisation>> – 07.03.2019.

## REINHART &amp; ZÜHLKE 2017

Reinhart, G.; Zühlke, D.: Von CIM zu Industrie 4.0. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser 2017, S. XXXI-XL. ISBN: 978-3-446-44642-7.

## ROPOHL 2012

Ropohl, G.: Allgemeine Systemtheorie. Einführung in transdisziplinäres Denken. Baden-Baden: Nomos 2012. ISBN: 978-3-8360-3586-6.

## ROSENSTIEL &amp; NERDINGER 2011

Rosenstiel, L. v.; Nerdinger, F. W.: Grundlagen der Organisationspsychologie. Basiswissen und Anwendungshinweise. 7. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2011. ISBN: 978-3-7910-3065-4.

## RUMP &amp; EILERS 2017

Rump, J.; Eilers, S. (Hrsg.): Auf dem Weg zur Arbeit 4.0. Innovationen in HR. Berlin: Springer Gabler 2017. ISBN: 978-3-662-49746-3.

## RYSCHKA ET AL. 2011

Ryschka, J.; Solga, M.; Mattenklott, A. (Hrsg.): Praxishandbuch Personalentwicklung. Instrumente, Konzepte, Beispiele. Wiesbaden: Gabler 2011. ISBN: 978-3-8349-1907-6.

## SCHAPER 2014a

Schaper, N.: Arbeitsanalyse und -bewertung. In: Nerdinger, F. W. et al. (Hrsg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Heidelberg: Springer-Verlag 2014, S. 347-370. ISBN: 978-3-642-41129-8.

SCHAPER 2014b

Schaper, N.: Selbstverständnis, Gegenstände und Aufgaben der Arbeits- und Organisationspsychologie. In: Nerdinger, F. W. et al. (Hrsg.): Arbeits- und Organisationspsychologie. Heidelberg: Springer-Verlag 2014, S. 3-16. ISBN: 978-3-642-41129-8.

SCHLICK ET AL. 2018

Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2018. ISBN: 978-3-662-56036-5.

SCHMIDTKE 1976

Schmidtke, H.: Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen. Entwurf eines Verfahrens. München: Carl Hanser 1976. ISBN: 3446123288.

SCHMIDTKE 1993

Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Carl Hanser 1993. ISBN: 3446164405.

SCHÖNWANDT 2013

Schönwandt, W.: Komplexe Probleme lösen. Ein Handbuch. Berlin: Jovis 2013. ISBN: 978-3-86859-227-6.

SCHUH ET AL. 2017

Schuh, G.; Salmen, M.; Jussen, P.; Riesener, M.; Zeller, V.; Hensen, T.; Begovic, A.; Birkmeier, M.; Hocken, C.; Jordan, F.; Kantelberg, J.; Kelzenberg, C.; Kolz, D.; Maasem, C.; Siegers, J.; Stark, M.; Tönnies, C.: Geschäftsmodell-Innovation. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser 2017, S. 3-29. ISBN: 978-3-446-44642-7.

SCHULTETUS 2006

Schultetus, W.: Arbeitswissenschaft – von der Theorie zur Praxis. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und ihr wirtschaftlicher Nutzen. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem 2006. ISBN: 3-89172-457-8.

SCHÜPBACH 2014

Schüpbach, H.: Analyse und Bewertung von Arbeitssystemen und Arbeitstätigkeiten. In: Schuler, H. et al. (Hrsg.): Lehrbuch Organisationspsychologie. 5. Aufl. Bern: Hans Huber 2014, S. 605-641. ISBN: 978-3-4568-5292-8.

## SCHWEITZER 1964

Schweitzer, M.: Probleme der Ablauforganisation in Unternehmungen. Berlin: Duncker & Humblot 1964.

## SEMMER &amp; UDRIS 2004

Semmer, N.; Udris, I.: Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In: Schuler, H. (Hrsg.): Lehrbuch Organisationspsychologie. 3. Aufl. Bern: Hans Huber 2004, S. 157-195. ISBN: 3-456-84019-5.

## SPATH ET AL. 2012

Spath, D.; Schlund, S.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.: Produktionsprozesse im Jahr 2030. IM Information Management und Consulting (2012) 03, S. 50-55.

## SPATH ET AL. 2013a

Spath, D.; Weisbecker, A.; Peissner, M.; Hipp, C.: Potenziale der Mensch-Technik-Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Spath, D.; Weisbecker, A. (Hrsg.). Stuttgart. 2013.

## SPATH ET AL. 2013b

Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Spath, D. (Hrsg.). Stuttgart. 2013.

## STEMMLER ET AL. 2016

Stemmler, G.; Bartussek, D.; Hagemann, D.; Spinath, F.; Amelang, M.; Hasselhorn, M.; Schneider, S.; Kunde, W.: Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung. 8. Aufl. Stuttgart: W. Kohlhammer 2016. ISBN: 978-3-17025721-4.

## TEUBNER ET AL. 2017

Teubner, S.; Bengler, K.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Intra, C.: Individuelle dynamische Werkerinformationssysteme. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser 2017, S. 66-77. ISBN: 978-3-446-44642-7.

## THURICH 2011

Thurich, E.: pocket politik. Demokratie in Deutschland. 4. Aufl. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung 2011. ISBN: 978-3-8389-7046-2.

THURSTONE 1934

Thurstone, L. L.: The vectors of mind. *The Psychological Review* 41 (1934) 1, S. 1-32.

TROPSCHUH 2018

Tropschuh, B.: Methode zur Ableitung von Kompetenzanforderungen in der manuellen Montage im Kontext der Industrie 4.0. (Masterarbeit). Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*), Technische Universität München. Garching (2018).

