

ifaa-Edition



Tim Jeske  
Frank Lennings *Hrsg.*



# Produktivitäts- management 4.0

Praxiserprobte Vorgehensweisen zur  
Nutzung der Digitalisierung in der Industrie

**ifaa** Institut für  
angewandte Arbeitswissenschaft

OPEN ACCESS

 Springer Vieweg

---

# ifaa-Edition

**Reihe herausgegeben von**

ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V., Düsseldorf, Deutschland

Die ifaa-Taschenbuchreihe behandelt Themen der Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation mit hoher Aktualität und betrieblicher Relevanz. Sie präsentiert praxisgerechte Handlungshilfen, Tools sowie richtungsweisende Studien, gerade auch für kleine und mittelständische Unternehmen. Die ifaa-Bücher richten sich an Fach- und Führungskräfte in Unternehmen, Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektroindustrie und Wissenschaftler.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13343>

---

Tim Jeske · Frank Lennings  
(Hrsg.)

# Produktivitätsmanagement 4.0

Praxiserprobte Vorgehensweisen zur  
Nutzung der Digitalisierung in der  
Industrie

*Hrsg.*

Tim Jeske  
Fachbereich Unternehmensexzellenz  
ifaa – Institut für angewandte  
Arbeitswissenschaft e. V.  
Düsseldorf, Deutschland

Frank Lennings  
Fachbereich Unternehmensexzellenz  
ifaa – Institut für angewandte  
Arbeitswissenschaft e. V.  
Düsseldorf, Deutschland



ISSN 2364-6896  
ifaa-Edition

ISSN 2364-690X (electronic)

ISBN 978-3-662-61583-6

ISBN 978-3-662-61584-3 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2021. Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

**Open Access** Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Alexander Gruen

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

Die fortschreitende vernetzte und intelligente Digitalisierung verändert bestehende Möglichkeiten und eröffnet neue Chancen im Umgang mit Daten und Informationen. Dies führt einerseits zu neuen Geschäftsmodellen, neuen Produkten und Dienstleistungen. Andererseits eröffnen sich große Potenziale für die Prozess- und Arbeitsgestaltung. Beispielsweise wird die bedarfsgerechte Bereitstellung von Daten und Informationen erleichtert, lassen sich Ergonomie und Lernförderlichkeit von Arbeit verbessern und die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter produktiv gestalten. Digitalisierung unterstützt die inner- und außerbetrieblichen Abstimmungsprozesse und erhöht gleichermaßen die Flexibilität von Unternehmen und Beschäftigten.

Vor dem Hintergrund der umfassenden Potenziale der Digitalisierung und ihrer Bedeutung für die deutsche Wirtschaft hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung den Förderschwerpunkt „Arbeit in der digitalisierten Welt“ initiiert. Sechs Projekte aus diesem Förderschwerpunkt widmeten sich verstärkt dem Produktivitätsmanagement und haben wichtige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geleistet. Sie haben ihre Ergebnisse handlungsleitend für Unternehmen aufbereitet und präsentieren diese im vorliegenden Werk. Einleitend dazu wird ein allgemeines Vorgehen für das Produktivitätsmanagement vorgestellt.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und viele Inspirationen zur Nutzung der Digitalisierung in Ihrem Unternehmen.

Düsseldorf  
im Frühjahr 2020

Prof. Dr.-Ing. Sascha Stowasser  
Direktor ifaa – Institut für angewandte  
Arbeitswissenschaft

---

## Grußwort

Die Digitalisierung beeinflusst heutzutage nahezu jede Form der Erwerbsarbeit. Der Einsatz digitaler Technologien ermöglicht die Flexibilisierung und Vernetzung der Arbeit und hat damit Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation, die Arbeitsbedingungen, auf Geschäftsmodelle, die Produktivität und die Wertschöpfung. Die Fragen nach den Konsequenzen für Erwerbstätige und Unternehmen sind Gegenstand vielfältiger Forschungstätigkeiten. Hierauf aufbauend gilt es, die digitale Transformation unter Einbeziehung aller Akteure auch als soziale Innovation zu gestalten. Dazu sind ganzheitliche Konzepte zu entwickeln, zu erproben und zu evaluieren. Das Ziel ist, dass die Menschen in unserer Gesellschaft weiterhin unter guten Bedingungen in wettbewerbsfähigen Unternehmen arbeiten können.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat sich zum Ziel gesetzt, den Herausforderungen des digitalen Wandels proaktiv zu begegnen. Aus Bundesmitteln und aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) wurde im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ der Förderschwerpunkt „Arbeit in der digitalisierten Welt“ gefördert. In 29 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden die technologischen Veränderungen, deren Auswirkungen und erforderliche Handlungsbedarfe analysiert und auf deren Basis entsprechende Handlungs- und Lösungsansätze entwickelt und erprobt.

Das Verbundprojekt TransWork begleitet und vernetzt den Förderschwerpunkt und unterstützt den Transfer der Ergebnisse in Wirtschaft und Wissenschaft. Eines der hierbei entstandenen Produkte ist das vorliegende Werk der Schwerpunktgruppe „Produktivitätsmanagement“, das je einen Beitrag aus den zugehörigen sechs Verbundprojekten enthält. In der Schwerpunktgruppe wird die Gestaltung digitalisierter Arbeit im Zusammenhang mit ihrem Einfluss auf die Produktivität betrachtet. Die Potenziale der Digitalisierung sollen so gleichermaßen zur menschenzentrierten Gestaltung von Arbeit und zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft erschlossen werden. Vor diesem Hintergrund entstand das vorliegende Werk, in dem die Autorinnen

und Autoren die Ergebnisse aus ihren vielfältigen Forschungs-, Erprobungs- und Evaluationsarbeiten handlungsleitend darstellen, sodass die Vorteile einer digitalisierten Arbeitswelt für Beschäftigte und Unternehmen erschlossen werden können.

Karlsruhe  
im Frühjahr 2020

Dr. Paul Armbruster  
Projekträger Karlsruhe (PTKA)

---

## Förderhinweis

Im Förderschwerpunkt „Arbeit in der digitalisierten Welt“ werden die Projekte InAsPro (FKZ: 02L15A240 ff.), IntAKom (FKZ: 02L15A020 ff.), IviPep (FKZ: 02L15A120 ff.), Montexas4.0 (FKZ: 02L15A260 ff.), SiTra 4.0 (FKZ: 02L15A000 ff.) und SynDiQuAss (FKZ: 02L15A280 ff.) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds gefördert und vom Projektträger Karlsruhe betreut. Diese Projekte bilden eine Schwerpunktgruppe zum Thema „Produktivitätsmanagement“ und werden durch das Projekt TransWork (FKZ: 02L15A160 ff.) begleitet, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und vom Projektträger Karlsruhe betreut wird. Die Verantwortung für den Inhalt der einzelnen Beiträge liegt bei den Autoren.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Überblick</b> .....	1
Tim Jeske	
1.1 Potenziale der Digitalisierung .....	1
1.2 Förderschwerpunkt Arbeit in der digitalisierten Welt .....	2
1.3 Begleitung durch TransWork .....	3
1.4 Schwerpunktgruppe Produktivitätsmanagement .....	4
1.5 Überblick zum Buch .....	4
Literatur .....	5
<b>2 Produktivitätsmanagement</b> .....	7
Olaf Eisele, Tim Jeske und Frank Lennings	
2.1 Produktivitätsmanagement im Wandel .....	8
2.1.1 Bedeutung von Produktivitätsmanagement .....	8
2.1.2 Aktuelles Produktivitätsmanagement .....	10
2.1.3 Anforderungen an ein zukünftiges Produktivitätsmanagement .....	10
2.2 Auswirkungen, Strategien und Potenziale der Digitalisierung für das Produktivitätsmanagement .....	12
2.2.1 Grundlagen der Digitalisierung .....	12
2.2.2 Auswirkung der Digitalisierung .....	14
2.2.3 Ziele und Strategien der Digitalisierung .....	15
2.2.4 Potenziale der Digitalisierung .....	16
2.3 Ganzheitliches Produktivitätsmanagement .....	17
2.3.1 Modell eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements .....	17
2.3.2 Systematische Vorgehensweise .....	20
2.4 Beispiele für Digitalisierung aus der Praxis .....	28
2.4.1 Bedarf nach Beispielen für Digitalisierung aus der Praxis .....	28
2.4.2 Ordnungskriterien für Digitalisierungsbeispiele .....	29
2.4.3 Aufbau und Anwendung eines Ordnungs- und Gestaltungsrahmens .....	31

2.4.4	Übersicht strukturierter Beispiele für Digitalisierung aus der Praxis . . . . .	34
2.5	Checkliste zur Gestaltung der Digitalisierung in der Praxis . . . . .	36
2.5.1	Bestimmung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen . . . . .	36
2.5.2	Umsetzung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen . . . . .	38
2.6	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	38
	Literatur . . . . .	40
<b>3</b>	<b>Eine nachhaltige Sicherheitskultur als Transformationsansatz für Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen . . . . .</b>	<b>43</b>
	Claas Digmayer, Eva-Maria Jakobs, Anna Borg, Achim Buschmeyer, Cornelia Hahn, Johanna Kluge, Jonathan Reinartz, Jan Westerbarkey und Martina Ziefle	
3.1	Ausgangssituation . . . . .	44
3.1.1	Ausgangssituation und Herausforderungen in der Komponentenherstellung . . . . .	46
3.1.2	Ausgangssituation und Herausforderungen in der Baubranche . . . . .	46
3.2	Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen . . . . .	47
3.2.1	Schritt 1: Anforderungen an den Transformationsprozess identifizieren . . . . .	48
3.2.2	Schritt 2: Die bestehende Sicherheitskultur analysieren . . . . .	49
3.2.3	Schritt 3: Nutzenpotentiale einer Sicherheitskultur 4.0 offenlegen . . . . .	49
3.2.4	Schritt 4: Maßnahmen für die Transformation zu einer Sicherheitskultur 4.0 ergreifen . . . . .	49
3.3	Ergebnisse . . . . .	51
3.3.1	Auswirkungen auf Arbeitsgestaltung . . . . .	51
3.3.2	Produktivitätswirkung bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung . . . . .	65
3.3.3	Beitrag zu übergeordneten Zielen . . . . .	76
3.4	Lessons learned . . . . .	77
	Literatur . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Arbeit 4.0 in der Produktentstehung . . . . .</b>	<b>81</b>
	Marc Foullois, Michael Bansmann, Lisa Mlekus, Agnieszka Paruzel, Dominik Bentler, Anna-Lena Kato-Beiderwieden, Sascha Jenderny und Lars Seifert	
4.1	Ausgangssituation . . . . .	82
4.2	Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung . . . . .	84
4.2.1	Bedarfe erkennen und erfassen . . . . .	84
4.2.2	Informationen einholen . . . . .	87
4.2.3	Einbindung der Beschäftigten . . . . .	90
4.2.4	Umsetzung . . . . .	91

4.2.5	Auswirkungen digitalisierter Arbeit. . . . .	92
4.2.6	Qualifizierung. . . . .	94
4.3	Ergebnisse . . . . .	96
4.3.1	Auswirkungen auf Arbeitsgestaltung. . . . .	96
4.3.2	Mehrwerte digitalisierter Arbeit. . . . .	101
4.3.3	Beitrag zu übergeordneten Zielen . . . . .	109
4.4	Lessons learned . . . . .	109
	Literatur. . . . .	111
<b>5</b>	<b>Integration eines digitalen Assistenzsystems für die industrielle Montage. . . . .</b>	<b>115</b>
	Thimo Keller, Christian Bayer, Joachim Metternich, Mehrach Saki, Stephanie Schmidt, Oliver Sträter, Wolfgang Anlauff und Hans-Dieter Hartwich	
5.1	Anwendungsbeispiel . . . . .	116
5.2	Projekthintergrund . . . . .	118
5.3	Ergebnisse . . . . .	130
5.3.1	Motion Capturing und MABO-Fragebogen. . . . .	130
5.3.2	Human- und Gestaltungskriterien für gute digitale Arbeit in der Montage. . . . .	131
5.3.3	Produktivität in der Produktion . . . . .	135
5.3.4	Beitrag zu übergeordneten Zielen . . . . .	140
5.4	Lessons learned . . . . .	142
	Literatur. . . . .	145
<b>6</b>	<b>Informatorische Assistenzsysteme in der variantenreichen manuellen Montage. . . . .</b>	<b>147</b>
	Dominic Bläsing, Manfred Bornewasser, Sven Bendzioch, Sven Hinrichsen, Alexander Nikolenko und Philip Sehr	
6.1	Ausgangssituation . . . . .	148
6.2	Vorgehensweise zur Zielerreichung. . . . .	150
6.3	Ergebnisse . . . . .	151
6.3.1	Gestaltung eines Assistenzsystems für das Arbeitssystem der Fahrzeugrahmenmontage. . . . .	151
6.3.2	Kognitive Beanspruchung in der variantenreichen Montage am Beispiel der Fahrzeugrahmenmontage . . . . .	158
6.4	Lessons Learned. . . . .	176
	Literatur. . . . .	180

<b>7 Synchronisation von Digitalisierung, Qualitätssicherung und Assistenzsystemen an Arbeitsplätzen mit geringem Automatisierungsgrad</b> .....	185
Tobias Rusch, Amelie Riegel, Michael Hueber, Florian Kerber, Lukas Merkel, Robin Sochor, Laura Merhar, Massimo Romanelli, Zhenqiang Guo, Hermann Klug und Benedikt Stelzle	
7.1 Ausgangssituation .....	186
7.1.1 Vorstellung der Anwendungsfälle .....	188
7.1.2 Übergreifende Projektziele .....	193
7.2 Vorgehen im Projekt. ....	196
7.2.1 Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen. ....	196
7.2.2 Auswahl der Assistenzsysteme mit integriertem Erprobungskonzept .....	198
7.2.3 Vorgehen zur Produktivitätsmessung .....	199
7.3 Ergebnisse im Projekt .....	202
7.3.1 Ausarbeitung einer projektübergreifenden Handlungsverpflichtung (Commitment) .....	203
7.3.2 Ergebnisse der ersten Erprobungsphase. ....	205
7.3.3 Spezifikation standardisierter Montagearbeitsplätze .....	208
7.3.4 Softwaresystem für Montageassistenten. ....	215
7.4 Lessons Learned. ....	221
Literatur. ....	224
<b>8 Digitalisierung für Mensch und Organisation im Aftersales</b> .....	229
Marcus Pier, Carina Siedler, Stephanie Dupont, Klaus J. Zink und Jan C. Aurich	
8.1 Vorstellung der Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG .....	230
8.2 Ausgangssituation der Pilotanwendung im Aftersales. ....	233
8.3 Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen. ....	239
8.3.1 Analyse und Planung der Umsetzung .....	240
8.3.2 Umsetzung bei GRIMME .....	248
8.3.3 Unterstützende Methoden bei der Umsetzung. ....	251
8.4 Ergebnisse .....	252
8.4.1 Darstellung der erarbeitenden Ergebnisse .....	253
8.4.2 Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung. ....	256
8.4.3 Produktivitätswirkung bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	258
8.4.4 Beitrag zu übergeordneten Zielen im Förderschwerpunkt. ....	258
8.5 Lessons learned .....	259
8.6 Zusammenfassung und Ausblick .....	260
Literatur. ....	261

---

## Autorenverzeichnis

**Wolfgang Anlauff** ffw GmbH – Gesellschaft für Personal- und Organisationsentwicklung, Nürnberg

**Prof. Dr. Jan C. Aurich** Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation (FBK), Technische Universität Kaiserslautern

**Michael Bansmann** Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn

**Christian Bayer** Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschine, Technische Universität Darmstadt

**Sven Bendzioch** Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

**Dominik Bentler** Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld

**Dominic Bläsing** Institut für Psychologie, Universität Greifswald

**Anna Borg** CBM Gesellschaft für Consulting Business und Management mbH, Bexbach

**Prof. Dr. Manfred Bornewasser** Institut für Psychologie, Universität Greifswald

**Dr. Achim Buschmeyer** DERICHS u KONERTZ GmbH u Co KG, Aachen

**Dr. Claas Digmayer** Textlinguistik und Technikkommunikation, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University

**Stephanie Dupont** Institut für Technologie und Arbeit (ITA), Kaiserslautern

**Olaf Eisele** ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf

**Marc Foullois** Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn

**Zhenqiang Guo** paragon semvox GmbH, Kirkel-Limbach

**Cornelia Hahn** DERICHS u KONERTZ GmbH u Co KG, Aachen

**Hans-Dieter Hartwich** ffw GmbH – Gesellschaft für Personal- und Organisationsentwicklung, Nürnberg

**Prof. Dr. Sven Hinrichsen** Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

**Michael Hueber** Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg

**Prof. Dr. Eva-Maria Jakobs** Textlinguistik und Technikkommunikation, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University

**Sascha Jenderny** Institutsteil für Industrielle Automation INA, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Lemgo

**Dr. Tim Jeske** ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf

**Anna-Lena Kato-Beiderwieden** Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld

**Thimo Keller** Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, Technische Universität Darmstadt

**Prof. Dr. Florian Kerber** Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg

**Hermann Klug** SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH, Nördlingen

**Dr. Johanna Kluge** Communication Science, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University

**Dr. Frank Lennings** ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf

**Laura Merhar** Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Augsburg

**Lukas Merkel** Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Augsburg

**Prof. Dr. Joachim Metternich** Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, Technische Universität Darmstadt

**Lisa Mlekus** Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld

**Alexander Nikolenko** Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

**Agnieszka Paruzel** Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld

**Marcus Pier** Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, Kaiserslautern

**Jonathan Reinartz** Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen University

**Amelie Riegel** Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg

**Massimo Romanelli** paragon semvox GmbH, Kirkel-Limbach

**Tobias Rusch** Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg

**Mehrach Saki** Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel

**Stephanie Schmidt** Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel

**Philip Sehr** Institut für industrielle Informationstechnik, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

**Lars Seifert** myview systems GmbH, Büren

**Carina Siedler** Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation (FBK), Technische Universität Kaiserslautern

**Robin Sochor** Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Augsburg

**Benedikt Stelzle** Ohnhäuser GmbH, Wallerstein

**Prof. Dr. Oliver Sträter** Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel

**Jan Westerbarkey** Westaflex GmbH, Gütersloh

**Prof. Dr. Martina Ziefle** Communication Science, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University

**Prof. Dr. Klaus J. Zink** Institut für Technologie und Arbeit (ITA), Kaiserslautern

# Einleitung und Überblick

# 1

Digitalisierung und Arbeitsgestaltung, Förderschwerpunkt und Begleitvorhaben, Schwerpunktgruppe und Buchstruktur

Tim Jeske 

## Zusammenfassung

Die Digitalisierung und ihre Potenziale für die Arbeitsgestaltung werden in diesem einleitenden Überblicksbeitrag kurz umrissen. Vor diesem Hintergrund werden der Förderschwerpunkt „Arbeit in der digitalisierten Welt“ und seine Begleitung durch das Projekt TransWork beschrieben. Die damit verbundene Strukturierung der insgesamt 29 begleiteten Projekte in Schwerpunktgruppen wird erläutert und die Schwerpunktgruppe „Produktivitätsmanagement“ näher dargestellt. Schließlich werden das vorliegende Werk und der handlungsleitende Aufbau der Beiträge aus der Schwerpunktgruppe beschrieben: vom praktischen Anwendungsbeispiel über ein schrittweises Vorgehen bis hin zu zentralen Ergebnissen und Lessons Learned.

## 1.1 Potenziale der Digitalisierung

Digitalisierung bezeichnet zunächst das Erstellen digitaler Abbilder analoger Inhalte wie Bilder und Texte. Mittlerweile werden die damit verbundenen Potenziale in nahezu allen Bereichen des Lebens genutzt und die damit verbundene Verbreitung digitaler Technologien ebenfalls als Digitalisierung bezeichnet. Im Bereich der industriellen Produktion hat dies zum Entstehen des Begriffs der Industrie 4.0 geführt, die eine stark von Digitalisierung geprägte und vernetzte Produktion beschreibt, wie sie zukünftig erwartet wird. In Anlehnung daran sind weitere Begriffe entstanden, die sich an Industrie 4.0

---

T. Jeske (✉)

ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf, Deutschland

E-Mail: [t.jeske@ifaa-mail.de](mailto:t.jeske@ifaa-mail.de)

© Der/die Autor(en) 2021

T. Jeske und F. Lennings (Hrsg.), *Produktivitätsmanagement 4.0*, ifaa-Edition,

[https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3_1)

anlehnen und bspw. mit der Arbeitswelt 4.0 eine zukünftige ebenfalls von Digitalisierung und Vernetzung geprägte Arbeitswelt bezeichnen.

Mit der Digitalisierung sind große Erwartungen verbunden, die sowohl die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft betreffen als auch neue Möglichkeiten zur Gestaltung von Arbeit [6]. Beispiele für neue Möglichkeiten der Arbeitsgestaltung lassen sich unter anderem anhand dreier in gegenseitiger Abhängigkeit stehender Gestaltungsfelder strukturieren: Technik, Organisation und Mensch. Digitale Technik ermöglicht es, bspw. die Benutzungsschnittstellen von Maschinen und Anlagen bedarfsabhängig zu gestalten und echtzeitnahe Informationen über die Zustände von Arbeitsmitteln, Produkten und Halbzeugen zu erfassen und softwaregestützt aufzubereiten. Auf dieser Grundlage lässt sich die Organisation betrieblicher Abläufe neu gestalten und verbessern. Einerseits betrifft dies, die Verteilung und Verfügbarkeit von Informationen im Unternehmen, die papierlos bzw. in digitaler Form bspw. die Kommunikation von Änderungen an Auftragsunterlagen oder das Anzeigen von Arbeitsanleitungen in Abhängigkeit des Arbeitsfortschritts an einem Werkstück stark vereinfacht. Schließlich können dem Menschen aufbereitete und bedarfsgerechte Informationen über unterschiedliche Technologien bereitgestellt werden, die von Smartwatches über Datenbrillen, Phablets und Tablets bis hin zu Großbildschirmen und Projektionen reichen [9]. Gleichermaßen sind neue Möglichkeiten zur Abstimmung von Terminen, für mobiles Arbeiten und zur lernförderlichen Gestaltung von Arbeit bzw. arbeitsintegriertem Lernen entstanden.

Diese Gestaltungspotenziale eignen sich dazu, sowohl informatorische als auch energetische Anteile von Arbeit zu unterstützen. Informatorische Anteile betreffen die Bereitstellung und den Umgang mit Informationen über den Gegenstand der Arbeit oder als Gegenstand der Arbeit. Sie können durch die Digitalisierung direkt unterstützt werden. Energetische Anteile betreffen physische Kraftaufwände, die zur Erledigung einer Arbeitstätigkeit zu erbringen sind. Sie können durch die Digitalisierung indirekt unterstützt werden, indem technische Hilfsmittel situativ gesteuert werden. Beispiele hierfür sind unter anderem Roboter im Rahmen der Mensch-Roboter-Kollaboration oder aktive Exoskelette, die sowohl Kräfte in den Boden ableiten als auch mit Kraft unterstützen können. Da alle Formen von Arbeit sich aus unterschiedlichen Anteilen informatorischer und energetischer Arbeit zusammensetzen [8], können auch alle Arbeitsformen durch die Digitalisierung unterstützt werden. Es bestehen also vielfältige Potenziale, die Arbeitsgestaltung unter Verwendung der Möglichkeiten der Digitalisierung innovativ weiterzuentwickeln.

