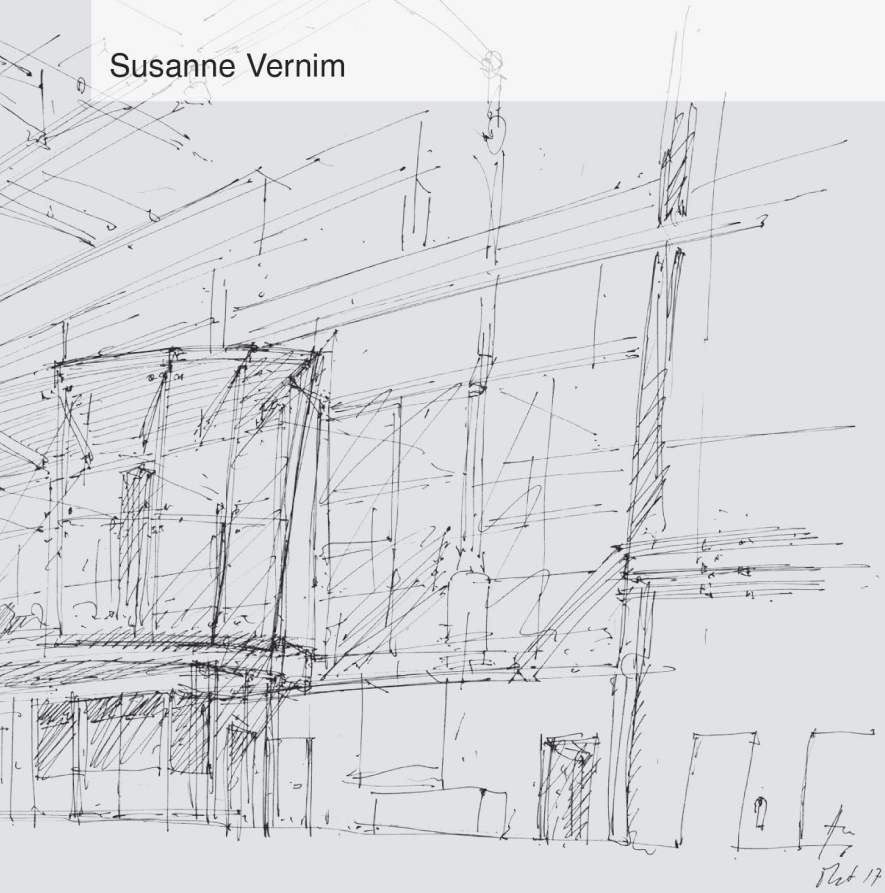
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften *(iwb)*
Fakultät für Maschinenwesen
Technische Universität München

# Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation

Susanne Vernim



Forschungsberichte des *iwb* 361

Susanne Vernim

# Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation

utzverlag · München 2021

Forschungsberichte iwb
Band 361

Ebook (PDF)-Ausgabe:
ISBN 978-3-8316-7679-8 Version: 1 vom 28.10.2021
Copyright© utzverlag 2021

Alternative Ausgabe: Softcover
ISBN 978-3-8316-4909-9
Copyright© utzverlag 2021

Susanne Vernim

# Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation

utzverlag

**Forschungsberichte IWB**

Band 361

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Sämtliche, auch auszugsweise Verwertungen bleiben vorbehalten.

Copyright © utzverlag GmbH · 2021

ISBN 978-3-8316-4909-9

Printed in Germany
utzverlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

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**

**1 Einleitung** ..... **1**

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

**2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen zur Montagearbeit** ..... **13**

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

**3 Stand der Erkenntnisse ... 37**

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

**4 Anforderungen und Konzeption der Methode ... 67**

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

**5 Konkretisierung und Entwicklung der Methode ... 75**

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

**6 Anwendung und Evaluation der Methode ..... 135**
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

**7 Zusammenfassung und Ausblick ..... 159**

**8 Anhang ..... 161**

**Literaturverzeichnis ..... 193**

# 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 Internet of Things (deutsch: Internet der Dinge) |
| IT | Informationstechnologie |
| *iwb* | 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: Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung) |

| | |
|---|---|
| RFID | Radio-frequency identification |
| ROI | Return on Invest |
| SF | Smart Factory |
| VM | Verknüpfungsmatrix |
| VR | Virtual Reality |
| VUCA | Englisches Akronym für Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity |
| 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 Renommees 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 Vorangehen 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).

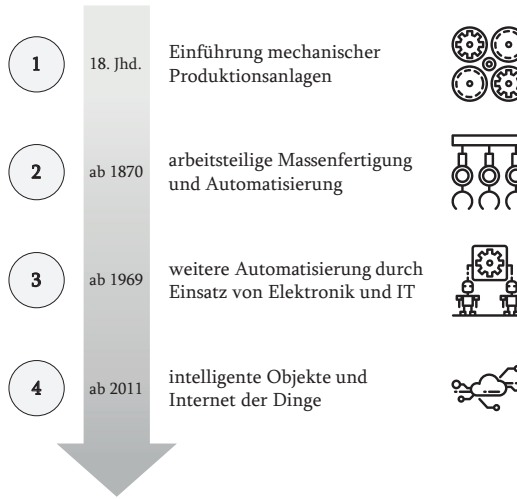



Abbildung 1-1: Gesamtheit der bisherigen technologiegetriebenen Entwicklungen/Revolutionen der Industrie in Anlehnung an REINHART & ZÜHLKE (2017, S. XXXI)[1]

[1] 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[2] und vertikale[3] 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).

[2] 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).

[3] 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.

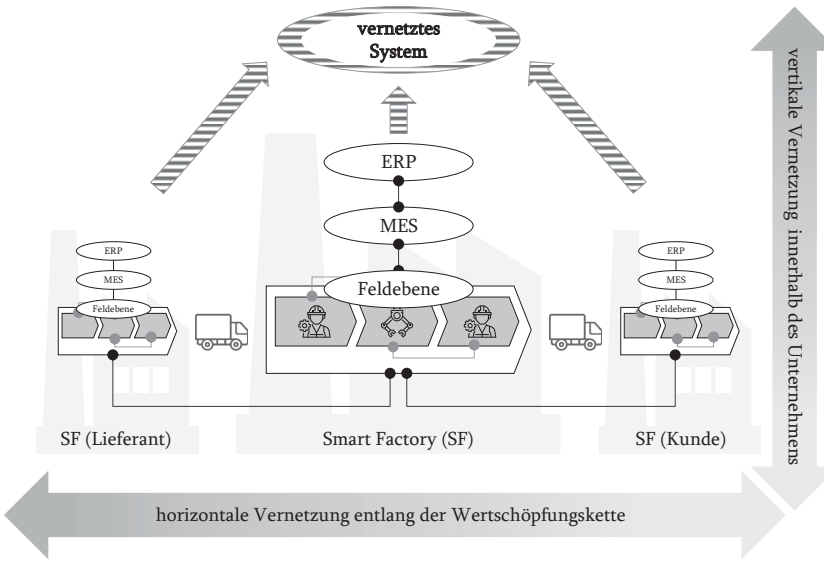



Abbildung 1-2: Horizontale und vertikale Vernetzung in der Smart Factory in Anlehnung an KAGERMANN ET AL. (2013B, S. 24) und SCHUH ET AL. (2017, S. 18 ff.)

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