ULICH 2011

Ulich, E.: *Arbeitspsychologie*. 7. Aufl. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Schäffer-Poeschel 2011. ISBN: 978-3-7910-3049-4.

ULRICH 1982

Ulrich, H.: Anwendungsorientierte Wissenschaft. *Die Unternehmung* 36 (1982) 1, S. 1-10.

ULRICH & HILL 1976a

Ulrich, P.; Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I). *WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium; Zeitschrift für Studium und Forschung* 5 (1976) 7, S. 304-309.

ULRICH & HILL 1976b

Ulrich, P.; Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil II). *WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium; Zeitschrift für Studium und Forschung* 5 (1976) 8, S. 345-350.

VDI-Richtlinie 2815

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik 2815: Blatt 1 – Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung: 05/1978.

VERNIM ET AL. 2016

Vernim, S.; Wehrle, P.; Reinhart, G.: Entwicklungstendenzen für die Produktionsarbeit von morgen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikvertrieb ZWF* 111 (2016) 9, S. 569-572.

VERNIM ET AL. 2019

Vernim, S.; Korder, S.; Tropschuh, B.: Sind unsere Mitarbeiter für den Einsatz in der digitalen Fabrik richtig qualifiziert? In: Bosse, C. K. et al. (Hrsg.): *Arbeit 4.0 im Mittelstand. Chancen und Herausforderungen des digitalen Wandels für KMU*. Berlin: Springer Gabler 2019, S. 71-90. ISBN: 978-3-662-59473-5.

## VERNIM ET AL. 2020

Vernim, S.; Krauel, M.; Reinhart, G.: Identification of digitalization trends and use cases in assembly. *Procedia CIRP* (2020), accepted.

## VOGLER-LUDWIG &amp; DÜLL 2013

Vogler-Ludwig, K.; Düll, N.: *Arbeitsmarkt 2030. Eine strategische Vorausschau auf Demografie, Beschäftigung und Bildung in Deutschland*. Bielefeld: W. Bertelsmann 2013. ISBN: 978-3-7639-5279-3.

## WAGNER ET AL. 2017

Wagner, M.; Zündt, M.; Attmer, L.; Matysiak, L.: *Digitale Arbeitswelten in der Produktion 2022*. <<http://www.detecon-future-work-at-production.com/>> – 06.08.2018.

## WARNECKE ET AL. 1975

Warnecke, H.-J.; Löhr, H.-G.; Kiener, W.: *Montagetechnik. Schwerpunkt der Rationalisierung*. Mainz: Otto Krausskopf-Verlag 1975. ISBN: 3-78300-098-X.

## WASCHULL ET AL. 2020

Waschull, S.; Bokhorst, J. A.C.; Molleman, E.; Wortmann, H.: *Work design in future industrial production: Transforming towards cyber-physical systems*. *Computers & Industrial Engineering* (2020) 139, S. 1-11.

## WATZKA 2014

Watzka, K.: *Personalmanagement für Führungskräfte. Elf zentrale Handlungsfelder*. Wiesbaden: Springer Gabler 2014. ISBN: 978-3-658-06002-2.

## WEBSTER &amp; WATSON 2002

Webster, J.; Watson, R. T.: *Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review*. *MIS Quarterly* 26 (2002) 2, S. XIII-XXIII.

## WICHMANN ET AL. 2019

Wichmann, R. L.; Eisenbart, B.; Gericke, K.: *The Direction of Industry: A Literature Review on Industry 4.0*. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design 1* (2019) 1, S. 2129-2138.

## WINDELBAND &amp; SPÖTTL 2011

Windelband, L.; Spöttl, G.: *Konsequenzen der Umsetzung des "Internet der Dinge" für*

Facharbeit und Mensch-Maschine-Schnittstelle. In: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) (Hrsg.): FreQueNz Newsletter. Zukünftigen Qualifikationen auf der Spur, S. 11-12.

WINDELBAND & SPÖTTL 2012

Windelband, L.; Spöttl, G.: Diffusion von Technologien in die Facharbeit und deren Konsequenzen für die Qualifizierung am Beispiel des "Internet der Dinge". In: Faßhauer, U. et al. (Hrsg.): Berufs- und wirtschaftspädagogische Analysen. Aktuelle Forschungen zur beruflichen Bildung. Opladen: Barbara Budrich 2012, S. 205-219. ISBN: 978-3-8474-0007-3.

WOBBE & EULER 1993

Wobbe, G.; Euler, H.-P.: Arbeitswissenschaft als System. In: Hettinger, T. et al. (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Ludwigshafen: Kiehl 1993, S. 13-77. ISBN: 3-470-45401-9.

WOLF & STROHSCHEN 2018

Wolf, T.; Strohschen, J.-H.: Digitalisierung: Definition und Reife. Quantitative Bewertung der digitalen Reife. Informatik-Spektrum 41 (2018) 1, S. 56-64.

ZEPPENFELD & OIMANN 2018

Zeppenfeld, N.; Oimann, K.: Mitarbeiterkompetenzen im agilen Wandel. In: Molina, K. de et al. (Hrsg.): Kompetenzen der Zukunft - Arbeit 2030. Als lernende Organisation wettbewerbsfähig bleiben. Freiburg: Haufe Group 2018, S. 83-97. ISBN: 978-3-648-10724-9.

ZUBOFF 1988

Zuboff, S.: In the age of the smart machine. The future of work and power. New York: Basic Books 1988. ISBN: 0465032125.