---

## 1.2 Förderschwerpunkt Arbeit in der digitalisierten Welt

Mit dem Ziel die Potenziale der Digitalisierung nutzbar zu machen, wurde der Förderschwerpunkt „Arbeit in der digitalisierten Welt“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiiert. Der Förderschwerpunkt adressiert die

Ziele des übergeordneten Forschungsprogramms „Zukunft der Arbeit“ (2014–2020) und greift zudem die Ziele der Hightech-Strategie der Bundesregierung auf. Dementsprechend geht es darum, dass Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Zusammenspiel von Theorie und Praxis innovative Lösungen entwickeln und erproben, um Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern und auszubauen. Dazu werden Arbeitsprozesse in Produktion und Dienstleistung unter Verwendung der Möglichkeiten der Digitalisierung effizient und bedarfsgerecht gestaltet. Dabei werden die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeitsgestaltung, den Gesundheitsschutz und die Unternehmensorganisation betrachtet und berücksichtigt [3].

Der Förderschwerpunkt umfasst 29 Verbundprojekte, die mit einer Fördersumme von rund 50 Mio. EUR unterstützt werden. In den Projekten arbeiten insgesamt rund 90 Unternehmen und rund 70 Forschungseinrichtungen zusammen, um die Ziele des Förderschwerpunkts zu erreichen.

---

### 1.3 Begleitung durch TransWork

Das Verbundprojekt „TransWork – Transformation der Arbeit durch Digitalisierung“ ergänzt den Förderschwerpunkt. Im Projekt werden die Vernetzung und der Austausch der 29 vorgenannten Projekte untereinander unterstützt sowie der Transfer von Ergebnissen an die (Fach-)Öffentlichkeit über Publikationen und Veranstaltungen gefördert. Zugleich werden in TransWork eigene Forschungsarbeiten zu verschiedenen übergreifenden Themen durchgeführt. Diese Themen sind:

- Assistenzsysteme und Kompetenzentwicklung
- Projekt- und Teamarbeit in der digitalisierten Arbeitswelt
- Produktivitätsmanagement
- Gestaltung vernetzt-flexibler Arbeit
- Arbeitsgestaltung im digitalen Veränderungsprozess

Um Forschung und Vernetzung gleichermaßen zu unterstützen, wurden die 29 geförderten Projekte in fünf Schwerpunktgruppen strukturiert, die den übergreifenden Themen entsprechen. Auf diese Weise werden Projekte mit sich ergänzenden Inhalten vernetzt und der Austausch zum jeweiligen Thema gefördert. Neben regelmäßigen Treffen innerhalb der Schwerpunktgruppen dienen auch schwerpunktgruppenübergreifende Veranstaltungen dem Austausch. Der Transfer und die Verbreitung von Ergebnissen in die (Fach-)Öffentlichkeit erfolgen unter anderem über gemeinsame Publikationen:

- Broschüre mit Übersicht der Projekte im Förderschwerpunkt ([OpenAccess](#))
- Broschüre mit Zwischenergebnissen der Projekte im Förderschwerpunkt ([OpenAccess](#) [1])
- Buch zum Thema Projekt- und Teamarbeit in der digitalisierten Arbeitswelt ([OpenAccess](#) [7])

- Buch zum Thema Gestaltung vernetzt-flexibler Arbeit ([OpenAccess](#) [4])
- Buch zum Thema Produktivitätsmanagement 4.0 (das vorliegende Werk, OpenAccess)
- Buch mit Ergebnissen aller geförderten Projekte ([OpenAccess](#) [2])

---

## 1.4 Schwerpunktgruppe Produktivitätsmanagement

Die Möglichkeiten, die Digitalisierung zur Steigerung der Produktivität und damit zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit am Hochlohnstandort Deutschland zu nutzen, sind Gegenstand dieser Schwerpunktgruppe. Die Gruppe umfasst folgende Projekte (alphabetische Reihung):

- InAsPro – Integrierte Arbeitssystemgestaltung in digitalisierten Produktionsunternehmen
- IntAKom – Intelligente Aufwertung der manuellen und teilautomatisierten Arbeit durch den Einsatz digitaler Kommunikationstechnologie
- IviPep – Instrumentarium zur Gestaltung individualisierter virtueller Produktentstehungsprozesse in der Industrie 4.0
- Montexas4.0 – Exzellente Montage im Kontext der Industrie 4.0 – wirtschaftlich und kompetenzförderlich
- SiTra 4.0 – Nachhaltige Sicherheitskultur als Transformationsansatz für Industrie 4.0 in KMU
- SynDiQuAss – Synchronisierung von Digitalisierung, Qualitätssicherung und Assistenzsystem an Arbeitsplätzen mit geringem Automatisierungsgrad

Die Inhalte der Projekte reichen von der Unterstützung der Produktentstehung über verschiedene Aspekte der Montage bzw. diese unterstützende Assistenzsysteme bis hin zu ganzheitlichen Transformationsprozessen und Sicherheitskultur [5].

---

## 1.5 Überblick zum Buch

Das vorliegende Werk dient dem Transfer der Projektergebnisse in die betriebliche Praxis. Zu diesem Zweck wird im zweiten Kapitel das Produktivitätsmanagement aus übergeordneter Sicht beschrieben und dargestellt, welchen Veränderungen es unterliegt, wie sich die Digitalisierung darauf auswirkt und wie es ganzheitlich gestaltet werden kann. Dazu werden auch eine strukturierte Sammlung von Beispielen durchgeführter Digitalisierungsmaßnahmen vorgestellt und eine Methodik zur bedarfsgerechten Auswahl und erfolgreichen Umsetzung solcher Maßnahmen beschrieben. Anschließend folgen die Beiträge aus den einzelnen Verbundprojekten der Schwerpunktgruppe. Diese fokussieren spezifische Themen anhand konkreter betrieblicher Anwendungsfälle und sind in Anlehnung an einen Produktentstehungsprozess gereiht. Für die Beiträge wurde eine einheitliche, handlungsorientierte Struktur gewählt:

- Ausgangssituation  
Darstellung des betrieblichen Anwendungsfalls, der im jeweiligen Beitrag beschrieben wird, sodass die betrieblichen Bedarfe und die damit verbundene Zielsetzung deutlich werden (teilweise werden mehrere Anwendungsfälle beschrieben)
- Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen  
Schrittweise Darstellung der im jeweiligen Projekt erarbeiteten Vorgehensweise zur Veränderung bzw. zur Einführung einer digitalen Lösung – dabei wird für jeden Schritt jeweils zunächst ein allgemeines theoriegeleitetes Vorgehen beschrieben und anschließend anhand des jeweiligen Anwendungsfalls die praktische Umsetzung beschrieben
- Ergebnisse  
Konkrete Veränderungen aufgrund der beschriebenen Vorgehensweise werden anhand des jeweiligen betrieblichen Anwendungsfalls beschrieben
  - Auswirkungen auf Arbeitsgestaltung
  - Produktivitätswirkung bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
  - Beitrag zu übergeordneten Zielen des Förderschwerpunkts (Digitalisierung der Arbeit als soziale Innovationschance; Sharing Economy, Mobile und Cloud Computing als Auslöser für Arbeitsinnovationen; Ergonomische und gesundheitsförderliche Arbeitssystemgestaltung im digitalen Zeitalter)
- Lessons learned  
Erfahrungen mit kritischen Punkten und Erfolgsfaktoren werden in Kurzform zusammengestellt – jeweils mit dem Hinweis bei welchen Schritten des Vorgehens sie unterstützen.

---

## Literatur

1. Bauer W, Stowasser S, Mütze-Niewöhner S, Zanker C, Brandl KH (2019) Arbeit in der digitalisierten Welt – Stand der Forschung und Anwendung im BMBF-Förderschwerpunkt. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. <https://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-548964.html>. Zugegriffen: 23. August 2019
2. Bauer W, Mütze-Niewöhner S, Stowasser S, Zanker C, Müller N (in Vorbereitung) Arbeit in der digitalisierten Welt – Praxisbeispiele und Gestaltungslösungen aus dem BMBF-Förderschwerpunkt. Springer Vieweg, Berlin. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62215-5>
3. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015) Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen für den Forschungsschwerpunkt "Arbeit in der digitalisierten Welt" im Rahmen des FuE-Programms "Zukunft der Arbeit" als Teil des Dachprogramms "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen". <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung.php?B=1017>. Zugegriffen: 06. Dezember 2019

4. Daum M, Wedel M, Zinke-Wehlmann C, Ulbrich H (Hrsg) (2020) Gestaltung vernetzt-flexibler Arbeit – Beiträge aus Theorie und Praxis für die digitale Arbeitswelt. Springer Vieweg, Berlin. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61560-7>
5. Jeske T (2019) Produktivitätsmanagement im Förderschwerpunkt »Arbeit in der digitalisierten Welt«. Betriebspraxis & Arbeitsforschung (236):38–41
6. Jeske T, Weber MA, Lennings F (2018) Chancen der Digitalisierung für das Produktivitätsmanagement. In: GfA (Hrsg) Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung. Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21.–23. Februar 2018. GfA-Press, Dortmund, Beitrag C.6.5
7. Mütze-Niewöhner S, Hacker W, Hardwig T, Kauffeld S, Latniak E, Nicklich M, Pietrzyk U (Hrsg) (in Vorbereitung) Projekt- und Teamarbeit in der digitalisierten Arbeitswelt – Herausforderungen, Strategien und Empfehlungen. Springer Vieweg, Berlin. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62231-5>
8. Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Springer, Berlin
9. Weber MA, Jeske T, Lennings F (2017) Digitalisierung und Produktivitätsmanagement – Studienergebnisse, Potenziale und Handlungsempfehlungen. Leistung & Entgelt (4):3–46

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





# Produktivitätsmanagement

# 2

## Anforderungen, Gestaltung und Umsetzung in der digitalisierten Arbeitswelt

Olaf Eisele, Tim Jeske  und Frank Lennings

### Zusammenfassung

Digitalisierung, Industrie 4.0 und künstliche Intelligenz (KI) bieten Unternehmen neue Chancen, um Produkte, Dienstleistungen und Leistungserstellungsprozesse zu gestalten und ihre Produktivität und damit Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Gleichzeitig führen die damit verbundenen Veränderungen in der Arbeitswelt aber auch zu veränderten Rahmenbedingungen, Strukturen und Anforderungen. Um diesen Veränderungen gerecht zu werden, müssen bisherige Ansätze des Produktivitätsmanagements an die neuen Bedingungen angepasst werden. Nur so kann ein produktivitätssteigernder und damit erfolgreicher Einsatz neuer Technologien und digitaler Wandel hin zur vernetzten Produktion in einer Industrie 4.0 sichergestellt werden. Dieser Beitrag beschreibt die neuen Anforderungen an das Produktivitätsmanagement und gibt eine Handlungsempfehlung, wie dies in digitalisierten und vernetzten Arbeitswelten der Zukunft erfolgreich gestaltet und praktisch umgesetzt werden kann.

---

O. Eisele (✉) · T. Jeske · F. Lennings

ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf, Deutschland

E-Mail: [o.eisele@ifaa-mail.de](mailto:o.eisele@ifaa-mail.de); [t.jeske@ifaa-mail.de](mailto:t.jeske@ifaa-mail.de); [f.lennings@ifaa-mail.de](mailto:f.lennings@ifaa-mail.de)

© Der/die Autor(en) 2021

T. Jeske und F. Lennings (Hrsg.), *Produktivitätsmanagement 4.0*, ifaa-Edition,

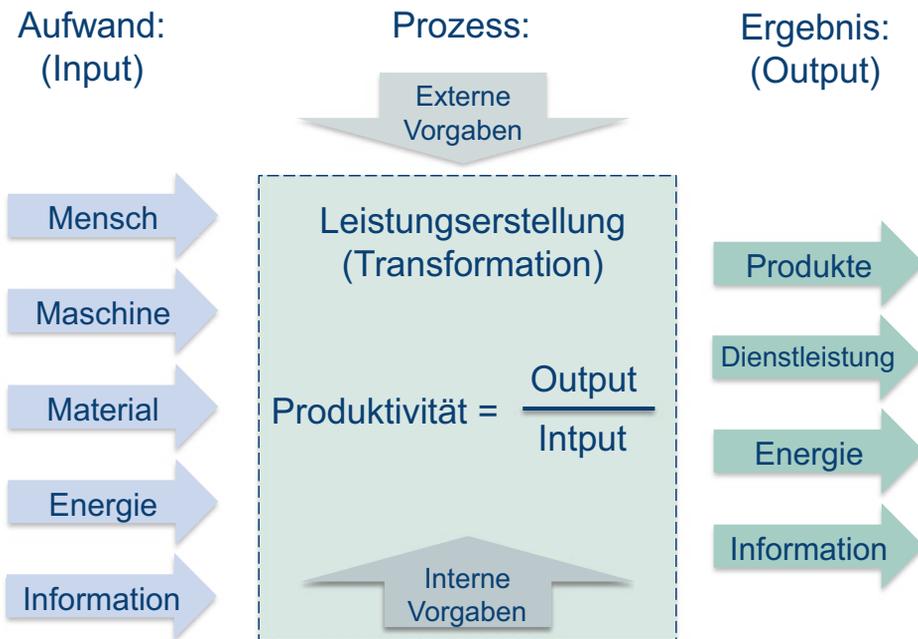
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3_2)

## 2.1 Produktivitätsmanagement im Wandel

### 2.1.1 Bedeutung von Produktivitätsmanagement

Der Begriff Produktivität bezeichnet das Verhältnis von Ergebnis (Output) zu Aufwand (Input) eines Prozesses [23] unter bestimmten internen und externen Vorgaben. Externe Vorgaben können auf Unternehmensebene bspw. durch gesetzliche Vorschriften vorhanden sein. Interne Vorgaben können in Form von selbst erstellten Prozessrichtlinien oder Arbeitsanweisungen bestehen. Ergebnisse eines Leistungserstellungsprozesses können Produkte, Dienstleistungen oder Informationen sein. Um diese in einem Prozess zu erzeugen, ist die Nutzung von Ressourcen (Aufwand) erforderlich. Ressourcen können in Form von Arbeitskräften, Betriebsmitteln, Material, Energie oder Informationen eingesetzt werden (siehe Abb. 2.1).

Die Produktivität kann mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad – vom Einzelarbeitsplatz bis zur gesamten Volkswirtschaft – beschrieben werden. Auf volkswirtschaftlicher Ebene ist die Produktivität eine wichtige Zielgröße zur Weiterentwicklung des Wohlstandes einer Gesellschaft und auf Unternehmensebene für die Wettbewerbsfähigkeit und damit Existenz [14].



**Abb. 2.1** Produktivität von Prozessen [4]

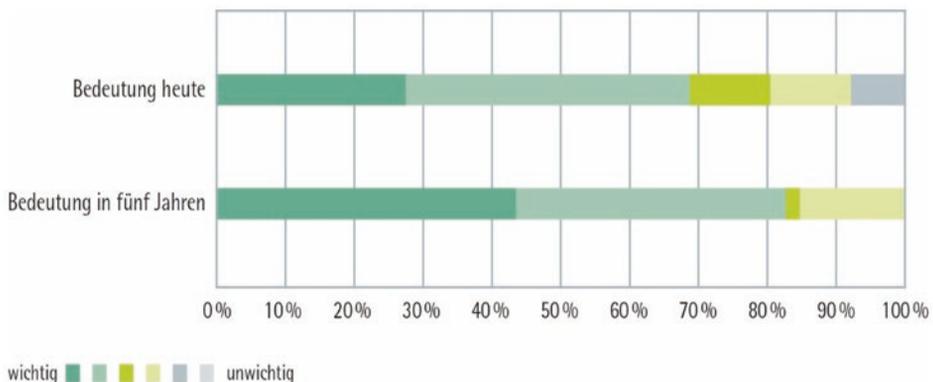
Das Produktivitätsmanagement dient dem Erreichen dieser Ziele durch Analyse, Planung, Steuerung, Verbesserung und Überwachung der Produktivität mit Hilfe von Produktivitätskennzahlen.

Je nach Zielsetzung und Betrachtungsschwerpunkt lässt sich die Produktivität durch unterschiedliche Produktivitätskennzahlen ermitteln. Sehr verbreitet ist die Ermittlung der Arbeitsproduktivität, die den Output als Wert oder Menge erstellter Güter und Dienstleistung in das Verhältnis zur eingesetzten Ressource menschliche Arbeit als Input setzt. Der Arbeitsinput wird häufig als Anzahl eingesetzter Menschen (pro Kopf Produktivität) oder eingesetzter Arbeitsstunden (Produktivität pro Arbeitsstunde) erfasst.

Gemäß Zahlen des statistischen Bundesamtes hat sich das Arbeitsproduktivitätswachstum, gemessen als preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt je Erwerbstätigen, in Deutschland von 0,7 % (2017) auf 0,1 % (2018) reduziert. Gleichzeitig ist die Lohnstückkostenerhöhung von 1,9 % (2017) auf 2,8 % (2018) pro Jahr gestiegen [17]. In Ökonomie und Politik wird dies mit Sorge betrachtet, da ein Produktivitätswachstum als entscheidender Treiber für den Wohlstand einer Gesellschaft gilt [6]. Für Unternehmen sind kontinuierliche Produktivitätsverbesserungen zudem überlebenswichtig, um im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig zu bleiben.

Deutschland zeichnet sich im internationalen Vergleich durch hohe Lohnkosten und Steuerbelastungen aus. Um den Industriestandort Deutschland trotz dieser Standortnachteile zu sichern, sind Konzepte erforderlich, mit denen diese Nachteile durch höhere Produktivität ausgeglichen werden können.

In einer ifaa-Studie zu Produktivitätsmanagement und Digitalisierung, die im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojekts „TransWork“ entstanden ist, wurden Unternehmen zur aktuellen und zukünftigen Bedeutung des Produktivitätsmanagements befragt [21]. Es zeigte sich, dass die Bedeutung des Produktivitätsmanagements für den Erfolg von Unternehmen bereits heute als hoch eingeschätzt wird und für die nächsten Jahre eine Bedeutungszunahme erwartet wird (siehe Abb. 2.2).



**Abb. 2.2** Bedeutung des Produktivitätsmanagements für den Erfolg von Unternehmen in der Metall- und Elektroindustrie (n=46–51; [21])

## 2.1.2 Aktuelles Produktivitätsmanagement

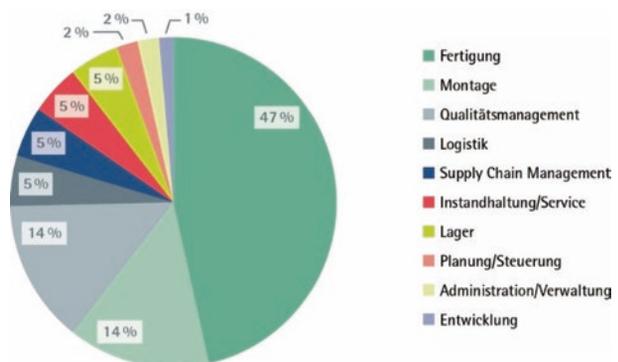
Das aktuelle Produktivitätsmanagement ist in Industrieunternehmen häufig auf die Produktivität im direkt wertschöpfenden Produktionsbereich fokussiert. Dies lässt sich bspw. an der Verwendung von Produktivitätskennzahlen in den einzelnen Unternehmensbereichen erkennen. So zeigen Befragungsergebnisse, dass mit 61 % der größte Anteil an Kennzahlen in den direkt wertschöpfenden Produktionsbereichen Fertigung und Montage erfasst wird. In Entwicklung, Verwaltung oder Planungs- und Steuerungsbereichen werden dagegen kaum Kennzahlen für ein aktives Produktivitätsmanagement erhoben (siehe Abb. 2.3).

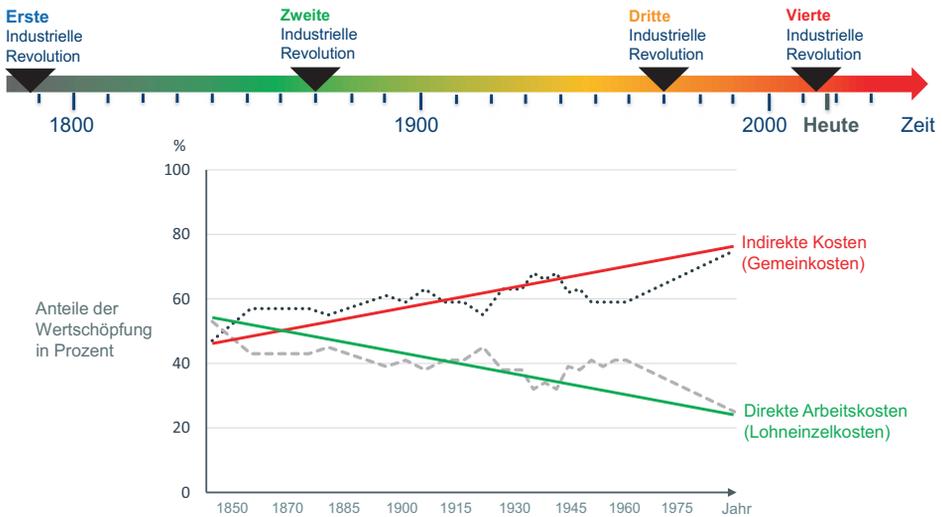
## 2.1.3 Anforderungen an ein zukünftiges Produktivitätsmanagement

Die zunehmende Digitalisierung und digitale Vernetzung von Produkten, Dienstleistungen sowie Produktionssystemen führt zukünftig zu einer steigenden Bedeutung von planenden, steuernden und überwachenden Aufgaben. Die Haupttätigkeiten liegen bei diesen Aufgaben in der Erfassung, Weiterleitung, Verarbeitung, Bereitstellung und Nutzung von Informationen. Durch Automatisierung und Unterstützung von körperlicher Arbeit sowie ein wachsendes Dienstleistungsangebot werden sich Tätigkeiten und Kostenursachen von direkten in indirekte Bereiche verschieben. Der Trend der letzten Jahrzehnte wird dadurch weiter verstärkt.

Die Digitalisierung und Vernetzung von Produktions- und Arbeitssystemen werden häufig auch als vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) bezeichnet, da man von

**Abb. 2.3** In welchen Unternehmensbereichen werden Produktivitätskennzahlen erfasst? (n = 62, bis zu 4 Nennungen möglich, insgesamt 142 Nennungen; [21])

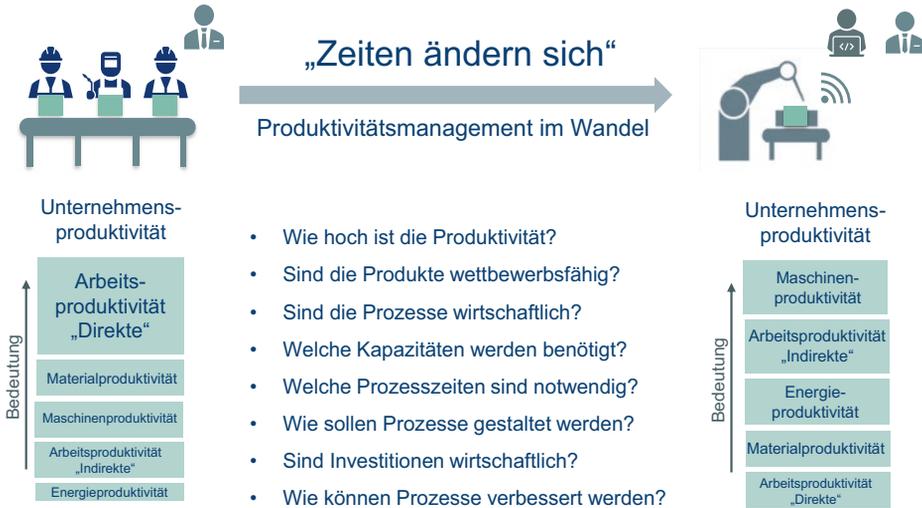




**Abb. 2.4** Veränderung von Kostenstrukturen in der verarbeitenden Industrie ([11]ergänzt)

ähnlich umfangreichen Auswirkungen auf die Arbeitswelt ausgeht, wie in den vergangenen industriellen Revolutionen. Im Zuge der industriellen Entwicklung bzw. der letzten damit verbundenen industriellen Revolutionen hat bereits eine Veränderung der Beschäftigungs- und Kostenstrukturen im oben beschriebenen Sinne stattgefunden, wie Abb. 2.4 verdeutlicht.

Aus den beschriebenen Veränderungen ergeben sich neue Anforderungen an ein erfolgreiches Produktivitätsmanagement in Unternehmen. Produktivitätsbetrachtungen mit Fokus auf den direkten Wertschöpfungsprozess werden in zukünftigen Arbeitswelten nicht mehr ausreichen, um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens nachhaltig zu sichern. Es ist vielmehr eine ganzheitliche Betrachtung aller Unternehmensprozesse erforderlich, die auch alle indirekten Bereiche beinhaltet. Durch die zunehmende Automatisierung (z. B. Einsatz von Robotern und künstlicher Intelligenz) sowie die wachsende Bedeutung interner und externer Dienstleistungen werden die Maschinenproduktivität und die indirekte Arbeitsproduktivität im Verhältnis zur direkten Arbeitsproduktivität an Bedeutung gewinnen. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass infolge steigender Energiekosten und Forderungen aus Politik und Gesellschaft nach mehr Klimaschutz und nachhaltigem Produktivitätsmanagement [5] auch die Energieproduktivität eine höhere Bedeutung für Unternehmen bekommen wird (siehe Abb. 2.5).



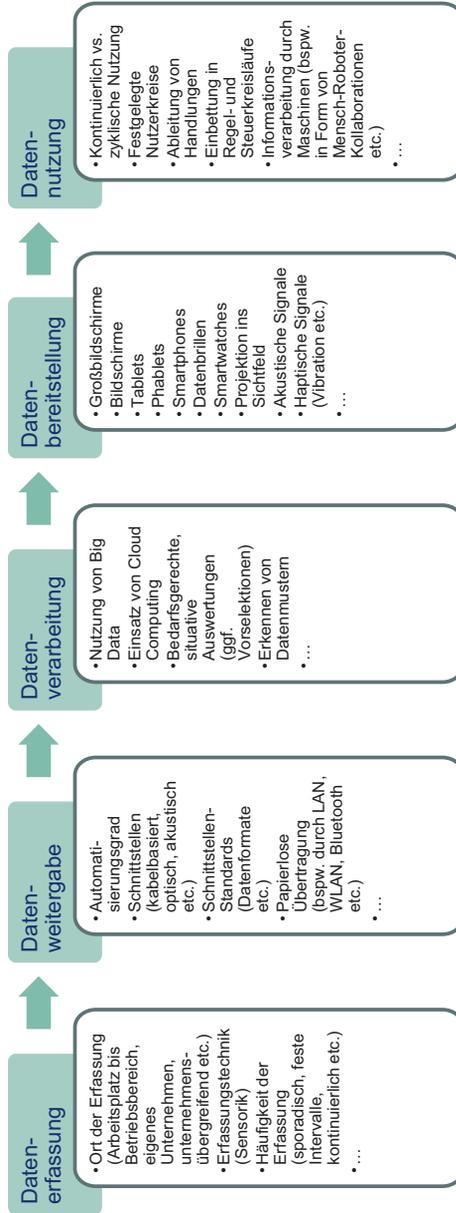
**Abb. 2.5** Produktivitätsmanagement im Wandel [4]

## 2.2 Auswirkungen, Strategien und Potenziale der Digitalisierung für das Produktivitätsmanagement

### 2.2.1 Grundlagen der Digitalisierung

Der Begriff Digitalisierung wird in verschiedenen Kontexten verwendet. Von Digitalisierung spricht man häufig, wenn eine analoge Art der Informationshandhabung durch eine digitale Art ersetzt wird. Einfache Beispiele hierfür sind die Umstellung von papierbasierter Briefkommunikation auf eine elektronische Mailkommunikation oder die Umstellung einer manuellen Datenerfassung durch einen Menschen über die PC-Tastatur auf ein barcodegestütztes Einscannen der gleichen Informationen. Digitalisierung bedingt immer elektronische Hilfsmittel und Werkzeuge (Hardware und Software), welche mit Hilfe mikroelektronischer Schaltungen und digitaler Algorithmen Daten handhaben. Dabei lassen sich mehrere Stufen der Datenhandhabung unterscheiden, die von der Erfassung und Weitergabe über die Verarbeitung bzw. Aufbereitung bis hin zur Bereitstellung und Nutzung reichen. Beispiele für digitale Hilfsmittel und Werkzeuge auf verschiedenen Stufen der Datenhandhabung zeigt die folgende Abb. 2.6.

Neben der technikorientierten Verwendung des Digitalisierungsbegriffes, wird er häufig auch als Synonym für eine Veränderung im gesellschaftlichen, beruflichen und privaten Umfeld des Menschen verwendet. In diesem Kontext spricht man auch von digitaler Evolution, digitaler Wende, digitaler Revolution oder digitaler Transformation.



**Abb. 2.6** Stufen der Datenhandhabung und Beispiele digitaler Hilfsmittel und Werkzeuge [19]

Bezogen auf industrielle Arbeitsprozesse wird im gleichen Zusammenhang auch von der 4. industriellen Revolution oder Industrie 4.0 gesprochen.

Durch digitale Technologien lassen sich sehr große Datenmengen sehr schnell erfassen, weiterleiten und verarbeiten. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten für Anwendungen in Produkten, Geräten und Abläufen im privaten und beruflichen Umfeld, die das Leben und die Arbeit erleichtern und damit einen Mehrwert schaffen können.

## 2.2.2 Auswirkung der Digitalisierung

Die Digitalisierung bietet Unternehmen neue Chancen ihre Leistungserstellungsprozesse zu gestalten und die Produktivität und damit Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Gleichzeitig führt Digitalisierung aber auch zu einer Veränderung der Rahmenbedingungen und Strukturen der betrieblichen Leistungserstellung in Industrieunternehmen.

Die Entwicklung des Produktivitätswachstums und Einflüsse sowie Ursachen auf gesamt- und einzelwirtschaftlicher Ebene im Umfeld des digitalen Wandels wurden in einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft umfassend analysiert. Dabei ging es insbesondere um die Fragestellung auf welche Ursachen das nachlassende Wachstum der Arbeitsproduktivität in Deutschland zurückzuführen ist und welche Rolle die Digitalisierung hierbei spielt bzw. welche Chancen die Digitalisierung für eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität bietet. Als Ergebnis der Studie ist das verlangsamte Wachstum der Arbeitsproduktivität in Deutschland auf nachlassendes Exportwachstum und Personalaufbau trotz langsamer wachsender Nachfrage zurückzuführen ([6], S. 83).

Während das nachlassende Exportwachstum hauptsächlich auf exogenen und damit nicht von Einzelunternehmen beeinflussbaren Ereignissen (z. B. Handelsstreit zwischen Nationen) beruht, stellt der Personalaufbau in Unternehmen eine direkt selbst beeinflussbare Steuergröße dar, die somit Gegenstand von betrieblichem Produktivitätsmanagement ist. In der Studie wurden die Gründe für den Personalaufbau durch Befragung von 1250 Unternehmen untersucht und drei wesentliche Gründe insbesondere in größeren Unternehmen festgestellt ([6], S. 83–84):

1. Aufbau von indirekten Stellen insbesondere in Forschung & Entwicklung sowie produktbegleitenden Dienstleistungsbereichen (Tertiärisierung von Tätigkeiten).
2. Personalthortung aufgrund von Angst vor Fachkräftemangel durch den bevorstehenden demografischen Wandel und Renteneintritt geburtenstarker Jahrgänge.
3. Strategische Personalinvestitionen in Digitalisierung, die bisher noch nicht zu dem erwarteten Produktivitätswachstum geführt und dieses derzeit noch eher gebremst haben.

Die aktuellen Zahlen des statistischen Bundesamtes und Studienergebnisse zeigen, dass es wichtig für Unternehmen ist, sich intensiv mit dem Produktivitätsmanagement im Umfeld der Digitalisierung zu beschäftigen.

### 2.2.3 Ziele und Strategien der Digitalisierung

In Unternehmen kann Digitalisierung mit unterschiedlichen Zielsetzungen stattfinden. Grundsätzlich lassen sich produkt- und prozessbezogene Digitalisierungsaktivitäten unterscheiden. Entsprechend lassen sich auch Werkzeuge der Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 für Produkte und Prozesse unterscheiden ([19], S. 9). Ausgangspunkt einer produktbezogenen Digitalisierung sind Kundenbedürfnisse, die funktional an ein Produkt gestellt werden. Hier lässt sich als Beispiel der Wunsch nach Bedienung eines Produktes über ein Smartphone nennen. Eine produktbezogene Digitalisierung schafft Mehrwert und Erfolg für das Unternehmen, wenn sie bei den Kunden eine kaufentscheidende oder -auslösende Funktion erfüllt und dadurch Umsatzverbesserungen für das Unternehmen generiert.

Bei der prozessbezogenen Digitalisierung sollen dagegen interne Unternehmensprozesse optimiert werden. Zielsetzungen können eine Verbesserung von Produktivität, Qualität, Flexibilität oder Humanität sein. Eine Verbesserung der Produktivität kann beispielsweise durch eine digitalisierte und automatisierte Kundenbestellabwicklung erreicht werden, bei der manuelle Tätigkeitsanteile bzw. Bearbeitungszeiten im Auftragsabwicklungsprozess reduziert werden. Zur Verbesserung industrieller Produktionsprozesse kann ebenfalls eine Reihe von digitalen Technologien und Werkzeugen eingesetzt werden [19]. Digitale Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Materialmanagement mit Echtzeiterfassung von Materialverbräuchen und automatischer Nachbestellung, Traceability, fahrerlose Transportsysteme (FTS), kollaborierende Roboter (MRK), verkettete Maschinensteuerungen (M2M) mit automatischer Zustands- und Prozessverbesserung sind hier nur einige Beispiele.

Bei der praktischen Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen lassen sich in Unternehmen grundsätzlich drei motivationsbezogene Ansätze unterscheiden:

1. Wissensorientierter Ansatz (Neugier und Wunsch durch Anwendung zu lernen).
2. Problemorientierter Ansatz (Behebung eines konkreten Engpasses oder Problems).
3. Strategieorientierter Ansatz (Planmäßige Schaffung von Voraussetzungen für die Erreichung langfristiger Ziele).

Im Rahmen des Projektes TransWork wurden Unternehmen zu diesen Beweggründen im Jahr 2019 in einer online-Studie befragt. Daraus entstand folgendes Ergebnis (n = 112, [9]): Digitalisierungsmaßnahmen werden durchgeführt in

- 22 % der Unternehmen um daraus zu lernen,

- 34 % der Unternehmen zur Behebung konkreter Probleme,
- 41 % der Unternehmen aus strategischen Gründen
- 3 % der Unternehmen aus „Sonstigen Gründen“.

Sofern Digitalisierung nicht aus reiner Neugier oder strategischen Gründen durchgeführt werden soll, sind Digitalisierungsmaßnahmen betriebswirtschaftliche Investitionen, deren Wirtschaftlichkeit sich mit Methoden der Investitionsrechnung beurteilen lässt. Den einmaligen Initial- oder Anschaffungskosten und laufenden Betriebs- und Betreuungskosten werden dabei die geplanten und später tatsächlich realisierten Einsparungen gegenübergestellt. Ziel dieser Sichtweise ist es, die Wirtschaftlichkeit bzw. Produktivität von Unternehmensprozessen zu verbessern.

Bei dem strategischen Ansatz ist dies auf lange Sicht ebenfalls der Fall, wie das nachfolgende Kapitel zeigt. Unter strategischen Gesichtspunkten ist die Digitalisierung ein Hoffnungsträger für zukünftige Produktivitätssteigerungen. Unternehmen erwarten dementsprechend mittelfristig erhebliche Impulse für das Wachstum der Arbeitsproduktivität, wobei Unternehmen mit höherem bereits realisiertem Digitalisierungsgrad tendenziell auch höhere Produktivitätszuwächse erwarten ([6], S. 68 ff.).

Zwar lassen sich auch schon heute Produktivitätseffekte in digitalisierten Unternehmen erkennen, allerdings fallen diese gesamtwirtschaftlich noch sehr klein aus. Strategische Investitionen in die Digitalisierung können anfänglich unter Umständen auch zu Produktivitätsverlusten führen (Stichwort: Produktivitätsparadoxon). Der Grund hierfür kann zum Beispiel im Personalaufbau oder Sachinvestitionen für digitale Forschungs- und Entwicklungsprojekte liegen, die nicht direkt zu Umsatzsteigerungen durch neue Produkte oder Dienstleistungen führen.

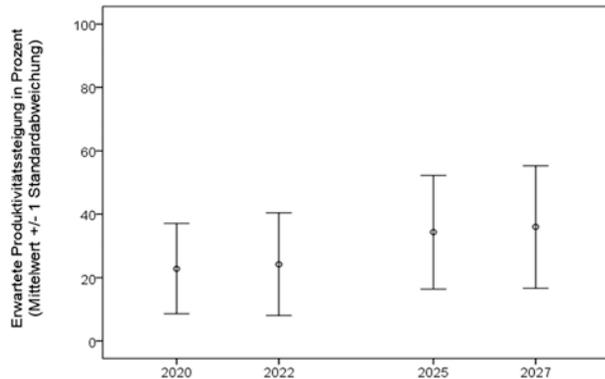
Digitalisierung erfordert grundsätzlich Investitionen. Da davon ausgegangen wird, dass langfristig kein Weg an der Digitalisierung vorbeiführt, stellt sich für Unternehmen jedoch häufig nicht die Frage „ob“ in die Digitalisierung investiert wird, sondern „wie“ und „wann“ investiert wird. Aufgrund der umfangreichen Auswirkungen von Digitalisierung in allen Unternehmensbereichen, ist es für Unternehmen wichtig, die Auswirkungen mithilfe eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements zu analysieren, zu planen, zu steuern und zu überwachen. Nur so kann die Digitalisierung betriebspezifisch genutzt und erfolgreich umgesetzt werden.

## 2.2.4 Potenziale der Digitalisierung

Auf Digitalisierung und Industrie 4.0 ruhen große Hoffnungen. Gemäß einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft erwarten deutsche Unternehmen mittelfristig eine durchschnittliche Produktivitätssteigerung durch die Digitalisierung von etwa 1–5 % pro Jahr ([6], S. 67–68).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch zwei Studien des ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft im Rahmen des Projekts TransWork ([9] und [21]).

**Abb. 2.7** Erwarteter Produktivitätsgewinn durch Digitalisierung/Industrie 4.0 von 2017 bis 2020 und 2025 sowie von 2019 bis 2022 und 2027 (n = 70–72 bzw. n = 85–87)



Die Ergebnisse beider Studien sind in Abb. 2.7 zusammengefasst und zeigen die erwartete Produktivitätssteigerung in Prozent vom Zeitpunkt der ersten Studie in 2017 bis zum Jahr 2020 und 2025 sowie vom Zeitpunkt der zweiten Befragung in 2019 bis zum Jahr 2022 und 2027. Die durchschnittlichen Erwartungen in den befragten Unternehmen zum Produktivitätsgewinn durch Digitalisierung und Industrie 4.0 reichen von anfänglich 22 % (bis 2020) bis hin zu 38 % (bis 2027) und beschreiben damit einen stetigen Zuwachs. Dabei weisen die einzelnen Angaben zum Teil große Streuungen auf.

Als Fazit der Studien lässt sich festhalten, das Unternehmen von der Digitalisierung mittelfristig erhebliche Impulse für das Wachstum der Produktivität erwarten. Allerdings weisen die Erwartungen hohe Streuungen auf. Dies deutet darauf hin, dass die Erwartungen zum Teil noch mit Unsicherheit und Hemmnissen bei der Ausschöpfung von Produktivitätspotenzialen behaftet sind. Diese liegen in Hemmnissen durch externe Rahmenbedingungen wie Infrastruktur und Marktentwicklung, aber auch in unternehmensinternen Faktoren ([6], S. 69).

Bezogen auf interne Faktoren haben die Unternehmen gemäß der ifaa-Studien 2017 und 2019 noch Informations- und Unterstützungsbedarf bei der konkreten Gestaltung und praktischen Umsetzung von Industrie 4.0 und Digitalisierung in ihren Prozessen. Unternehmen wünschen sich hierfür vor allem Good-Practice-Beispiele. Dies gilt ebenso für die Themen Produktivitätsmanagement, -strategien und -messung ([8]und [21]).

## 2.3 Ganzheitliches Produktivitätsmanagement

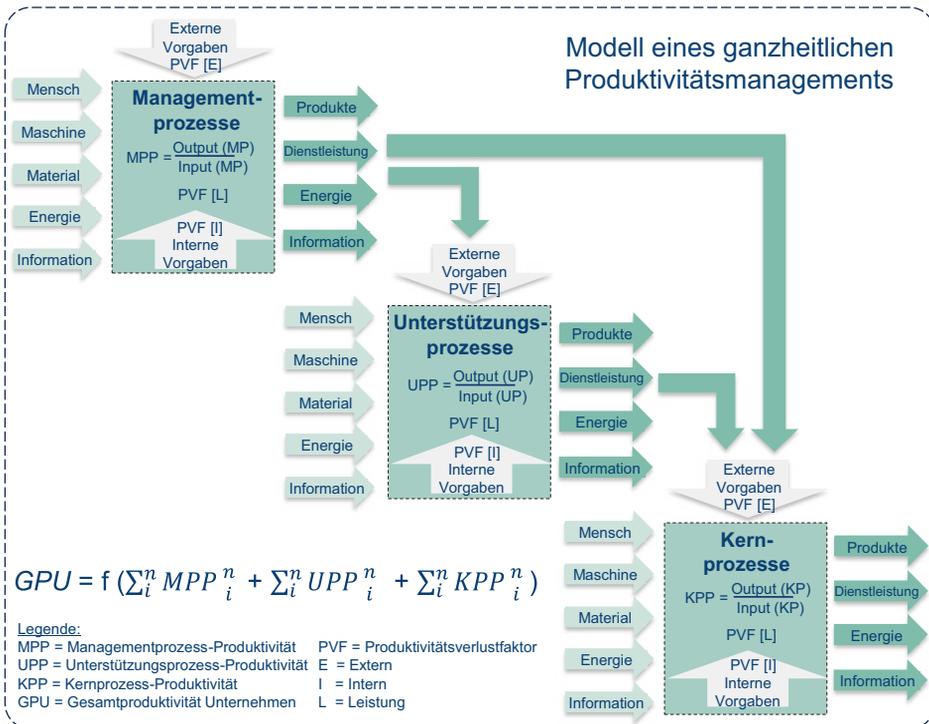
### 2.3.1 Modell eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements

Aus den bisher dargestellten Entwicklungen und Anforderungen ergibt sich der Bedarf nach einem ganzheitlichen Produktivitätsmanagement. Ziel eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagement ist die Verbesserung der Gesamtproduktivität eines Unternehmens. Die Ganzheitlichkeit bezieht sich dabei auf mehrere Aspekte und berücksichtigt:

- alle Ressourcen (Mensch, Maschine, Material, Energie, Information), die im Prozess eingesetzt werden,
- alle Arten von Produktivitätsverlusten (auch durch interne und externe Vorgaben),
- alle Prozesse und Unternehmensbereiche (auch indirekte),
- alle Wechselwirkungen zwischen Prozessen.

Basierend auf dem im ersten Abschnitt dargestellten Modell für die Produktivität eines einzelnen Prozesses wird ein Modell für die Gesamtproduktivität eines Unternehmens abgeleitet: In einem Unternehmen laufen zur Leistungserstellung eine Vielzahl von Prozessen ab. Nach REFA ([16], S. 170) lassen sich grundsätzlich Führungs-, Unterstützungs- und Kernprozesse unterscheiden. In jedem Prozess werden Arbeitsaufgaben mit einem Ergebnis (Output) unter Berücksichtigung interner und externer Vorgaben mit dem Einsatz von Ressourcen (Input) erfüllt. Die Gesamtproduktivität eines Unternehmens ist letztendlich eine Funktion der Einzelproduktivitäten aller Prozesse, wobei Prozesse Auswirkungen auf die Produktivität anderer Prozesse haben können (siehe Abb. 2.8).

In einem ganzheitlichen Produktivitätsmanagement sind alle Arten von Produktivitätsverlusten als Verschwendung anzusehen. Diese gilt es systematisch zu identifizieren,



**Abb. 2.8** Ganzheitliches Produktivitätsmanagement [4]



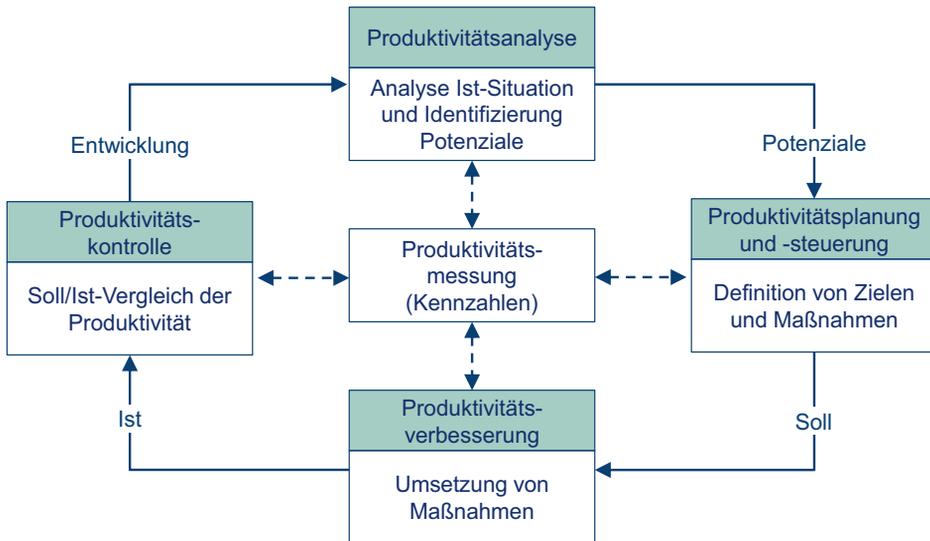
**Abb. 2.9** Arten von Produktivitätsverlusten [4]

analysieren und wenn möglich zu reduzieren. In der Praxis weisen Prozesse Produktivitätsverluste mit unterschiedlichen Ursachen auf. Produktivitätsverluste können zum Beispiel durch externe Vorgaben verursacht sein. Externe Vorgaben stellen Rahmenbedingungen für die Leistungserstellung in einem Prozess dar, die von einem anderen Prozess oder einer anderen Stelle vorgegeben werden und einen Einfluss auf die Art der Ausführung und folglich auf die Produktivität des betrachteten Prozesses haben. Interne Vorgaben können dagegen für den auszuführenden Prozess selbst gestaltet und beeinflusst werden. Unter Einhaltung von externen und internen Vorgaben kann es noch zu weiteren Produktivitätsverlusten im Prozess durch Abweichung der Ist-Leistung von der Soll-Leistung kommen. Dementsprechend lassen sich drei verschiedene Arten von Produktivitätsverlusten unterscheiden, die in Abb. 2.9 dargestellt sind.

Für eine Verbesserung der Gesamtunternehmensproduktivität ist ein Produktivitätsmanagement erforderlich, in dem auf Basis von Kennzahlen (Produktivitätsmessung) systematisch:

- Verbesserungspotenziale analysiert und identifiziert (Produktivitätsanalyse),
- Maßnahmen zur Verbesserung geplant und gesteuert (Produktivitätsplanung und -steuerung),
- Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt (Produktivitätsverbesserung) und
- Erfolg der Maßnahmen überwacht und sichergestellt (Produktivitätscontrolling) werden.

Zur praktischen Umsetzung für ein solches Modell eines Produktivitätsmanagements bietet sich das Industrial Engineering als unterstützende funktionale Institution für



**Abb. 2.10** Regelkreis des Produktivitätsmanagements in Anlehnung an Dorner [3]

das Management an [2]. Die beschriebenen Schritte des Produktivitätsmanagements sind in Abb. 2.10 dargestellt und im Sinne eines PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) kontinuierlich im Unternehmen zu durchlaufen.

## 2.3.2 Systematische Vorgehensweise

Aufgrund der hohen Komplexität und Vielzahl von Prozessen, Wechselwirkungen, Ressourcen und Restriktionen, empfiehlt sich eine systematische Vorgehensweise für ein ganzheitliches Produktivitätsmanagement. Diese soll dazu beitragen, Maßnahmen nicht unkoordiniert, sondern zielgerichtet, effektiv und effizient durchzuführen. Dazu ist zunächst die betriebspezifische Ist-Situation zu analysieren und transparent darzustellen. Im nächsten Schritt sind Potenziale zu identifizieren und zu bewerten, um weitere Aktivitäten priorisieren und Ziele definieren zu können. Die Planung und Umsetzung von operativen Maßnahmen sollte auf die Prozesse fokussiert werden, bei denen der höchste Nutzen von Aktivitäten erwartet wird. Diese systematische Vorgehensweise mit fünf Phasen zeigt Abb. 2.11.

### 2.3.2.1 Analyse der Ausgangssituation

Voraussetzung für die Verbesserung der Unternehmensproduktivität sind Kenntnisse über die tatsächliche Situation und betriebspezifische Eigenschaften von Geschäfts-, Unternehmens- und Prozessstrukturen. Der erste Schritt eines systematischen Produktivi-



**Abb. 2.11** Systematische Vorgehensweise [4]

tätsmanagements ist deshalb die Erfassung und Analyse der Ist-Situation. Das Ziel dieser Analyse ist die Schaffung von Transparenz durch eine objektive Bestandsaufnahme mit Zahlen, Daten und Fakten. Je gründlicher und genauer diese Analyse durchgeführt wird, desto leichter fallen die weiteren Schritte und desto höher ist die Erfolgswahrscheinlichkeit von Verbesserungsmaßnahmen. Die erfassten Produktivitätsdaten ermöglichen eine sachliche Diskussion mit Betroffenen und Beteiligten sowie sachlich-fundierte, zielgerichtete Entscheidungen über Verbesserungsmaßnahmen und notwendige Veränderungen. Darüber hinaus können bei der Ist-Analyse bereits Verbesserungspotenziale sichtbar werden.

In der Praxis lässt sich häufig feststellen, dass für den direkt wertschöpfenden Produktionsprozess in Unternehmen eine hohe Transparenz vorhanden ist. In den indirekten Bereichen und Prozessen fehlt diese Transparenz dagegen oft. Ziel eines ganzheitlichen Produktivitätsmanagements ist es, alle Prozesse im Unternehmen transparent zu machen – auch die indirekten.

Bei der Analyse der Ausgangssituation lassen sich drei Teil-Analysen unterscheiden:

- Geschäftsanalyse (Kunden, Produkte, Auftragsmengen, Ziele, Chancen, Risiken)
- Unternehmensstrukturanalyse (Aufbauorganisation, Personal-, Kostenstruktur)
- Prozessanalyse (Prozesslandschaft, Aufgaben, Tätigkeiten)

Bei der Geschäftsanalyse werden die aktuellen Rahmenbedingungen der Leistungserstellung erfasst. Dies sind zum Beispiel Daten zu Anzahl und Umsatzanteilen von Kunden, Mengenanteile von Produkten, Anzahl und Regelmäßigkeit von Kundenaufträgen sowie Kennzahlen zu Kosten, Qualität oder Liefer- und Durchlaufzeiten. Für die Geschäftsanalyse bieten sich zur übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse insbesondere ABC-Analysen an. Neben diesen Daten sollten in der Geschäftsanalyse auch vorhandene Unternehmensziele sowie Chancen und Risiken des Unternehmens erfasst werden.

Im Rahmen der Unternehmensstrukturanalyse wird insbesondere die aktuelle Aufbauorganisation des Unternehmens erfasst und transparent dargestellt. Dies kann in Form eines Organigramms erfolgen, aus dem die einzelnen Funktionsbereiche, Abteilungen, Bereichsverantwortliche und Anzahl der Mitarbeiter hervorgehen. Zusätzlich zu der mengenmäßigen Personalstruktur sollten auch die Kostenstrukturen in Form von abteilungsbezogenen Kostenstellenkosten oder Kostensätzen erfasst werden. Diese werden in weiteren Schritten für Potenzialanalysen, Maßnahmenplanung, Wirtschaftlichkeitsbewertungen und Erfolgskontrolle benötigt.

Gegenstand der Prozessanalyse ist die aktuelle Ablauforganisation im Unternehmen. Ziel der Prozessanalyse ist die Erstellung einer betriebspezifischen Prozesslandkarte. Diese soll die im Unternehmen ablaufende Prozesse vollständig und transparent darstellen und Inhalte sowie Wechselbeziehungen beschreiben. Sie dient als Basis für Planung, Steuerung, Umsetzung und Erfolgskontrolle von Prozessoptimierungen. Die Prozessanalyse erfolgt in 2 Stufen. In der ersten Stufe geht es darum, sich einen ersten Überblick über die im Unternehmen vorhandenen Prozesse und die Prozesslandschaft zu verschaffen. Hierzu bietet sich als Hilfsmittel die Verwendung einer Standard-Prozesslandkarte an, wie sie in Abb. 2.12 dargestellt ist.

Durch Vergleich mit den im Unternehmen realisierten Prozessen, Zuordnung der aufgeführten Prozesse zu betriebspezifischen Organisationseinheiten und Verantwortlichen sowie erforderliche Anpassung, Ergänzung fehlender oder Ausblendung nicht vorhandener Prozesse entsteht aus der Standard-Prozesslandkarte eine betriebspezifische Prozesslandkarte. Auf Basis der so ermittelten betriebspezifischen Prozesslandkarte erfolgt in der zweiten Stufe eine Feinanalyse der einzelnen Prozesse. Im Rahmen der Feinanalyse werden die wichtigsten Prozesseigenschaften (Input, Output, Vorgaben) sowie Arbeitsinhalte (Tätigkeiten) mit Mengen-, Zeit- und Kostenwerten erfasst. Durch die Feinanalyse werden häufig bereits Verbesserungspotenziale in Prozessen sichtbar, die in späteren Phasen durch weitere Detailanalysen ergänzt werden können.

Nach Durchführung von Geschäfts-, Unternehmensstruktur- und Prozessanalyse liegen die erforderlichen Basis-Informationen für die Ermittlung und Bewertung von Verbesserungspotenzialen sowie Ableitung realistischer Ziele und Maßnahmen zur Produktivitätsverbesserung vor.

### **2.3.2.2 Potenzialbewertung und Zieldefinition**

Die Potenzialbewertung und die Zieldefinition dienen der zielgerichteten Planung weiterer Aktivitäten. Ziel ist, eine möglichst effiziente Vorgehensweise im Produktivi-

Managementprozesse							
Geschäftsmodell- und Strategieplanung	Finanzmanagement	Unternehmensorganisation und -planung	Change-Management (GPS, Digital, I4.0)	Produktmanagement	Arbeits-/ Umwelt- und Gesundheitschutz	Compliance-Management (Revision, Audit.)	Arbeitnehmer-Vertretung
Kernprozesse							
Projektplanung und -controlling (Produkte)	Entwicklung/ Konstruktion (Hard-, Software)	Produktdaten-erstellung (Stückliste etc.)	Produktpflege (Änderungsmanagement)	Arbeitsvorbereitung	Produktionsplanung und -steuerung	Material-Einkauf und Disposition	Material-Lagerung und Transport
Teilefertigung	Montage und Verpackung	Fertigwarenlagerung	Fertigwaren-Disposition	Fertigwaren-Transport / Versand	Verkauf	Auftragsabwicklung	Kunden-Betreuung und -Service
Unterstützungsprozesse							
IT-Planung und Bereitstellung	IT-Wartung und Instandhaltung	IT-Support	Betriebsmittelplanung und -beschaffung	Betriebsmittelkonstruktion	Betriebsmittelbau und -änderung	Betriebsmittel-Instandhaltung	Prototypen und Musterbau
Qualitäts-/ Prüfplanung	Produkt-, System- und Bauteilfreigabe	Qualitätsdatenerfassung und -auswertung	WE-Prüfung	Reklamationsbearbeitung	Lenkung Qualitätsaufzeichnungen	Prüfmitteleinplanung und -beschaffung	Prüfmitteleinplanung und -beschaffung
IE / Arbeitsstudien	Fabrik-/ Werksplanung	Gebäude-Instandhaltung	Ver- und Entsorgung Medien/Energie	Personalplanung und -entwicklung	Personalbeschaffung und -verwaltung	Schulung und Weiterbildung	Ideenmanagement
Buchhaltung (Kreditoren, Debitoren)	Lohn- und Gehaltsabrechnung	Produktkostenplanung und -Controlling	Gemeinkostenplanung und -Controlling	Investitionsplanung und -Controlling	Technische Dokumentation (Produkte)	Verkaufsdokumentation (Preislisten,...)	Marketing/ Öffentlichkeitsarbeit

Abb. 2.12 Standard-Prozesslandkarte für Industrieunternehmen [4]

## Produktivitätscheck

ifaa

Nr.	Prozessbezeichnung:	Organisationseinheit:	KSST:	Verantwortlich:
8	<i>Betriebsmittelplanung und -beschaffung</i>	<i>Betriebstechnik</i>	4711	Kon
<b>Produktivitätsindikatoren</b>				
<b>A</b>	<b>Produktivitätsanalyse</b>			<u>Chancenwert</u>
	<i>Erfolgt eine systematische Datenermittlung (Zeit, Menge, Wert) von Input und Outputgrößen für den Prozess?</i>			
	[ ] nein = 2      [ <input checked="" type="checkbox"/> ] vereinzelt = 1      [ ] umfassend = 0		Bewertung:	1
	<i>Liegen sonstige Prozessanalysen mit Produktivitätsdaten vor?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] teilweise = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	2
<b>B</b>	<b>Produktivitätskennzahlen</b>			
	<i>Existieren Produktivitätskennzahlen für den Prozess/Bereich und sind diese Mitarbeitern bekannt?</i>			
	[ ] nein = 2      [ <input checked="" type="checkbox"/> ] einzelne = 1      [ ] mehrere = 0		Bewertung:	1
	<i>Sind Produktivitätskennzahlen und Basisdaten aktuell, transparent und visualisiert?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] zum Teil = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	2
<b>C</b>	<b>Produktivitätsplanung und -steuerung</b>			
	<i>Erfolgt eine aktive Planung und Steuerung mit Produktivitätskennzahlen?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] zum Teil = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	2
	<i>Erfolgt eine Anpassung (lang-, mittel-, kurzfristig) von Input/Ressourcen an geänderte Outputbedarfe? (z. B. Anpassung Personalkapazität an Personalbedarf?)</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] zum Teil = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	2
<b>D</b>	<b>Produktivitätscontrolling</b>			
	<i>Existieren Zielvereinbarungen und Soll-Ist-Vergleiche zur Produktivität des Bereiches/Prozesses?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] einzelne = 1      [ ] mehrere = 0		Bewertung:	2
	<i>Werden Abweichungen vom Ziel bzw. Soll den Mitarbeitern transparent gemacht?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] zum Teil = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	2
<b>E</b>	<b>Produktivitätsverbesserung</b>			
	<i>Sind systematische Methoden zur Produktivitätsanalyse und -verbesserung bekannt (z. B. 7V)?</i>			
	[ ] nein = 2      [ ] zum Teil = 1      [ <input checked="" type="checkbox"/> ] ja = 0		Bewertung:	0
	<i>Findet eine kontinuierliche Suche nach Produktivitätsverlusten (Verschwendungen) statt?</i>			
	[ ] nein = 2      [ <input checked="" type="checkbox"/> ] zum Teil = 1      [ ] ja = 0		Bewertung:	1
	<i>Wurden Chancen durch Digitalisierung, I4.0 genutzt und gibt es Beispiele für praktische Umsetzung?</i>			
	[ <input checked="" type="checkbox"/> ] nein = 2      [ ] einzelne = 1      [ ] mehrere = 0		Bewertung:	2
<b>Gesamt Produktivitätschancenwert:</b>				<b>17</b>

Abb. 2.13 Einfacher Produktivitätscheck Prozesse [4]

tätsmanagement sicherzustellen. Hierzu werden die Prozesse mit den größten Verbesserungspotenzialen identifiziert und für diese realistische Ziele der Produktivitätsentwicklung definiert.

Sofern im Rahmen der Ist-Analyse bereits verwendbare Produktivitätskennzahlen vorliegen, können diese zur Potenzialbewertung und Zieldefinition herangezogen werden. In Unternehmen existieren jedoch häufig nicht für alle Prozesse aussagefähige Produktivitätskennzahlen. Dies gilt insbesondere für indirekte Prozesse. Eine Potenzialbewertung solcher Prozesse ist dann schwierig. In diesen Fällen lässt sich im ersten Schritt eine vereinfachte, qualitative Bewertung von Produktivitätspotenzialen auf Basis von Produktivitätsindikatoren vornehmen. Eine solche initiale Potenzialbewertung in Form eines Produktivitätschecks ist in Abb. 2.13 dargestellt. Der damit ermittelte Potenzialwert sollte noch mit dem in der Ist-Analyse ermittelten Personal- oder Kostenaufwand für den Prozess multipliziert werden. Hierdurch werden neben dem Produktivitätsreifegrad auch die für den Prozess im Unternehmen anfallenden Kosten und damit die potenziellen Einsparungen berücksichtigt.

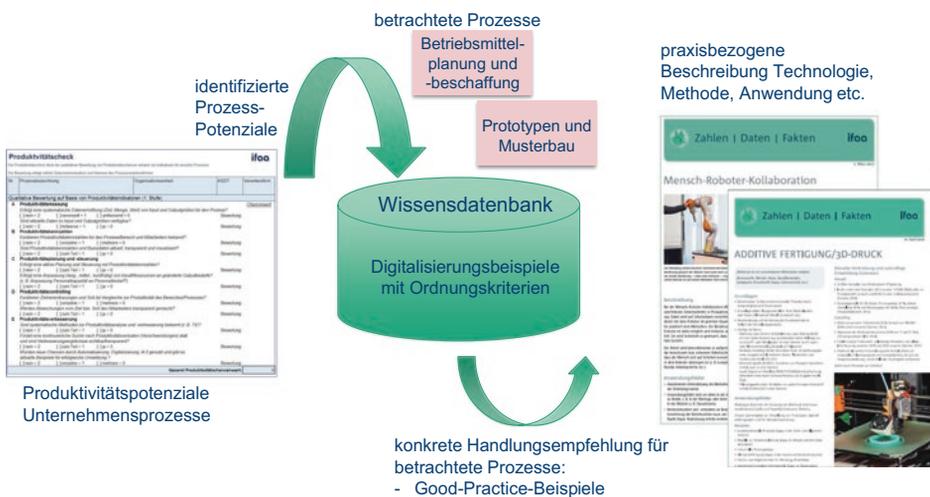
Nachdem die Produktivitätspotenziale aller Prozesse im Unternehmen bewertet wurden, lassen sich diese nach der Größe des Produktivitätspotenzials sortieren. Durch

eine Klassifizierung nach dem Pareto-Prinzip können die Prozesse mit dem höchsten Produktivitätspotenzial identifiziert werden. Für diese Prozesse sind auf Basis der ermittelten Daten und Produktivitätspotenziale realistische Ziele zu definieren, für deren Erreichung konkrete Maßnahmen zu planen sind. Sofern bereits Produktivitätskennzahlen für einen Prozess existieren, können hierzu quantitative Ziele definiert werden. Ist dies nicht der Fall, können zum Beispiel auch die Einführung solcher Kennzahlen, die Einführung einer Personalbedarfsrechnung oder die Durchführung von detaillierten Produktivitätsanalysen für den Prozess Ziele sein.

### 2.3.2.3 Planung von Maßnahmen

Für die nach Ist-Analyse und Potenzialbewertung ausgewählten Prozesse mit den höchsten Produktivitätspotenzialen gilt es, konkrete Produktivitätsstrategien zu planen, mit denen die definierten Ziele erreicht werden können. Bei der Planung von Maßnahmen sollten die an den Prozessen beteiligten Mitarbeiter eingebunden werden.

Falls noch Maßnahmen zur Erreichung der für einen Prozess definierten Ziele fehlen, können diese zum Beispiel durch eine Ideensammlung (Brainstorming) im Rahmen eines Workshops generiert werden. Sehr hilfreich können auch Good-Practice-Beispiele sein. Um die für einen ausgewählten Prozess und definierte Zielsetzung passenden Beispiele zu finden, kann der im nächsten Kapitel beschriebene Ordnungs- und Gestaltungsrahmen herangezogen werden. Ziel ist es, die Phasen drei und vier des systematischen Vorgehens (Abb. 2.11) im ganzheitlichen Produktivitätsmanagement zu unterstützen. Nach Auswahl der zu optimierenden Prozesse, besteht die Möglichkeit, für diese Prozesse konkrete Handlungsempfehlungen in Form von Good-Practice-Beispielen für Digitalisierungsmaßnahmen aus einer Wissensdatenbank zu selektieren. Diesen Prozess der zielgerichteten Auswahl von I4.0-Technologien zeigt Abb. 2.14.



**Abb. 2.14** Auswahl und Planung Digitalisierungsmaßnahmen zur Produktivitätsverbesserung [4]

Zur Erfolgssicherung sollten der Nutzen und Aufwand bzw. die Chancen und Risiken von Maßnahmen vor ihrer Umsetzung bewertet werden. Dies kann quantitativ und/oder qualitativ erfolgen. Die Basisdaten für solche Bewertungen liefern Prozess- und Potenzialanalysen [13]. Dabei gilt: Je genauer und detaillierter die Prozess- und Potenzialanalysen durchgeführt wurden, desto sicherer und genauer ist die Ex-ante-Beurteilung von Maßnahmen und Investitionsvorhaben.

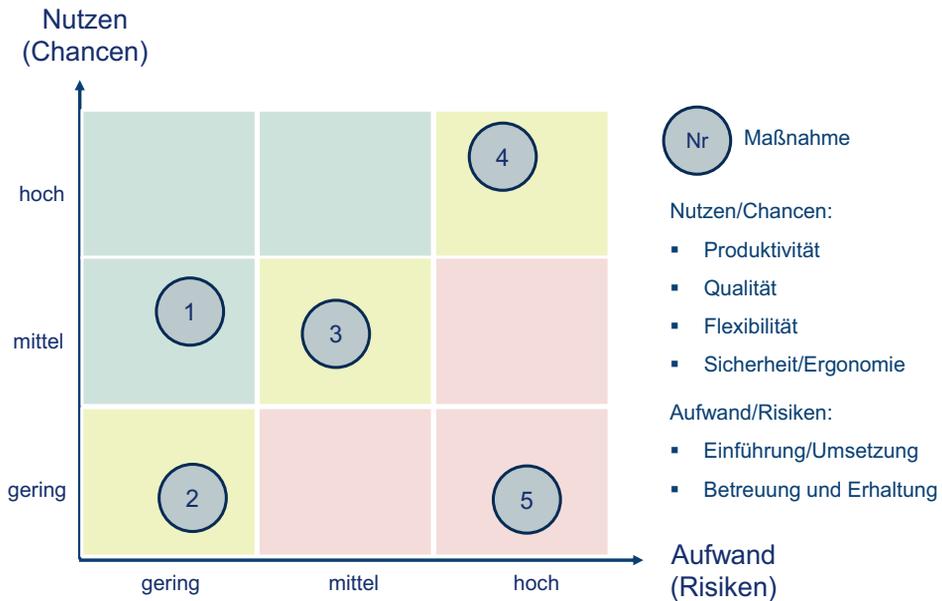
Bei einer quantitativen Bewertung werden die maßnahmenbezogenen Kosten dem finanziellen Nutzen über die Nutzungszeit gegenübergestellt und geprüft, ob und wann sich eine Maßnahme, z. B. in Form einer Digitalisierungsinvestition, amortisiert [1]. Je früher der Cash Flow bei einer solchen Kosten-Nutzen-Analyse positiv wird und je höher dieser ist, desto wirtschaftlicher ist die Maßnahme zu bewerten. Um den Cash Flow durch die Differenz von Gesamtnutzen und Gesamtkosten pro Periode zu ermitteln, sind die Aufwände und Einsparungen für die Ressourcen Betriebsmittel, Material, Personal, Energie und Information in den einzelnen Zeitperioden zu addieren. Sofern durch eine Maßnahme eine Outputerhöhung (z. B. Umsatzsteigerung) erwartet wird, kann diese ebenfalls berücksichtigt werden.

Die beschriebene quantitative Wirtschaftlichkeitsbewertung lässt sich noch durch eine qualitative Bewertung ergänzen ([1, 13]). Hierbei können beispielsweise potenzielle Verbesserungen hinsichtlich Qualität, Termintreue, Flexibilität, Transparenz oder Standardisierung mittels einer Skala von gering bis hoch eingeschätzt werden [13]. Ebenso können Nutzwertanalysen zum Einsatz kommen, bei denen die Erfüllung qualitativer Merkmale nicht nur bewertet wird, sondern die einzelnen Merkmale auch nach deren Bedeutung gewichtet und zu einem Nutzwert zusammengefasst werden. Darüber hinaus wird auch eine Risikoabschätzung empfohlen, bei der die Eintrittswahrscheinlichkeit möglicher Hemmnisse und die Auswirkungen abgeschätzt werden [1].

Ziel der Maßnahmenbewertung ist es, die Maßnahmen mit dem größten Nutzen und geringstem Aufwand bzw. Risiko identifizieren und auswählen zu können. Die erfolgsversprechenden Maßnahmen werden dann in einen verbindlichen Maßnahmenplan mit Verantwortlichen und Terminen im Rahmen der Planung und Steuerung von Aktivitäten aufgenommen, detailliert und umgesetzt. Maßnahmen, bei denen der Aufwand größer als der Nutzen ist, sind zu verwerfen. Maßnahmen, bei denen sich der Aufwand und Nutzen die Waage halten, sind ggf. genauer zu prüfen oder anzupassen. Eine einfache Matrix zur vergleichenden Bewertung und Einordnung von Maßnahmen zeigt Abb. 2.15.

#### **2.3.2.4 Umsetzung von Maßnahmen**

Bei der Umsetzung werden die geplanten und durch Entscheidungsträger des Unternehmens genehmigten Maßnahmen praktisch realisiert. Handelt es sich um sehr umfangreiche Maßnahmen mit einer Vielzahl von Aktivitäten, bietet sich die Umsetzung in Form eines Projektes mit Projektmanagementmethoden an. Beinhaltet die Maßnahme



**Abb. 2.15** Bewertung Digitalisierungsmaßnahmen zur Produktivitätsverbesserung [4]

die Beschaffung von neuen Betriebsmitteln oder externen Dienstleistungen ist zudem die Erstellung eines Lastenheftes sinnvoll. In einem Lastenheft werden die Rahmenbedingungen, Ziele und Aufgabenstellung sowie Anforderungen an das externe Betriebsmittel bzw. die externe Dienstleistung definiert. Hierbei sollten die betroffenen Anwender als Prozessexperten einbezogen werden. Das Lastenheft dient als Basis für Angebote und die spätere Leistungserbringung für Lieferanten.

Maßnahmen zur Produktivitätsverbesserung bedeuten in der Regel einen Eingriff und Veränderungen von bisherigen Arbeitsaufgaben, -abläufen, -methoden oder Benutzung neuer Betriebsmittel und Werkzeuge (z. B. neue IT-Technologie). Für Mitarbeiter bedeutet dies eine Veränderung der Arbeitswelt, an die sie sich über einen längeren Zeitraum gewöhnt haben. Insbesondere wenn neue Aufgaben oder neue Technologien erlernt und beherrscht werden müssen, können sich Widerstände gegen geplante Veränderungen ergeben. Diese können noch verstärkt werden, wenn eine geplante Neuerung als Kritik an altbewährten Arbeitsweisen empfunden wird und nicht auf den Wunsch der Betroffenen zurückgeht. Solche Widerstände lassen sich am besten durch frühzeitige Information und Beteiligung der Betroffenen, sorgfältige gemeinsame Planung und Vorbereitung von neuen Aufgaben und Betriebsmitteln sowie rechtzeitige Schulung vermeiden. Im Rahmen von vorbereitenden Maßnahmen sollten unter anderem folgende Themen mit den Betroffenen besprochen werden:

- Probleme und Nachteile im Ist-Zustand und angestrebte Verbesserung,
- Erklärung der geplanten Maßnahme zur Problemlösung,
- Vorteile, Nachteile und Hintergründe der Maßnahme,
- Ängste, Einwände oder alternative Vorschläge durch Mitarbeiter,
- Wünsche bezüglich Unterstützung, Schulungsmaßnahmen etc.

### **2.3.2.5 Erfolgskontrolle und -sicherstellung**

Nach der Umsetzung von Maßnahmen und Einführung neuer oder geänderter Prozesse sind die damit verbundenen neuen Arbeitsstandards und Betriebsmittel zu nutzen sowie die funktionale und technische Betriebsbereitschaft zu sichern. In dieser Phase gilt es, die Betroffenen bei der Anwendung neuer organisatorischer Abläufe und Standards oder der Benutzung neuer Betriebsmittel (z. B. IT-Technologie) zu unterstützen. Störungen sind zu beheben und der Erfolg bzw. die Zielerreichung zu überprüfen. Sofern bei der Erfolgskontrolle ein Handlungsbedarf festgestellt wird, kann dies auch den Anstoß zu neuen Analysen, Potenzialbewertungen und Maßnahmen bilden.

Die Nutzung einer neuen Lösung beginnt, wenn sie eingeführt und die Funktionsfähigkeit nachgewiesen wurde. Die Übergabe in den Tagesbetrieb bedeutet jedoch noch nicht direkt den Abschluss der Maßnahme. Bei der Benutzung von neuen Arbeitsabläufen und Betriebsmitteln ist in der Regel mit Anwendungsproblemen zu rechnen, die erst im realen Tagesbetrieb erkannt werden. Nach einem längeren Praxisbetrieb sollten sich alle Beteiligten noch einmal zusammensetzen, um praktische Erfahrungen, Probleme und notwendige Anpassungen oder Veränderungen zu besprechen. Bei einer solchen Maßnahmenkontrolle sind unter anderem folgende Fragen zu klären:

- Wird die Lösung so praktiziert wie geplant?
- Sind die erwarteten Ergebnisse realisiert worden?
- Wo liegen Probleme bei der Anwendung und welche Ursachen haben diese?
- Welche Anpassungen sind vorzunehmen, um die Lösung weiter zu verbessern?
- Wie wird der Nutzen der Maßnahme beurteilt?

Auf betriebswirtschaftlicher Ebene lässt sich zusätzlich ein Erfolgscontrolling als Soll-Ist-Vergleich durchführen. Bei diesem werden zum Beispiel den geplanten Kosten- und Nutzenwerten die tatsächlich realisierten gegenübergestellt (Abb. 2.16).

---

## **2.4 Beispiele für Digitalisierung aus der Praxis**

### **2.4.1 Bedarf nach Beispielen für Digitalisierung aus der Praxis**

Die zum Teil noch bestehenden Hemmnisse bei der Ausschöpfung von Potenzialen zur Produktivitätssteigerung durch Digitalisierung und Industrie 4.0 sowie der Wunsch von Unternehmen nach Good-Practice-Beispielen ([9] und [21]) wurden zum Anlass genommen, Beispiele in einer Datenbank zu sammeln. Auf dieser Grundlage können

Erfolgskontrolle		Prozess: Prototypenbau		KSST: 47582								
Quantitativer Soll-Ist-Vergleich		Maßnahme: Einsatz additives Fertigungsverfahren (3D-Drucker)										
	Periode 0		Periode 1		Periode 2		Periode 3		Periode 4		Periode 5	
	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist
Cash Flow	-151.000 €	-142.000 €	-224.500 €	-214.500 €	-12.500 €		2.500 €		180.500 €		433.500 €	
Gesamtnutzen kumuliert	0 €	0 €	22.500 €	22.500 €	162.500 €		322.500 €		522.500 €		797.500 €	
Gesamtkosten kumuliert	151.000 €	142.000 €	247.000 €	237.000 €	290.000 €		320.000 €		342.000 €		364.000 €	
<b>Soll-Ist-Kosten pro Jahr:</b>	Periode 0		Periode 1		Periode 2		Periode 3		Periode 4		Periode 5	
Betriebsmittel	16.000 €	17.000 €	0 €	0 €								
Anschaffung Hardware	9.000 €	10.000 €	0 €	0 €								
Anschaffung Software	7.000 €	7.000 €	0 €	0 €								
Wartung/Instandhaltung, Rep.	0 €	0 €	0 €	0 €								
Anderung	0 €	0 €	0 €	0 €								
<b>Material</b>	7.000 €	4.000 €	4.000 €	2.000 €								
Fremdbezugsteile	3.000 €	2.000 €	1.000 €	1.000 €								
Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe	2.000 €	1.000 €	2.000 €	1.000 €								
Ausschuss	2.000 €	1.000 €	1.000 €	0 €								
<b>Personal</b>	110.000 €	104.000 €	85.000 €	85.000 €								
Maßnahme (Intern/Extern)	50.000 €	48.000 €	25.000 €	30.000 €								
Prozess	60.000 €	56.000 €	60.000 €	55.000 €								
Mehr-/Nacharbeit	0 €	0 €	0 €	0 €								
<b>Energie</b>	1.000 €	1.000 €	0 €	0 €								
Strom	1.000 €	1.000 €	0 €	0 €								
Sonstige	0 €	0 €	0 €	0 €								
<b>Information/IT</b>	17.000 €	17.000 €	7.000 €	8.000 €								
Schulung, Seminare	10.000 €	8.000 €	5.000 €	5.000 €								
IT-Infrastruktur, Datensicherheit	7.000 €	9.000 €	2.000 €	3.000 €								
<b>Gesamtkosten Pro Jahr</b>	<b>151.000 €</b>	<b>142.000 €</b>	<b>96.000 €</b>	<b>95.000 €</b>								

Abb. 2.16 Beispiel Erfolgskontrolle mit quantitativer Bewertung (Soll-Ist-Vergleich) [4]

Unternehmen zu ihren Bedarfen passende konkrete Beispiele aus der betrieblichen Praxis mit ähnlichen betrieblichen Bedingungen identifizieren. Dadurch werden sowohl grundlegende Digitalisierungsansätze leichter verfügbar als auch eine erste Abschätzung von deren Wirtschaftlichkeit erleichtert.

Um die Vielzahl der gesammelten Beispiele für Unternehmen effizient nutzbar zu machen, wird jedes Beispiel nach verschiedenen Ordnungskriterien charakterisiert. Diese Kriterien werden nachfolgend dargestellt und zu einem Ordnungs- und Gestaltungsrahmen kombiniert. Good-Practice-Beispiele können entsprechend ihrer Charakteristika gemäß der Ordnungskriterien in den Ordnungs- und gestaltungsrahmen eingeordnet werden. Umgekehrt können für spezifische betriebliche Bedarfe die entsprechenden Ausprägungen der Ordnungskriterien ermittelt werden und so passende Beispiele aus dem Ordnungs- und Gestaltungsrahmen ausgewählt werden. Die so identifizierten Beispiele dienen der Orientierung und können auf eine mögliche Übertragbarkeit bzw. Anpassung auf die eigenen betrieblichen Bedarfe geprüft werden. Dementsprechend kann der Ordnungs- und Gestaltungsrahmen (siehe Abb. 2.20) im Produktivitätsmanagement dazu genutzt werden, zielgerichtet Produktivitätsstrategien im Rahmen der Maßnahmenplanung und -umsetzung zu identifizieren und zu konkretisieren.

### 2.4.2 Ordnungskriterien für Digitalisierungsbeispiele

Zur Charakterisierung und Strukturierung von Digitalisierungsbeispielen werden mehrere Ordnungskriterien herangezogen. Diese umfassen die grundlegende Produktivitätsstrategie bzw. das grundlegende Produktivitätsziel, die unterstützte Stufe im Daten-

handhabungsprozess und den jeweiligen Unternehmensbereich, in dem das Beispiel entstanden ist bzw. zum Einsatz kommt.

Ergänzend kann zu wissenschaftlichen Zwecken auch nach der Arbeitsform unterschieden werden, die durch die jeweiligen Digitalisierungsmaßnahme unterstützt wird. Dieses Ordnungskriterium wird in diesem Beitrag nicht weiter dargestellt; weiterführende Informationen finden sich u. a. in Jeske et al. ([7] und [8]).

### 2.4.2.1 Produktivitätsstrategie bzw. -ziel

Die Produktivität wird als Quotient aus einem Ergebnis und dem zu seiner Erreichung erforderlichen Aufwand ermittelt (siehe Abb. 2.1). Dabei lassen sich zahlreiche Einflussgrößen unterscheiden, die entweder nur das Ergebnis beeinflussen können oder nur den Aufwand beeinflussen können oder Ergebnis und Aufwand gleichzeitig beeinflussen können (siehe Abb. 2.17).

Zur Verbesserung der Produktivität lassen sich mehrere grundlegende Strategien nutzen. Diese verbessern alle den Quotienten aus Ergebnis und Aufwand, unterscheiden sich aber in den dazu angestrebten Veränderungen. REFA [16] führt dazu fünf Strategien auf, die in Tab. 2.1 dargestellt sind.

Zudem können jeweils Verbesserungen an der Ergebnismenge und an der Ergebnisqualität verfolgt werden. Zur einfachen Strukturierung der Praxisbeispiele werden vier verschiedene grundlegende Produktivitätsziele nach Oeij et al. [15] unterschieden:

- die Steigerung der Ausbringungsmenge (quantitativer Output),
- die Steigerung der Ausbringungsqualität (qualitativer Output),
- die Verringerung des Aufwands nach Menge (quantitativer Input) und
- die Verringerung des Aufwands nach Qualität (qualitativer Input).

Dabei ist ein gutes Verständnis der damit verbundenen Wechselwirkungen erforderlich [19].

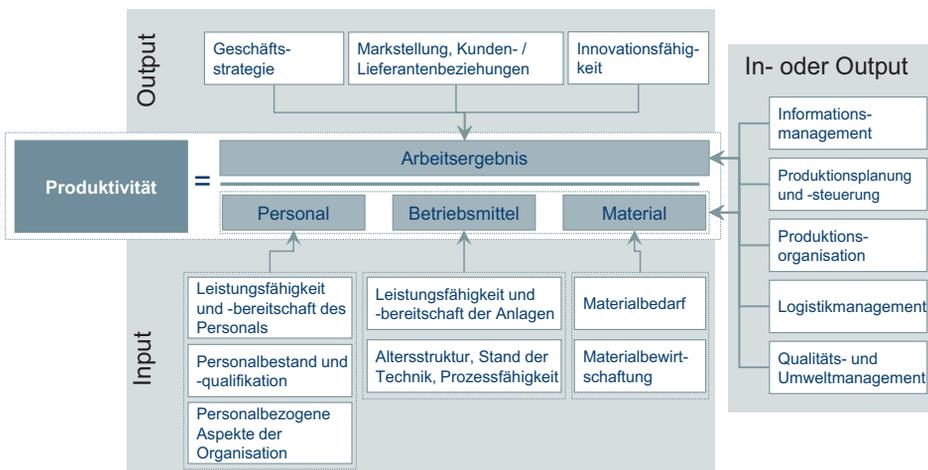


Abb. 2.17 Einflüsse auf die Produktivität [12]

**Tab. 2.1** Grundlegende Produktivitätsstrategien [16]

Strategie	Veränderungen von	Strategiebezeichnung
1	Output und Input	„Gemanagtes Wachstum“
2	Output steigt stärker als Input	„Smarteres Arbeiten“
3	Output steigt bei konstantem Input	„Das Ideal“
4	Output steigt, Input sinkt	„Größere Effizienz“
5	Output bleibt konstant bei sinkendem Input	„Gemanagter Rückgang“

### 2.4.2.2 Digitalisierung bzw. Stufe der Datenhandhabung

Die Digitalisierung dient als zweites Kriterium zur Strukturierung der einzelnen Beispiele. Durch die Digitalisierung werden Informationen in digitaler Form gehandhabt und zur Verbesserung von Prozessen genutzt. Zu diesem Zweck sind Informationen zunächst durch entsprechende Sensorik digital zu erfassen. Anschließend können sie über entsprechende Netzwerke weitergegeben werden. Dies ermöglicht eine Verarbeitung, die oftmals viele unterschiedliche Informationen integriert. Auf diese Weise aufbereitete Informationen können zur weiteren Nutzung für Menschen oder Maschinen bereitgestellt werden. Zur Bereitstellung an den Menschen eignen sich dabei sehr vielfältige Anzeigesysteme, die von Datenbrillen bis hin zu Großbildschirmen reichen. Die Nutzung der Daten bzw. Informationen erfolgt dann durch den Menschen oder die Maschine – bspw. im Rahmen der Mensch-Roboter Kollaboration (siehe Abb. 2.6).

### 2.4.2.3 Unternehmensbereich

Als drittes Kriterium wird der Unternehmensbereich herangezogen, in dem das jeweilige Beispiel entstanden ist bzw. eingesetzt wird. Dazu werden die in Abb. 2.18 dargestellten Bereiche genutzt. Die gleichen Unternehmensbereiche dienten bereits in den Befragungen in 2017 [21] und 2019 [9] zur Strukturierung.

## 2.4.3 Aufbau und Anwendung eines Ordnungs- und Gestaltungsrahmens

### 2.4.3.1 Struktur des Rahmens

Aus der Kombination der ersten beiden Ordnungskriterien, dem Produktivitätsziel und der Stufe der Datenhandhabung, lässt sich eine Matrix bilden (siehe Abb. 2.19). Mit Hilfe dieser Matrix lassen sich Praxisbeispiele nach dem mit ihrer Einführung verbundenen Produktivitätsziel sowie den zu ihrer Umsetzung genutzten Potenzialen der Digitalisierung in zwanzig Felder bzw. Cluster strukturieren.

Da die in den einzelnen Feldern/Clustern enthaltenen Beispiele aus sehr unterschiedlichen Unternehmensbereichen stammen können (die Bereitstellung von Daten zur Erhöhung der Ausbringungsmenge unterliegt bspw. in der Montage anderen Rahmen-



**Abb. 2.18** Unternehmensbereiche

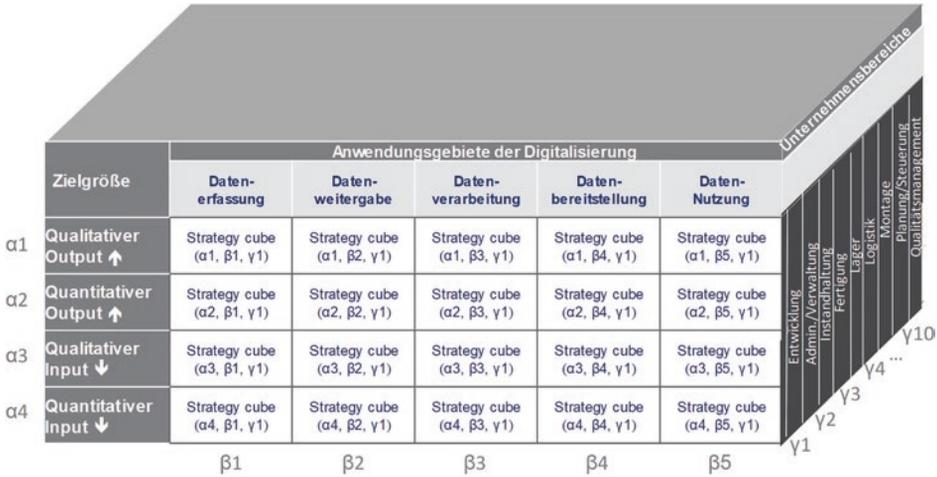
bedingungen als in der Verwaltung), wird die in Abb. 2.19 dargestellte Matrix um ein entsprechendes drittes Ordnungskriterium ergänzt. Daraus entsteht der in Abb. 2.20 dargestellte Kubus, in dem jedes Feld der Matrix nach den 12 Unternehmensbereichen (Abb. 2.18) strukturiert wird, so dass insgesamt 240 Möglichkeiten zur Einordnung von Beispielen bestehen.

### 2.4.3.2 Nutzung als Ordnungsrahmen

Der so entstandene Ordnungs- und Gestaltungsrahmen kann dazu genutzt werden, vorhandene Beispiele für die Anwendung der Digitalisierung in Unternehmen einzuordnen. Dazu sind die charakteristischen Merkmale eines Beispiels anhand der beschriebenen drei Ordnungskriterien zu bestimmen und zuzuordnen. Dabei kann es zu Mehrfachzuordnungen kommen.

Produktivitätsziel	Anwendungsgebiet der Digitalisierung (Stufe der Datenhandhabung)				
	Datenerfassung	Datenweitergabe	Datenverarbeitung	Datenbereitstellung	Datennutzung
Qualitativer Output ↑	Strategien-Cluster 1	Strategien-Cluster 2	Strategien-Cluster 3	Strategien-Cluster 4	Strategien-Cluster 5
Quantitativer Output ↑	Strategien-Cluster 6	Strategien-Cluster 7	Strategien-Cluster 8	Strategien-Cluster 9	Strategien-Cluster 10
Qualitativer Input ↓	Strategien-Cluster 11	Strategien-Cluster 12	Strategien-Cluster 13	Strategien-Cluster 14	Strategien-Cluster 15
Quantitativer Input ↓	Strategien-Cluster 16	Strategien-Cluster 17	Strategien-Cluster 18	Strategien-Cluster 19	Strategien-Cluster 20

**Abb. 2.19** Ordnungs- und Gestaltungsrahmen nach Produktivitätsziel und Datenhandhabung ([19] modifiziert)



**Abb. 2.20** Ordnungs- und Gestaltungsrahmen nach Produktivitätsziel, Datenhandhabung und Unternehmensbereich

So sind bspw. Maßnahmen zu Steigerung der Ausbringungsmenge (quantitativer Output) in vielen Fällen auch zur Senkung von Materialbedarfen (quantitativer Input) geeignet. Hier ist jene Zuordnung zu wählen, die im jeweiligen Beispiel die ausschlaggebende Motivation war.

Bei der Zuordnung der passenden Stufe der Datenhandhabung ist der jeweilige inhaltliche Schwerpunkt eines Beispiels auszuwählen. Zwar sind grundsätzlich alle Stufen der Datenhandhabung zu durchlaufen (zu nutzende Daten müssen zuvor erfasst, weitergeleitet, verarbeitet und bereitgestellt werden), damit eine Anwendung funktionieren kann, aber üblicherweise ist ein Beispiel darauf ausgerichtet, einen spezifischen Teil des Datenhandhabungsprozesses besonders zu unterstützen, bspw. die Datenbereitstellung beim Einsatz von Monitoren in Montagelinien.

Für die Zuordnung eines Unternehmensbereiches gibt es häufig mehrere Möglichkeiten. Diese treten vorwiegend bei Beispielen auf, die an Schnittstellen zwischen verschiedenen Bereichen entstanden bzw. eingesetzt werden. Hier ist jener Bereich auszuwählen, der durch das jeweilige Digitalisierungsbeispiel die größte Unterstützung erhält. Lässt sich dies nicht eindeutig entscheiden, so ist das jeweilige Beispiel mehrfach zuzuordnen.

**2.4.3.3 Nutzung als Gestaltungsrahmen**

Sind Beispiele für die Anwendung der Digitalisierung in Unternehmen im Ordnungsrahmen eingeordnet, so kann er zur Gestaltung neuer Anwendungen bzw. Anwendungsbeispiele genutzt werden. Dazu sind die jeweiligen Bedarfe eines an Digitalisierungsmaßnahmen interessierten Unternehmens zu identifizieren und

anschließend zum Bedarf passende Beispiele aus dem Ordnungs- und Gestaltungsrahmen auszuwählen.

Diese dienen der allgemeinen Orientierung dazu, wie andere Unternehmen ähnliche Bedarfe mit entsprechenden Gestaltungslösungen gedeckt haben. Zudem erlauben sie vergleichende Betrachtungen, die erste Abschätzungen zur Wirtschaftlichkeit von Digitalisierungsmaßnahmen ermöglichen bzw. erleichtern. Schließlich können mittels des Ordnungs- und Gestaltungsrahmens aufgefundene Lösungen auch übertragen und an die Bedarfe des eigenen Unternehmens angepasst werden.

## **2.4.4 Übersicht strukturierter Beispiele für Digitalisierung aus der Praxis**

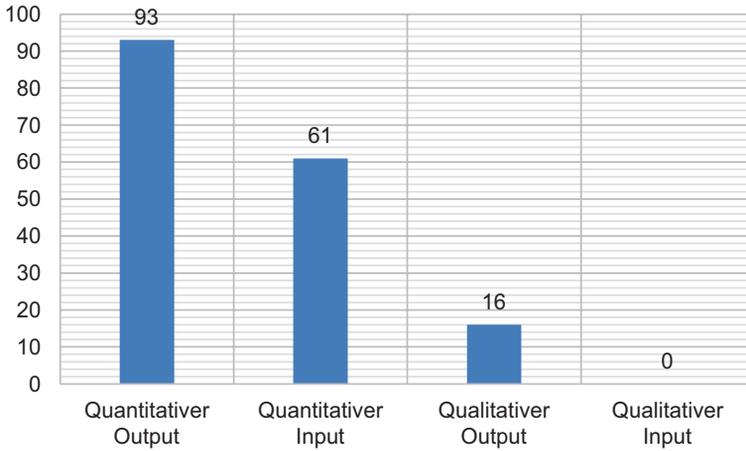
Zur Einordnung in den vorgestellten Ordnungs- und Gestaltungsrahmen wurden Beispiele aus der Praxis recherchiert. Es fanden sich insgesamt 122 Praxisbeispiele, die aus verschiedenen Quellen stammen (Landkarte der Plattform Industrie 4.0,  $n=73$ ; Anwendungsfälle der Woche des Innovationsnetzwerks Produktionsarbeit 4.0 des Fraunhofer IAO,  $n=45$ ; Labs Network Industrie 4.0,  $n=4$ ). Da einige Beispiele sehr umfangreich sind und mehrere Schwerpunkte abdecken, wurden sie unterteilt, sodass insgesamt 170 Praxisbeispiele eingeordnet wurden. Dazu wurde die in Abschn. 2.4.3.2 beschriebene Vorgehensweise genutzt. Die so entstandenen Zuordnungen zu den verschiedenen Schwerpunkten der drei Ordnungskriterien sind nachfolgend für jedes Kriterium dargestellt und analysiert.

### **2.4.4.1 Produktivitätsstrategie bzw. -ziel**

Die Verteilung der 170 Praxisbeispiele nach ihrem jeweiligen Produktivitätsziel ist in Abb. 2.21 dargestellt. Es wird deutlich, dass mengenbezogene bzw. quantitative Zielsetzungen (154 Zuordnungen) gegenüber qualitativen Zielsetzungen (16 Zuordnungen) deutlich überwiegen. Zudem werden outputbezogene Zielsetzungen (109 Zuordnungen) häufiger angestrebt als inputbezogene Zielsetzungen (61 Zuordnungen). Aus dem hohen Anteil an Beispielen für die Erhöhung der Ausbringungsmenge lässt sich schließen, dass Unternehmen die Digitalisierung vorwiegend nutzen, um Skaleneffekte zu erschließen und Marktanteile auszubauen. Aus dem Fehlen von Beispielen für die Verringerung des qualitativen Input kann einerseits geschlossen werden, dass ein hohes Qualitätsniveau erforderlich ist. Andererseits kann vermutet werden, dass die Weiterentwicklung von Prozessen zur Verringerung der notwendigen Qualität von Ausgangsmaterialien entweder sehr aufwendig ist oder nur bedingt mithilfe der Digitalisierung erreicht werden kann.[7]

### **2.4.4.2 Digitalisierung bzw. Stufe der Datenhandhabung**

Die Zuordnung der 170 Praxisbeispiele zu den Stufen der Datenhandhabung ist in Abb. 2.22 dargestellt. Sie verdeutlicht, dass auf nahezu allen Stufen ähnlich viele Beispiele für die Nutzung der Digitalisierung vorhanden sind. Eine Ausnahme bildet die

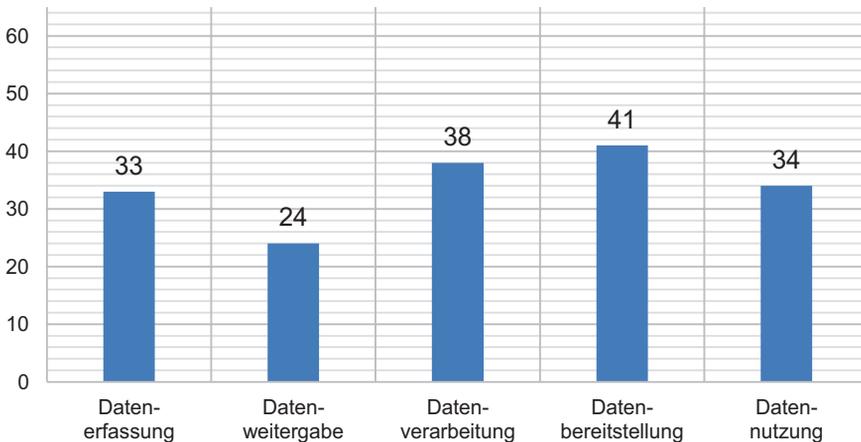


**Abb. 2.21** Beispiele nach Produktivitätszielen [7]

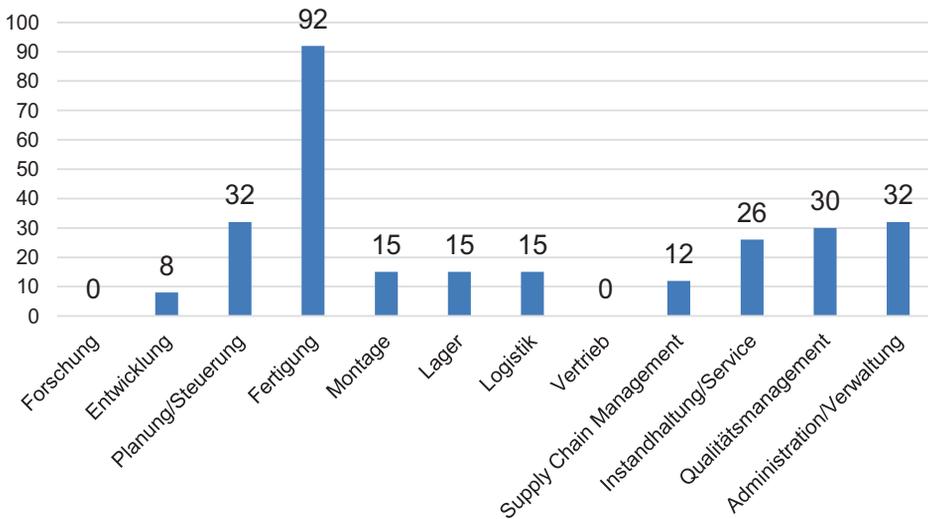
Datenweitergabe: Hier sind weniger Beispiele vorhanden. Dies ist vermutlich darin begründet, dass die Weitergabe digital verfügbarer Informationen schon seit Beginn der Digitalisierung stark unterstützt wird und ein entsprechend geringeres Innovationspotenzial bietet.

**2.4.4.3 Unternehmensbereich**

Da viele Beispiele an Schnittstellen von Bereichen eingesetzt werden bzw. mehrere Bereiche betreffen, wurden Mehrfachzuordnungen vorgenommen. Dabei wurden bei 85 Beispielen genau eine Zuordnung vorgenommen und bei 85 Beispielen mehrere. Mehrfach zugeordnete Beispiele betreffen durchschnittlich 2,26 Bereiche. Insgesamt wurden



**Abb. 2.22** Beispiele nach Stufen der Datenhandhabung [7]



**Abb. 2.23** Beispiele nach Unternehmensbereichen

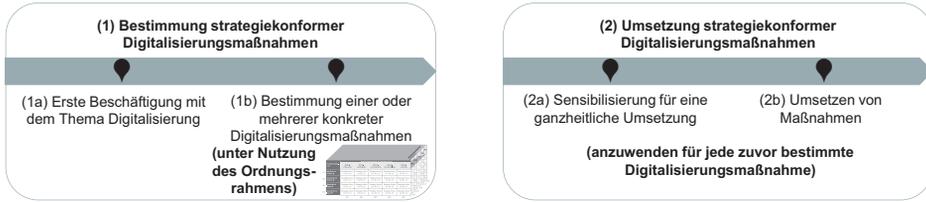
für die 170 Praxisbeispiele 277 Zuordnungen vorgenommen und in Abb. 2.23 dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher Schwerpunkt mit 92 Zuordnungen in der Fertigung. Für die Bereiche Forschung und Vertrieb sind keine Beispiele vorhanden. Dies könnte darin begründet sein, dass innovative Entwicklungen in diesen Bereichen eher als kritisch und besonders schützenswert eingestuft werden und somit nicht in den für die Recherche genutzten öffentlichen Quellen verfügbar sind.

## 2.5 Checkliste zur Gestaltung der Digitalisierung in der Praxis

Zur Unterstützung der digitalen Transformation in der betrieblichen Praxis wurde die ifaa-Checkliste „[Digitalisierung & Industrie 4.0 in der Praxis](#)“ entwickelt. Sie strukturiert ein ganzheitliches Vorgehen in mehrere Schritte, die in Abb. 2.24 veranschaulicht sind. So sind zunächst strategiekonforme Digitalisierungsmaßnahmen zu bestimmen, die sich anschließend schrittweise umsetzen lassen.

### 2.5.1 Bestimmung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen

Die Bestimmung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen erfolgt in zwei Teilschritten: Dazu ist zunächst (1a) eine erste grundlegende Beschäftigung mit der Digitalisierung und den damit verbundenen Möglichkeiten für das jeweilige Unternehmen erforderlich. Sie dient dazu, konkrete Bedarfe abzuleiten und wird durch



**Abb. 2.24** Vorgehensweise zur Auswahl und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen [22]

Fragestellungen zu den Themenfeldern Markt, Organisation und Technik unterstützt und geleitet. Dementsprechend werden mögliche Veränderungen im Marktumfeld betrachtet, wie bspw. ein Markteintritt neuer Wettbewerber oder Veränderungen in den Kundenbedarfen. Gleichmaßen wird erfragt ob Prozesse bereits lean gestaltet und standardisiert sind, so dass sie eine geeignete Grundlage für Digitalisierungsmaßnahmen bilden. Schließlich wird untersucht, ob und wie sich die technischen Möglichkeiten zur Erstellung von Produkten bzw. zur Erbringung von Dienstleistungen entwickeln bzw. verändern. Beispielhafte Antworten auf eine Frage aus dem Themenfeld „Markt“, die in einem Unternehmensworkshop entstanden sind, zeigt Abb. 2.25.

Anschließend (1b) lassen sich aus den Bedarfen unternehmensspezifische Digitalisierungsmaßnahmen ableiten. Dazu kann der in Abschn. 2.4.3 beschriebene Ordnungs- und Gestaltungsrahmen genutzt werden. Anhand des angestrebten Produktivitätsziels, der adressierten Stufe der Datenhandhabung und des vorgesehenen Anwendungsbereichs lassen sich dem Ordnungs- und Gestaltungsrahmen ähnliche Beispiele entnehmen (soweit vorhanden). Diese können zur Orientierung dienen, an eigene Bedarfe angepasst oder in seltenen Fällen direkt übertragen werden. Als Ergeb-

Nr.	Frage	Antwort/Bewertung
A.6	Welche Anforderungen an die Unternehmensprozesse resultieren aus den Änderungen des Geschäftsmodells und an welche?	<p>Verringerung der Lieferzeit: Aufträge von Vertrieb durch in die Produktion; 75% Liefertreue verbessert.</p> <p>Automatisches Bestellsystem für Kunden.</p> <p>Verbesserung der Lieferungen und Lieferzeit durch digitales Kanban und Infos an Kunden.</p> <p>Kürzere Reaktionszeiten/-fähigkeiten, Beschleunigung der Prozesse, Erhöhung der Agilität (Scrum).</p> <p>Datenpflege für automatisierte Prozesse.</p> <p>Methodiken und Werkzeuge zur QM-Entwicklung.</p> <p>Fachkräfte erforderlich.</p> <p>Querschnittsfunktion zwischen Fachabteilung und IT (Prozessverständnis).</p> <p>Agilität durch Teams statt Manager.</p> <p>Kaum eigene Personalkapazität.</p> <p>Wirtschaftlichkeit = die richtige Menge zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität beim Kunden.</p> <p>Kundenanforderungen zu erfüllen.</p> <p>Auditierungs- und Zertifizierungssysteme: VDA, ISO, IATF etc.</p> <p>Konzerninterne Anforderungen: MAFACT.</p> <p>Aufbau von Know-how in den Bereichen: Software-Lizenz-Recht, Elektronik und Software Personal, Sensorik.</p>

**Abb. 2.25** Antworten zum Thema „Markt“ aus einem Unternehmensworkshop [18]

nis der Schritte 1a und 1b sind konkrete Digitalisierungsmaßnahmen spezifiziert und zur Umsetzung vorgesehen.

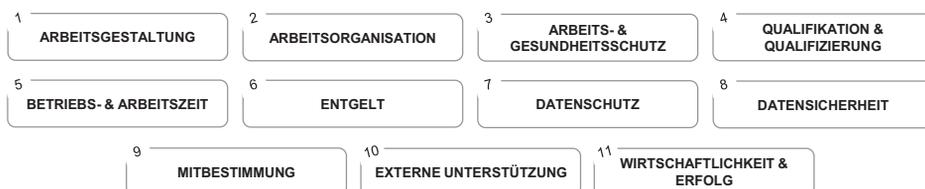
## 2.5.2 Umsetzung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen

Die Umsetzung strategiekonformer Digitalisierungsmaßnahmen erfolgt ebenfalls in zwei Schritten. Sie erfordert es, bestehende Arbeitsabläufe und -systeme zu überprüfen und ggf. anzupassen oder neu zu gestalten. Dazu sind zunächst (2a) die Personen zu sensibilisieren, die an der Einführung bzw. Umsetzung der jeweiligen Digitalisierungsmaßnahme beteiligt sind. Dazu gehören neben Personen aus der jeweiligen Fachabteilung, in der die Umsetzung erfolgt, meist auch Personen aus der IT-Abteilung und der Personalabteilung. Auf diese Weise wird erreicht, dass die jeweilige Digitalisierungsmaßnahme in die bestehende IT-Landschaft (Systeme, Datenbanken etc.) integriert werden kann und ggf. damit einhergehende Veränderungen der Kompetenz- und Qualifikationsbedarfe bekannt werden und im Rahmen der Personalentwicklung genutzt werden können. Die Sensibilisierung erfolgt anhand von Fragen, die in elf Themenfeldern zusammengefasst sind (siehe Abb. 2.26). Bei der Beantwortung der Fragen kann auch die Durchführung von SWOT-Analyse helfen (Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats (Bedrohungen)).

Sofern sich eine Digitalisierungsmaßnahme auf eines der Handlungsfelder auswirkt und dies Gestaltungsmaßnahmen erfordert, sind diese (2b) festzulegen und aufeinander abzustimmen – sowohl innerhalb von Handlungsfeldern als auch über alle Handlungsfelder hinweg. Dazu wird in der Checkliste eine Vorlage für einen Maßnahmenplan bereitgestellt. Sie ermöglicht es, Maßnahmen zu spezifizieren und mit Datum, Zuständigkeit etc. zu versehen, sodass ihre Umsetzung systematisch verfolgt werden kann.

## 2.6 Zusammenfassung und Fazit

Aufgrund der Bedeutung der Produktivität für die Wettbewerbsfähigkeit und den Erfolg von Unternehmen ist das Produktivitätsmanagement entstanden. Es nutzt verschiedene Kennzahlen zur Beschreibung der Produktivität, denen gemein ist, dass das Ergebnis



**Abb. 2.26** Gestaltungsfelder zur Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen [22]

eines Prozesses auf den Aufwand zu beziehen ist, den die Durchführung des Prozesses erfordert. Mit der Entwicklung der industriellen Produktion haben sich die Betrachtungsschwerpunkte des Produktivitätsmanagements verändert. Aktuell zeichnet sich ab, dass indirekte Bereiche und die dort auszuführenden Tätigkeiten zukünftig verstärkt zum Betrachtungsschwerpunkt des Produktivitätsmanagements werden.

Die zunehmende Digitalisierung erweitert die Möglichkeiten zur Handhabung von Informationen erheblich; dazu zählt die Gestaltung von Informationsflüssen. Diese Möglichkeiten lassen sich für das Produktivitätsmanagement nutzen und sind mit Erwartungen an einen durchschnittlichen Produktivitätszuwachs von 38 % bis zum Jahr 2027 verbunden. Diesen Erwartungen entsprechend erfolgen 41 % der Digitalisierungsmaßnahmen derzeit aus strategischen Gründen; der Behebung konkreter Probleme dienen dagegen derzeit „lediglich“ 34 % solcher Maßnahmen.

Eine erfolgreiche Nutzung der Digitalisierung bzw. eine erfolgreiche Gestaltung von Digitalisierungsmaßnahmen erfordert ein ganzheitliches Produktivitätsmanagement. Dieses umfasst Betrachtungen aller eingesetzten Ressourcen und aller dabei potenziell auftretenden Verschwendungsarten bzw. Produktivitätsverluste in allen Unternehmensprozessen sowie mögliche Wechselwirkungen zwischen diesen Prozessen. Dazu eignet sich ein systematisches Vorgehen, das sich in fünf Schritte unterteilen lässt und an einen Regelkreis angelehnt ist: Analyse der Ausgangssituation, Potenzialbewertung und Zieldefinition, Maßnahmenplanung, Umsetzung und Erfolgskontrolle.

Vor dem Hintergrund der umfangreichen Gestaltungsmöglichkeiten der Digitalisierung wünschen sich zahlreiche Unternehmen konkrete Beispiele erfolgreicher Digitalisierungsmaßnahmen aus der betrieblichen Praxis, die sie zur Orientierung nutzen können. Mithilfe solcher Good-Practice-Beispiele können vergleichende Betrachtungen vorgenommen werden und Potenziale hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Digitalisierungsmaßnahmen abgeschätzt werden. Zudem können auf diese Weise Ideen und Ansätze für eigene Digitalisierungsmaßnahmen entstehen. Aus diesem Grund wurde ein Ordnungs- und Gestaltungsrahmen entwickelt, in dem Beispiele erfolgreicher Digitalisierungsmaßnahmen strukturiert gesammelt und aus dem sie zielgerichtet entnommen werden können.

Zur systematischen Identifikation und erfolgreichen Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen wurde eine Checkliste entwickelt. Anhand dieser lassen sich zunächst Entwicklungen in den Themenfeldern Markt, Organisation und Technik ermitteln bzw. abschätzen und daraus konkrete Bedarfe ableiten. Darauf aufbauend können – auch unter Verwendung des Ordnungs- und Gestaltungsrahmens – bedarfsgerechte Digitalisierungsmaßnahmen definiert werden. Anschließend werden in der vorgestellten Checkliste Fragen zu elf Gestaltungsfeldern genutzt, um Umsetzungsmaßnahmen ganzheitlich zu ermitteln und zu realisieren.

Insgesamt wurden nicht nur Charakteristika von Produktivitätsmanagement und Digitalisierung aufgezeigt, sondern auch erläutert, welche Produktivitätspotenziale damit verbunden werden. Zudem wurden konkrete Vorgehensweisen und Hilfsmittel zur Hebung dieser Potenziale aufgezeigt.

## Literatur

1. Digital in NRW – Das Kompetenzzentrum für den Mittelstand (2019): Leitfaden Investitionskonzepte. Abgerufen am 30.07.19 unter: <https://www.digital-in-nrw.de/de/downloads>
2. Dorner M, Stowasser S. (2012). Das Produktivitätsmanagement des Industrial Engineering. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 66 (2–3), S. 212–225
3. Dorner M (2014) Das Produktivitätsmanagement des Industrial Engineering unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsproduktivität und der indirekten Bereiche, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Pforzheim
4. Eisele O, Jeske T (2019) Ganzheitliches Produktivitätsmanagement in der vernetzten Produktion. In: Riedel R (Hrsg) Die hybride Fabrik – menschliche und künstliche Intelligenz im Einklang. VPP2019 – Vernetzt planen und produzieren. Wissenschaftliche Schriftreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Sonderheft 25, Tagungsband. TU Chemnitz, Chemnitz, S 33–42
5. ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (2019). ifaa-Faktenblatt: Nachhaltiges Produktivitätsmanagement – Mehr Klimaschutz und Wohlstand. [https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote\\_und\\_Produkte/Zahlen\\_Daten\\_Fakten/Factsheet\\_Produktivita\\_t\\_und\\_Klimaschutz.pdf](https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote_und_Produkte/Zahlen_Daten_Fakten/Factsheet_Produktivita_t_und_Klimaschutz.pdf). Zugegriffen: 15. Juli 2019
6. IW Consult GmbH und Institut der deutschen Wirtschaft (2019). Produktivitätswachstum in Deutschland. Gutachten im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. (BDI). [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Gutachten/PDF/2019/Gutachten\\_BDI\\_Consult\\_Produktivitaetswachstum\\_in\\_D.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2019/Gutachten_BDI_Consult_Produktivitaetswachstum_in_D.pdf). Zugegriffen: 26 Juni 2019
7. Jeske T, Weber MA, Klues J, Lennings F (2018) Strukturierung und Analyse von Praxisbeispielen zur Nutzung der Digitalisierung für das Produktivitätsmanagement. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. doi: 10.1007/s41449-018-0105-z
8. Jeske T, Würfels M, Lennings F (2019) Produktive Gestaltung der digitalisierten Arbeitswelt. In: GfA (Hrsg) ERKENNEN. LERNEN. VERÄNDERN: Die Arbeit des Menschen in der digital vernetzten Welt. Bericht zum 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 12.–13. September 2019. GfA-Press, Dortmund
9. Jeske T, Würfels M, Frost M, Lennings F, ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg) (2020) ifaa-Studie: Produktivitätsstrategien im Wandel - Digitalisierung in der deutschen Wirtschaft. ifaa, Düsseldorf. [www.arbeitswissenschaft.net/Studie\\_Digitalisierung\\_2019](http://www.arbeitswissenschaft.net/Studie_Digitalisierung_2019). Zugegriffen: 21. August 2020
10. Lennings F, Jeske T, Meyer K (2019) Konzept zur Auswahl und ganzheitlichen Planung von Digitalisierungsmaßnahmen. In: GfA (Hrsg) Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten. Bericht zum 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 27. Februar – 1. März 2019. GfA-Press, Dortmund, Beitrag C.5.2
11. Miller, Jeffrey G. & Vollmann, Thomas E.: The Hidden Factory, In: Harvard Business Review, Vol. 63, 1985, No. 5, S. 143
12. Nebl T (2002) Produktivitätsmanagement: theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen. Carl Hanser, München
13. Obermaier R, Hofmann J, Kirsch V (2015): Konzeption einer Prozess- und Potenzialanalyse zur EX-ante-Beurteilung von Industrie 4.0-Investitionen. Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung 8/9, 27. Jahrgang, S. 485–492. Abgerufen am 30.07.19 unter: [https://www.johannhofmann.info/images/hofmann/publikationen/pdf/Controlling8\\_9\\_2015b.pdf](https://www.johannhofmann.info/images/hofmann/publikationen/pdf/Controlling8_9_2015b.pdf)
14. OECD (2015). The Future of Productivity. OECD Publishing, Paris

15. Oeij PRA, de Looze MP, Ten Have K, van Rhijn JW, Kuijt-Evers LFM (2012) Developing the organization's productivity strategy in various sectors of industry. *International Journal of Productivity and Performance Management* 61(1):93–109
16. REFA Bundesverband e. V. (2016). *Arbeitsorganisation erfolgreicher Unternehmen – Wandel der Arbeitswelt* (1. Auflage). Bad Langensalza: Beltz Bad Langensalza GmbH.
17. Statistisches Bundesamt (2019). Wichtige gesamtwirtschaftliche Größen in Milliarden Euro. Abgerufen am 28.05.19 unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/inlandsprodukt-gesamtwirtschaft.html>
18. Terstegen S, Lennings F (2018) Ergebnisse aus einem Unternehmensworkshop mit WorldCafe
19. VDMA (2015). Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in dem Mittelstand. VDMA Verlag
20. Weber MA, Jeske T, Lennings F (2017) Ansätze zur Gestaltung von Produktivitätsstrategien in vernetzten Arbeitssystemen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) *Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft*. 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. GfA-Press, Dortmund, Beitrag C.3.19
21. Weber MA, Jeske T, Lennings F, ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg) (2017) ifaa-Studie: Produktivitätsmanagement im Wandel – Digitalisierung in der Metall- und Elektroindustrie. ifaa. [www.arbeitswissenschaft.net/Studie\\_Digitalisierung\\_2017](http://www.arbeitswissenschaft.net/Studie_Digitalisierung_2017). Zugegriffen: 5. September 2019
22. Weber MA, Terstegen S, Jeske T, Lennings F (2018) Zielgerichtete Produktivitätssteigerung durch Digitalisierung und Industrie 4.0 – Beispiele im Rahmen eines schematischen Ansatzes. In: GfA (Hrsg) *Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung*. Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21.–23. Februar 2018. GfA-Press, Dortmund, Beitrag C.1.5
23. Wöhe, G. (2002). *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (21. Auflage). München: Vahlen.

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Eine nachhaltige Sicherheitskultur als Transformationsansatz für Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen

# 3

Claas Digmayer, Eva-Maria Jakobs, Anna Borg,  
Achim Buschmeyer, Cornelia Hahn, Johanna Kluge,  
Jonathan Reinartz, Jan Westerbarkey und Martina Ziefle

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt einen Transformationsansatz, der kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) auf dem Weg zu Industrie 4.0 bei der Entwicklung einer digitalen Sicherheitskultur durch ein strukturiertes Vorgehensmodell sowie geeignete Strategien (Anforderungs-Analyse, Ist-Analyse, Identifikation von Nutzenpotentialen, Entwicklung

---

C. Digmayer (✉) · E.-M. Jakobs  
Textlinguistik und Technikkommunikation, Human-Computer Interaction Center,  
RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland  
E-Mail: [c.digmayer@tk.rwth-aachen.de](mailto:c.digmayer@tk.rwth-aachen.de); [e.m.jakobs@tk.rwth-aachen.de](mailto:e.m.jakobs@tk.rwth-aachen.de)

A. Borg  
CBM Gesellschaft für Consulting Business und Management mbH, Bexbach, Deutschland  
E-Mail: [borg@cbm-ac.de](mailto:borg@cbm-ac.de)

A. Buschmeyer · C. Hahn  
DERICHS u KONERTZ GmbH u Co KG, Aachen, Deutschland  
E-Mail: [a.buschmeyer@derichsukonertz.de](mailto:a.buschmeyer@derichsukonertz.de); [c.hahn@derichsukonertz.de](mailto:c.hahn@derichsukonertz.de)

J. Kluge · M. Ziefle  
Communication Science, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University,  
Aachen, Deutschland  
E-Mail: [kluge@comm.rwth-aachen.de](mailto:kluge@comm.rwth-aachen.de); [ziefle@humtec.rwth-aachen.de](mailto:ziefle@humtec.rwth-aachen.de)

J. Reinartz  
Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland  
E-Mail: [Jonathan.Reinartz@fir.rwth-aachen.de](mailto:Jonathan.Reinartz@fir.rwth-aachen.de)

J. Westerbarkey  
Westaflex GmbH, Gütersloh, Deutschland  
E-Mail: [westerbarkey\\_jan@westa.net](mailto:westerbarkey_jan@westa.net)

von Umsetzungsinstrumenten) unterstützt. Der Transformationsansatz erweitert die eher technisch orientierten Herangehensweisen der Arbeitssicherheit, indem ein präventiv und partizipativ erarbeitetes Sicherheitskulturkonzept in den Unternehmen implementiert wird. Dabei werden etablierte Instrumente und Vorgehensmodelle des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (AGS) erweitert und an die neuen Anforderungen der digitalisierten Arbeitswelt angepasst. KMU werden so befähigt, neue Anforderungen im AGS durch flexible Lösungen zu bewältigen sowie ein passgenaues Sicherheitskulturkonzept für Industrie 4.0 zu entwickeln und zu etablieren. In diesem Beitrag werden die dazu notwendigen Schritte aufgezeigt und anhand von Praxisbeispielen veranschaulicht. Der Beitrag schließt mit den wichtigsten Befunden (Lessons learned) bei der Etablierung einer Sicherheitskultur für Industrie 4.0.

---

### 3.1 Ausgangssituation

Ansätze zur Digitalisierung der Wirtschaft fokussieren technische Aspekte. Der vorliegende Beitrag erweitert diese Perspektive durch die Entwicklung eines Transformationsansatzes für die Etablierung eines präventiven und partizipativ erarbeiteten Sicherheitskulturkonzeptes als maßgeblichen Erfolgsfaktor für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU. Der Ansatz hilft Unternehmen, Ressourcen und Barrieren des Arbeitens in der digitalisierten Welt zu identifizieren, mit den Mitarbeitern ein passgenaues Sicherheitskulturkonzept zu entwickeln und dieses durch konkrete Maßnahmen zu etablieren. Der Ansatz orientiert sich an Zielkriterien wie nachhaltige Wirksamkeit, Flexibilität und die Etablierung einer überbetrieblichen Präventionsallianz auf dem Weg in eine digitalisierte Arbeitswelt. Das Sicherheitskulturkonzept fokussiert Empowerment [28], Respekt und Vertrauen, ethische Standards für Akteure, Freiräume für Risiken sowie die Nutzung impliziten und expliziten Wissens der Mitarbeiter. Der Ansatz geht damit über bisherige Präventionsansätze hinaus. Er nutzt das Potential von Mitarbeitern und Führungskräften und setzt auf höhere Eigenverantwortung bei der Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU (Abb. 3.1).

Bislang gibt es kaum Ansätze für eine Sicherheitskultur 4.0. Insofern betritt das Vorhaben Neuland. Gleichwohl existieren eine Reihe bewährter Ansätze sowie vereinzelt Studien, die im Vorhaben genutzt bzw. aufgegriffen werden. Die Ziele des Vorhabens sind nur interdisziplinär zu erreichen durch das systematische Zusammenführen verschiedener fachlicher Perspektiven in einem gemeinsamen Bezugsrahmen. Der sicherheitskulturorientierte Transformationsansatz betrachtet das gesamte sozio-technische System von Technik,



Abb. 3.1 Zielbild des Vorhabens SiTra4.0



Abb. 3.2 Sozio-technisches System [3]

Organisation und Mensch (Abb. 3.2) und erlaubt einen integrativen Zugang zu vernetzten Strukturen und daran gebundene Qualifikationsanforderungen.

Der vorliegende Beitrag ist ein Ergebnis des Forschungsprojekts *Nachhaltige Sicherheitskultur als Transformationsansatz für Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen* (SiTra4.0). Das Projekt verbindet organisationsorientierte Forschung

zu Transformationsprozessen, Studien zu Sicherheitskulturen in Organisationen und Ansätze, die sich aus sozialwissenschaftlicher Sicht mit Wandelprozesse und Sicherheitskulturen befassen. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, diese Perspektiven in enger Zusammenarbeit mit Praxispartnern verschiedener Branchen interdisziplinär zusammenzubringen und aufeinander zu beziehen. Wesentliche Arbeitsziele sind

- die Identifikation der Elemente bzw. Anforderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes einer Sicherheitskultur 4.0, bezogen auf Empowerment, Transformation und AGS,
- die Anpassung existenter technischer Sicherheitskonzepte von KMU an die Anforderungen von Industrie 4.0 sowie
- Die Identifikation förderlicher und hemmender Faktoren beim Übergang in eine digitalisierte Arbeitswelt.

### **3.1.1 Ausgangssituation und Herausforderungen in der Komponentenherstellung**

Die industrielle Arbeitswelt ändert sich schleichend, aber fundamental. Die physischen, psychischen und intellektuellen Anforderungen der modernen Arbeitswelt sind immens, die Auswirkungen der Digitalisierung und neuer Arbeitsformen schwer vorhersehbar. Unternehmens-Software wie SAP suggerieren, dass bei richtiger Anwendung und Implementierung im Unternehmen alle erfolgsentscheidenden Faktoren unter Kontrolle gehalten werden können. Der Trend zur kontinuierlichen Steigerung von sicherheitsbezogenen Features und Kontrollinstrumente führt dazu, dass ‘Superspezialisten’ und digitale Systeme im Fokus aller industriellen Sicherheitsbemühungen stehen. Aufgrund dieser Fokussierung erfolgte die Kontrolle von Gefährdungen bisher nur punktuell in den klassischen, analog geprägten Schutzfunktionen. Exemplarisch sind hier verschiedene Risikofelder zu nennen: Arbeitsunfall (Arbeits- und Gesundheitsschutz), Belastung und Umwelt (Umweltschutz), Belastungen durch Strahlenexposition (Strahlenschutz), Brandbelastungen (Brandschutz), kriminelle Belastungen (Objektschutz) Störungen der betrieblichen Ordnung (Werkschutz), Know-how-Verlust (Informationsschutz), stör anfällige Produktion und Produkte (technischer Schutz). Insgesamt zeigt sich, dass die Beherrschung aller Risiken ein Prozess ist, der durch die Digitalisierung kontinuierlich komplexer wird.

### **3.1.2 Ausgangssituation und Herausforderungen in der Baubranche**

Die Planung und Errichtung eines Gebäudes verlangt die Zusammenarbeit eines interdisziplinären Teams mit sehr unterschiedlichen Kompetenzen und Bildungshintergründen. Von planerisch-kaufmännischen Aufgaben über technische Arbeitsfelder

hin zu handwerklichen Tätigkeiten auf der Baustelle werden sehr heterogene Arbeitsbereiche des Bauprozesses abgebildet. Neben diesen komplexen internen Unternehmensstrukturen werden die Bauvorhaben aufgrund steigender Qualitätsanforderungen sowie strengerer behördlicher Auflagen fortwährend vielschichtiger. Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wachsen dadurch die Herausforderungen für die notwendige digitale Transformation. Prominente Beispiele wie Stuttgart 21 oder der Berliner Flughafen zeigen deutlich die Auswirkungen von fehlender Übersichtlichkeit und Ineffizienzen bei Bauprozessen [22].

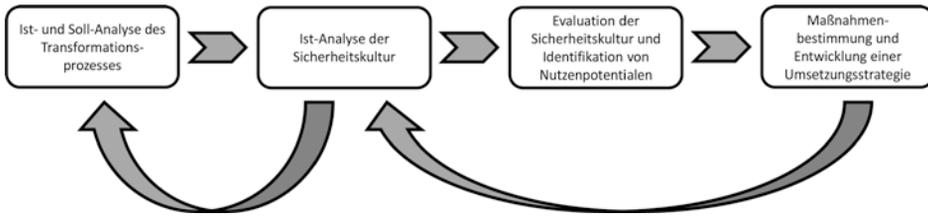
Seit etwa 10 Jahren kann die Baubranche lediglich ein Produktivitätswachstum von etwa drei Prozent verzeichnen. Der Zuwachs fiel in anderen Branchen deutlich höher aus. Bauspezifische digitale Ansätze, wie Building Information Modelling (BIM), finden aktuell nur zu 4 % in der gesamten Baubranche Anwendung. BIM ermöglicht die digitale Abbildung aller Bauprozesse und schafft so die Schnittstelle für die Zusammenarbeit mit geringeren Reibungsverlusten der diversen Tätigkeitsfelder eines Bauunternehmens. Aufgrund der Bauprojektkomplexität sowie einer hohen Zahl an externen Beteiligten erweist sich die sukzessive Digitalisierung bislang insbesondere in KMU als sehr langwierig. Durch einen strukturierten digitalen Transformationsansatz können die bestehenden hohen Potenziale in der Baubranche erschlossen [30].

Sehr deutlich lässt sich die Herausforderung der Diversität bei der Digitalisierung der Arbeit am Beispiel der Baubranche darlegen. Aus Arbeitgebersicht stellt die Digitalisierung einen notwendigen Schritt dar, um zukunftsfähig zu sein, und gleichzeitig kann sie einen Bonusfaktor im Ringen um Fachkräfte darstellen. Dabei ist Digitalisierung nicht gleich Digitalisierung und unterliegt den Gegebenheiten der Branche und den damit verbundenen Arbeitsfeldern. Daher ist es notwendig, Digitalisierungsprozesse unter diesen – branchenspezifischen – Aspekten zu betrachten. Die Frage dabei ist, welche Aspekte die Potenziale für eine arbeitnehmerfreundliche Transformationsstrategie bieten generisch, und welche branchenspezifisch sind. Die Analyse und Bewertung dieser Aspekte die Möglichkeit, Arbeitnehmer optimal auf dem Weg in die digitale Arbeitswelt zu begleiten und gleichzeitig für Fachkräfte attraktiv zu bleiben.

---

## 3.2 Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen

Im Folgenden wird die Herangehensweise für die Entwicklung und Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 in vier Einzelschritten dargestellt. Der erste Schritt fokussiert die Identifikation von Anforderungen an (Kultur)Transformationsprozessen in KMU und deren Implementierung auf Basis einer Ist-Analyse der zentralen Unternehmensprozesse. Im zweiten Schritt wird die bestehende Sicherheitskultur im Hinblick auf das Zusammenspiel von Arbeitssicherheit, Arbeits- und Gesundheitsschutz analysiert. Schritt drei fokussiert die Evaluation der bestehenden Sicherheitskultur, Schritt vier die Auswahl von kommunikations- und verhaltensbezogenen Maßnahmen des Empowerments von Mitarbeitern, um eine Sicherheitskultur 4.0 zu etablieren. Schritt eins des Vorgehens



**Abb. 3.3** Vorgehen bei der Entwicklung einer Sicherheitskultur 4.0

zeigt das Ziel der Transformation auf, die übrigen Schritte müssen iterativ wiederholt werden, um den Stand des Transformationsvorhabens zu monitoren, seinen Erfolg zu gewährleisten und eventuell notwendige Anpassungen an den Soll-Zustand der Transformation zu veranlassen. Das Vorgehen wird in Abb. 3.3 dargestellt und im Folgenden hinsichtlich der Einzelschritte beschrieben.

### 3.2.1 Schritt 1: Anforderungen an den Transformationsprozess identifizieren

Für die Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 müssen in einem ersten Schritt eine Anforderungsanalyse und eine Konzeptentwicklung für den angestrebten Transformationsprozess durchgeführt werden. Im Fokus stehen dabei die Technik und Organisation der Unternehmen. Die Umgebung wie auch die Arbeitsbedingungen im Unternehmen haben großen Einfluss auf den Erfolg einer Transformation [27]. Hier gilt es, die entscheidenden Einflussfaktoren konkret zu bestimmen und im Transformationsprozess zu berücksichtigen. Auf der organisationalen Ebene muss beschrieben werden, wie alle Beteiligten den für sich maximalen Nutzen aus der Transformation zu einer neuen Sicherheitskultur ziehen.

Für eine Anforderungsanalyse müssen die Ausprägungen „Organisationsstruktur“, „Prozesse“, Aufbau der notwendigen „Personalqualifikation“ und das zukünftige Gefüge von Rollen und „Verantwortungen“ untersucht werden, die durch „Führung“, „Kommunikation“ und „Changemanagement“ im Unternehmen verbreitet werden. Die genannten Ausprägungen sind Bestandteil des Business Modell Canvas [12]. Es ist wichtig, dass die Sicherheit im Unternehmen ständig an veränderte Rahmenbedingungen angepasst wird, um zum einen die Sicherheit im Unternehmen gewährleisten zu können und zum anderen dem Widerstand und den Ängsten der Mitarbeiter entgegenzuwirken. So kann verhindert werden, dass zu einem späteren Zeitpunkt eine radikale Umstrukturierung von Maßnahmen bezüglich der Sicherheitskultur erfolgen muss.

Der dargestellte Ansatz geht explizit davon aus, dass sich Transformationen aus strategischen Überlegungen heraus entwickeln und von diesen abgeleitet wird. Demgemäß werden an einer strategischen Entscheidung und Zielsetzung ausgerichtet die weiteren Teilbereiche gestaltet. Zusätzlich werden die Gestaltungsfelder flankiert, die den derzeitigen

Zustand der Unternehmenskultur sowie die zukünftig erwünschte Unternehmenskultur in einem definierten Zielzustand nach der Business Transformation beschreiben. Die Ergebnisse der Analysen zu Anforderungen an die Transformationsprozesse in den Praxispartnern des SiTra4.0-Projekts werden exemplarisch in Abschn. 3.3.2.1 beschrieben.

### **3.2.2 Schritt 2: Die bestehende Sicherheitskultur analysieren**

In einem zweiten Schritt bei der Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 muss die bestehende Sicherheitskultur analysiert werden. Zu untersuchen sind insbesondere die einer Kultur zugrunde liegenden Grundannahmen (vgl. [25]), die als Deutungs- und Handlungsmuster maßgeblich für die tägliche Umsetzung sind. Um eine Sicherheitskultur fassbar zu machen bedarf es eines passenden *Einordnungs- und Gestaltungsrahmens*, der die Komplexität verschiedener Kultur Aspekte über Indikatoren abbildet. Solche Kulturindikatoren müssen „Sicherheit“ und „Digitalisierung“ aufgreifen. Die Entwicklung und Anwendung eines solchen Rahmens wird exemplarisch in Abschn. 3.3.2.2 beschrieben.

### **3.2.3 Schritt 3: Nutzenpotentiale einer Sicherheitskultur 4.0 offenlegen**

Der Erfolg des Transformationsansatzes muss messbar gemacht werden. Hierfür müssen geeignete Metriken identifiziert und ausgewählt werden, die den Erfolg perspektivenabhängig (Mitarbeiterrolle, Branche etc.) und zeitlich (kurz-, mittel- und längerfristige Erfolgsauswirkungen) festlegen. Dieser Schritt ist wesentlicher Bestandteil einer Nachhaltigkeitsstrategie im sicherheitskulturbezogenen Denken und Handeln im Unternehmen. Ziel muss es zunächst sein, den aktuellen Stand einer Sicherheitskultur (als Teil der Ist-Analyse) abzubilden und Nutzenpotentiale zu identifizieren. Im Laufe des Transformationsprozesses muss die Methode wiederholt angewendet werden, um Trends in der Entwicklung zu einer Sicherheitskultur 4.0 abzubilden. In SiTra4.0-Projekt wurde die Evaluation der Sicherheitskultur exemplarisch quantitativ mittels Fragebogen-Studie untersucht. Die dabei erhobenen Metriken umfassen Aspekte eines guten Arbeitsplatzes sowie motivierende und hemmende Faktoren der Digitalisierung aus Arbeitnehmerperspektive in der Baubranche (die Ergebnisse werden in Abschn. 3.3.1.1, 3.3.1.2 und 3.3.1.3). Für die Evaluation bieten sich zusätzlich qualitative Methoden an, etwas Tiefeninterviews oder Fokusgruppen.

### **3.2.4 Schritt 4: Maßnahmen für die Transformation zu einer Sicherheitskultur 4.0 ergreifen**

Der letzte Schritt einer Iteration auf dem Weg zu einer Sicherheitskultur 4.0 besteht (aufbauend auf dem Vergleich der Ist- und Soll-Analysen) in der Maßnahmenauswahl

und der Vorgehensfestlegung. Hierzu müssen Potentiale der vorhandenen Sicherheitskultur identifiziert, Anforderungen an eine Sicherheitskultur 4.0 auf Verhaltens- und Kommunikationsebene festgelegt sowie Maßnahmen für das Empowerment von Mitarbeitern entwickelt werden.

Transformationsprozesse zu Industrie 4.0 erfordern Maßnahmen, die es den Beteiligten erlauben, firmeninterne Vorstellungen von Sicherheit und sicherem Verhalten zu verstehen und zu benennen, informelles und kollektives Wissen für Veränderungsprozesse produktiv zu nutzen, sich auf Stile des Umgangs und Verhaltens zu einigen sowie Strategien für die Kommunikation und gemeinsame Bewältigung von Ängsten und Unsicherheiten zu entwickeln. Dies umfasst u. a.:

- Strategien und Vorgehensweisen der Entwicklung eines unternehmensinternen Codes of Conduct (Selbstverpflichtung zu sozialem und kommunikativem Verhalten, dem Umgang mit Fehlern und kulturell sensiblen Aspekten),
- Strategien und Tools für eine intensiviertere Kommunikation (die mehr ist als Informationsweitergabe) und Partizipation (z. B. Workshops, digitale Chats, Rückmeldekanäle, Teamgespräche)
- kommunikative Verfahren der industriellen Prozesserhebung [17] für die Entwicklung eines geteilten “mentalinen” Gesamtbildes und eines tieferen Verständnisses für den eigenen Beitrag zum Ergebnis
- Vorgehensweisen beim eigenverantwortlichen Erkennen, Offenlegen und Bearbeiten potentieller Fehlerquellen (konstruktive Nutzung informeller Lösungsansätze, strukturierte Teamgespräche).

Veränderungsprozesse führen nicht zu den gewünschten Ergebnissen, wenn ihre Notwendigkeit nicht begründet und von den Betroffenen akzeptiert wird. Die Einführung von Maßnahmen zur Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 ist der kritischste Punkt im Transformationsprozess – fehlende Akzeptanz seitens der Mitarbeiter kann zum Scheitern aller Transformationsversuche führen. Die von den Mitarbeitern wahrgenommenen Risiken der industriellen Digitalisierung müssen mit geeigneten Kommunikationsformaten adressiert werden. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ist die Bereitschaft, sich aktiv einzubringen, je nach Mitarbeiter unterschiedlich hoch. Ein vielversprechender Ansatz ist, Mitarbeiter als Promotoren für risikobewusstes Verhalten zu gewinnen. Der Auswahl- und Schulungsprozess solcher Promotoren muss von Kommunikationsexperten begleitet werden. Schulungsbedarf besteht ggf. auch auf Ebene des mittleren und höheren Managements. Eine wesentliche Aufgabe ist das Nachhalten der Umsetzung des Verhaltenskodex – etwa ob formelle und informelle Formen der kommunikativen Bearbeitung von Risiken und Fehlern konform gehen mit Sicherheitsvorschriften und -richtlinien. Darüber hinaus ist ein kontinuierliches Monitoring hinsichtlich neuer (interner und externer) Risiken erforderlich, um Richtlinien und Schulungen auf dem neuesten Stand zu halten (z. B. mithilfe von Text Mining und Topic Tracking-Methoden).

## 3.3 Ergebnisse

### 3.3.1 Auswirkungen auf Arbeitsgestaltung

Ergebnisse zur Auswirkung der Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 auf die Arbeitsgestaltung umfassen Befunde zur Arbeitnehmerperspektive auf Aspekte eines guten Arbeitsplatzes (Abschn. 3.3.1.1), zu motivationalen und hemmenden Faktoren der Digitalisierung (Abschn. 3.3.1.2) sowie zu Nutzenpotentialen und Aufgabenbereichen einer sicherheitskultur-4.0-gerechten Arbeitsgestaltung (Abschn. 3.3.1.3). Diese Aspekte wurden in einer Studie der Projektpartner HCIC/Communication Science (RWTH Aachen University) und DERICHS u KONERTZ GmbH u Co KG untersucht. In der Studie wurde ein mehrstufiges Verfahren gewählt, um die Nutzenpotenziale der Arbeitnehmerperspektive zu analysieren. Zunächst wurde in einer breit angelegten Studie (n=505) potenziell attraktive und hemmende Faktoren der Digitalisierung aus Arbeitnehmerperspektive erhoben. Zusätzlich wurde untersucht, welche Arbeitsfelder aus Arbeitnehmersicht im Transformationsprozess relevant sind. Neben der generischen Erhebung von Einstellungen zur Digitalisierung des Arbeitsplatzes wurde die Baubranche als Praxisbeispiel gewählt und eine weitere Studie (n=85) mit Arbeitnehmern aus der Branche durchgeführt. Die Auswahl der in die Studien integrierten Aspekte erfolgte in Abstimmung mit den Projektpartnern und auf Basis von Interviews sowie Literaturstudien. Die Ergebnisse wurden trianguliert und in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern im Hinblick auf Potenziale für eine Transformationsstrategie analysiert.

Anhand der Befunde müssen geeignete Kommunikations- und Empowermentmaßnahmen für die Transformation zu einer sicheren Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0 (Abschn. 3.3.1.4) entwickelt werden. Die im Teilprojekt “Entwicklung eines Befähigungs- und Beteiligungskonzeptes für eine Sicherheitskultur 4.0” vom Projektpartner HCIC/Textlinguistik und Technikkommunikation (RWTH Aachen University) mit der Westaflex GmbH durchgeführten Arbeiten zielten auf die Identifikation geeigneter Maßnahmen für die Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 in der Komponentenherstellung. Die durchgeführten Arbeiten bauen auf den Ergebnissen der Teilprojekte “Entwicklung eines Transformationsprozesses für eine Sicherheitskultur 4.0 und dessen Implementierung” (mehrdimensionales Anforderungsprofil, Heatmap für Kernprozesse, Case-Entwicklung) und “Entwicklung eines Gestaltungsrahmens für eine Sicherheitskultur 4.0” (Kulturindikatoren) auf und wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern durchgeführt. Die Identifizierung von Anforderungen und Barrieren erfolgte literaturbasiert sowie empirisch beim Praxispartner Westaflex sowie externen Experten. Das methodische Design nutzt einen Methodenmix (u. a. Interview, Dokumentanalyse, teilnehmende Beobachtung). Die Maßnahmenentwicklung erfolgte literaturbasiert sowie durch eine empirische Methodenkombination (u. a. Methoden der industriellen Prozessmodellierung, World Café, Tiefeninterview, teilnehmende Beobachtung, Workshops zur Einführung digitaler Dokumentationssysteme, Text Mining) und eine Re-Analyse der Ergebnisse der Anforderungsanalyse.

### 3.3.1.1 Ergebnisse zur Arbeitnehmerperspektive auf Aspekte eines guten Arbeitsplatzes

Arbeitnehmerzufriedenheit stellt einen entscheidenden Faktor für gesunde Arbeitsbedingungen dar und stärkt gleichzeitig die Bindung zwischen Angestellten und Unternehmen ([23, 24]). Somit ist Arbeitnehmerzufriedenheit ein entscheidender Aspekt für eine gute Zusammenarbeit, besonders in Zeiten des Wandels.

Abb. 3.4 zeigt die Gewichtung verschiedener Aspekte eines guten Arbeitsplatzes mittels der Vergabe von Sternen (min=1; max=10) durch die Probanden im Rahmen der in SiTra4.0 durchgeführten Arbeitnehmerstudie. Eine höhere Anzahl an Sternen bedeutet hier eine höhere Wichtigkeit für die Befragten. Dabei zeigt sich, dass die befragten Arbeitnehmer alle vorgelegten Aspekte als wichtig einstufen. Die meisten Sterne werden im Durchschnitt an ein gutes Arbeitsklima ( $M=9,1$ ;  $SD=1,35$ ), Arbeitsplatzsicherheit ( $M=8,93$ ;  $SD=1,49$ ) und gesunde Arbeitsbedingungen ( $M=8,93$ ;  $SD=1,57$ ) vergeben. Hervor sticht hier, dass Familienfreundlichkeit im Kontrast zu den anderen Aspekten die geringste Sterneanzahl erhält ( $M=7,87$ ;  $SD=2,20$ ).

Eine Varianzanalyse zeigte, dass die älteren Probanden (ab 56 Jahren) insgesamt signifikant mehr Sterne an die einzelnen Aspekte vergaben als die jüngeren. Die Rangfolge blieb dieselbe. Einen altersbezogenen Unterschied in Wahrnehmung und Gewichtung arbeitsplatzbezogener Facetten konnten z. B. auch Kooij et al. zeigen: Arbeitnehmer legen mit zunehmendem Alter größeren Wert auf ein angenehmes Arbeitsumfeld, während jüngere Arbeitnehmer eher Aspekte wie Aufstiegs- und Karrierepotential betonen ([20, 21]).

Arbeitnehmerfaktoren wie Alter sollten folglich als relevant in Überlegungen über die Gestaltung einer gesunden und arbeitnehnergerechten Transformation zur digitalen



**Abb. 3.4** Aspekte eines guten Arbeitsplatzes (max. mögliche Sternevergabe = 10; N = 505)

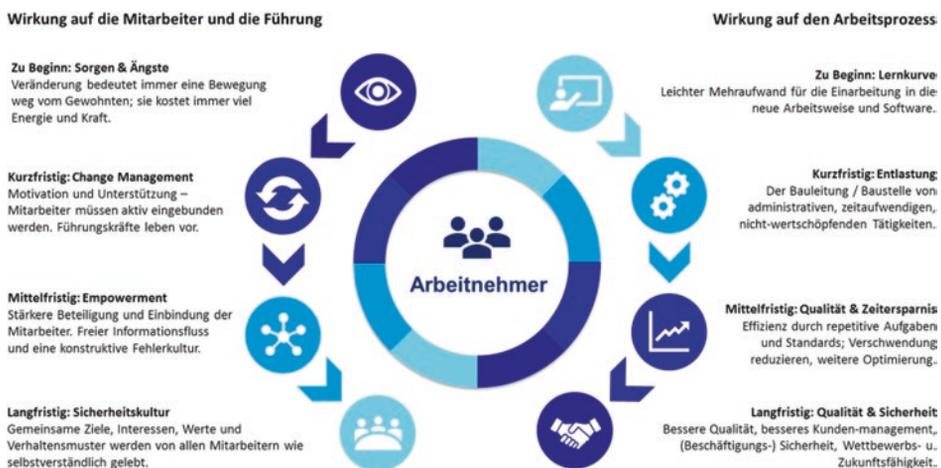
Arbeit einbezogen werden. In Bezug auf die Kulturindikatoren zeigt sich hier die Relevanz der Ebene des Individuums als Unternehmensebene, die es im Rahmen einer Sicherheitskultur 4.0 zu berücksichtigen gilt. Auch verdeutlicht das Ergebnis die hohe Relevanz von „weichen Faktoren“, wie ein gutes Arbeitsklima, für die Arbeitnehmer, die wesentlich durch die identifizierten Kulturindikatoren geprägt werden können (vgl. Abb. 3.17).

### 3.3.1.2 Ergebnisse zu motivationalen und hemmenden Faktoren der Digitalisierung

Grundlegende Veränderungen des eigenen Arbeitsplatzes können zu großen Verunsicherungen führen. Folgen können eine negative Haltung zum Arbeitgeber und eine Verschlechterung des Arbeitsklimas sein. Auf der anderen Seite bietet die Digitalisierung neben notwendigen Veränderungen des Arbeitgebers (Wettbewerbsfähigkeit) auch gleichzeitig viel Potenzial für positiven Wandel, wie z. B. Möglichkeiten des Empowerments, Arbeitserleichterungen und größere Autonomie der Arbeitnehmer in der Durchführung ihrer Aufgaben [1].

Für die Transformation zu einer digitalen Aufbau- und Ablaufstruktur ist es daher wichtig, Ansatzpunkte zu finden, den Mitarbeitern gezielt Sorgen zu nehmen und diesen vorzubeugen. Auf der anderen Seite müssen Potenziale und motivierende Aspekte für die Mitarbeiter in die geänderte Strategie einbezogen werden.

Die Digitalisierung hat nicht nur großen Einfluss auf die Arbeitsabläufe und -prozesse innerhalb eines Unternehmens, sondern wirkt sich gleichermaßen auch auf die Arbeitseinstellung der Mitarbeiter und die Art der Mitarbeiterführung aus. Von der Einführung einer digitalen Prozesslösung bis zur vollständigen Umsetzung und Akzeptanz durchläuft ein Unternehmen einen vier-stufigen Transformationsprozess. Abb. 3.5 bildet diese



**Abb. 3.5** Erwartete Auswirkung der Digitalisierung auf Arbeitnehmer in der Baubranche

Entwicklung ab und unterscheidet zwischen der Wirkung auf die Arbeitsprozesse und der Wirkung auf die Mitarbeiter bzw. der Art der Führung.

Nach der Einführung einer digitalen Prozesslösung muss der Arbeitnehmer zunächst einen Mehraufwand betreiben, um die digitale Anwendung fehlerfrei anzuwenden und den gleichen Arbeitsoutput zu produzieren. Der Arbeitnehmer kann nun nicht mehr seiner Arbeitsroutine folgen und muss sich in neue Prozesse einarbeiten. Dies hat zur Folge, dass mehr Zeit und Energie aufgewendet werden muss, wodurch der Arbeitnehmer sich unbehaglich und unwohl fühlt.

Kurzfristig kann dann allerdings eine Entlastung von administrativen, nicht-wertschöpfenden und zeitaufwendigen Tätigkeiten festgestellt werden. In dieser Phase der ersten Entlastung müssen Arbeitnehmer aktiv in den Digitalisierungsprozess eingebunden werden und Motivation und Unterstützung der Führungskräfte erfahren. Gleichzeitig müssen Führungskräfte neue Arbeitsweisen vorleben und übernehmen in diesem Zusammenhang eine Vorbildfunktion (Change Management).

Durch die ständige Wiederholung der neu definierten digitalen Arbeitsprozesse entwickeln sich mittelfristig optimierte Anwendungsstandards und Ressourcenverschwendung wird reduziert. Arbeitnehmer werden sicherer im Umgang mit digitalen Prozessen. In dieser Phase muss ein freier Informationsfluss gegeben sein und Fehler müssen durch Führungskräfte konstruktiv toleriert werden. Nur dadurch können sich Prozesse intern weiterentwickeln und optimieren. Weiterhin sollten Arbeitnehmer verstärkt involviert und befähigt werden sich proaktiv an dem Digitalisierungsprozess zu beteiligen (Empowerment).

Nach vollständiger und umfänglicher Implementierung verbessert sich langfristig die Qualität und Sicherheit der Arbeitsprozesse. Auch Kunden profitieren dadurch und die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit des Unternehmens wird gestärkt. Zu diesem Zeitpunkt haben alle Arbeitnehmer die damit einhergehenden Verhaltensmuster, Ziele und Werte vollständig adaptiert und sehen die digitale Arbeit als selbstverständlich an.

Zum Verständnis darüber, welche Faktoren im Zuge der Digitalisierung als Potenzial und welche als eventuelle Belastung durch die Arbeitnehmenden wahrgenommen werden, wurde daher die Wahrnehmung von Einzelaspekten vertiefend untersucht. Die Ergebnisse der Befragung von Arbeitnehmern zeigte, dass Potenziale vor allem in der Verbesserung der eigenen Arbeitsleistung qualitativ ( $M=3,95$ ;  $SD=1,47$ ) - und quantitativ ( $M=3,93$ ;  $SD=1,44$ ) gesehen werden.

Aber auch eine verbesserte Kommunikation innerhalb des Unternehmens wird als potenzielle Verbesserung durch die Digitalisierung wahrgenommen ( $M=3,8$ ;  $SD=1,46$ ). Vorteile durch zeitliche Flexibilisierung der Arbeit ( $M=3,11$ ;  $SD=1,62$ ) oder eine verbesserte Work-Life-Balance ( $M=3,08$ ;  $SD=1,55$ ) finden ebenfalls Zustimmung bei den Befragten (vgl. Abb. 3.6).

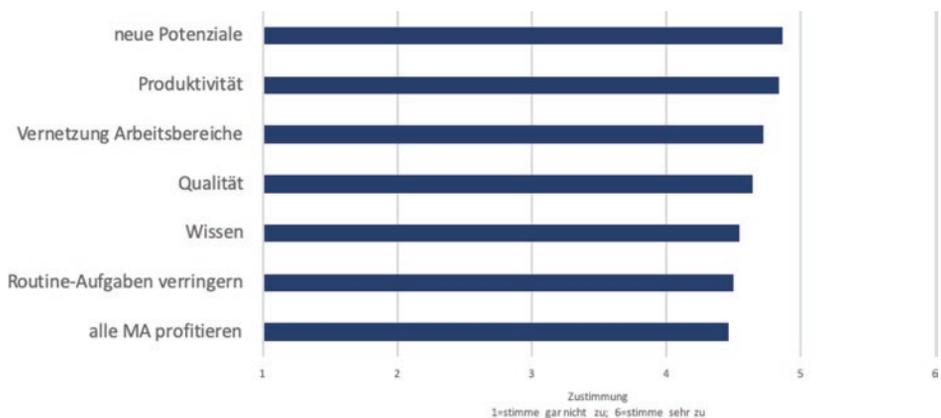
Die hier von den Arbeitnehmern als besonders positiv wahrgenommenen Aspekte bieten sich an, um diese durch Akzentuierung im Rahmen eines Veränderungsprozesses zu implementieren und dadurch das Engagement der Arbeitnehmer zu erhöhen. Bezogen auf die Kulturindikatoren spiegeln sich diese Aspekte vor allem auf der Gruppenebene



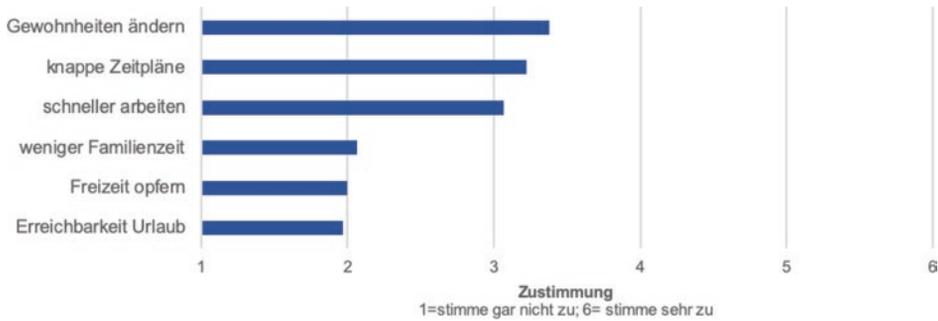
**Abb. 3.6** Arbeitnehmerwahrnehmung der Potenziale der Digitalisierung (N = 505)

des Kulturindikators *Kommunikation* (v. a. Schnittstellen) wider, aber auch *Werte* spielen hier eine wesentliche Rolle im Sinne von Leitlinien (z. B. gute Work-Life-Balance als Wert im Unternehmen, vgl. Abb. 3.17).

Die durchgeführte Befragung in der Baubranche ergab ebenfalls eine insgesamt positive Haltung zu den unterschiedlichen Digitalisierungspotentialen (vgl. Abb. 3.7). Auch hier erhalten Motive, die die eigene Leistung und eine Verbesserung der Arbeitsperformanz betreffen, die höchste Zustimmung (neue Potenziale:  $M = 4,87$ ;  $SD = 0,81$ ; Produktivität:  $M = 4,83$ ;  $SD = 0,97$ ). Hier wird darüber hinaus der Aspekt der Vernetzung zwischen den relativ separierten Arbeitsbereichen, die in der Baubranche vorherrschend sind, akzentuiert ( $M = 4,71$ ;  $SD = 0,78$ ). Aufgrund dieser sehr diversen Arbeitsbereiche ist die Analyse der abteilungsabhängigen Bewertung der Potenziale durch die Digitalisierung von Interesse für eine passgenaue Transformationsstrategie, um der diversen Abteilungsstruktur im Unternehmen gerecht zu werden.



**Abb. 3.7** Arbeitnehmerwahrnehmung der Potenziale der Digitalisierung am Beispiel Baubranche (N = 85)



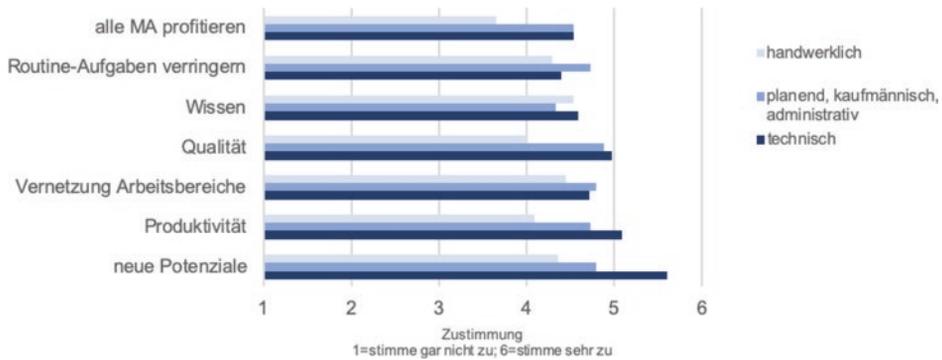
**Abb. 3.8** Arbeitnehmerwahrnehmung der Potenziale der Digitalisierung nach Abteilungen (N=85)

Die großen Unterschiede zwischen den Bereichen Handwerk, technisch sowie planend/kaufmännisch/ administrativ, spiegeln sich auch in der Wahrnehmung der motivationalen Aspekte wider (vgl. Abb. 3.8). Während sich für den technischen Bereich vor allem neue Potenziale durch die Digitalisierung als Motivator zeigen ( $M=5,06$ ;  $SD=0,76$ ), bewerten die im Bereich Planung, Administration und kaufmännische Abteilung tätigen Teilnehmer die Steigerung der eigenen Arbeitsqualität durch die Digitalisierung am positivsten ( $M=4,00$ ;  $SD=1,00$ ). Für die handwerklich tätigen Arbeitnehmer stellt der Aspekt der besseren Wissensdistribution im Unternehmen das größte Potenzial dar ( $M=4,45$ ;  $SD=0,69$ ).

Sowohl die generische als auch die spezifische Erhebung zeigen, dass vor allem die Verbesserung der eigenen Leistung sowie die Produktivität als positiv wahrgenommen und somit als motivierender Treiber in der Transformation zur digitalen Arbeit betont werden. Auch Vernetzung und Kommunikation werden als besonders positiv wahrgenommen. Es zeigt sich aber auch, dass die motivierenden Aspekte nach Arbeitsbereich unterschiedlich bewertet werden und somit, dass der Einbezug der Diversität der Abteilungen in die Ausgestaltung von Maßnahmen und Strategien Potential für eine erfolgreiche Transformation bietet.

Zusätzlich zu motivierenden Aspekten der Digitalisierung aus Arbeitnehmersicht wurden auch potenziell hemmende Faktoren untersucht.

Auf allgemeiner Ebene zeigt sich, dass die generelle Wahrnehmung negativer Aspekte eher gering ausfällt (vgl. Abb. 3.9). Zustimmung findet hier vor allem die Sorge vor Änderungen der eigenen Arbeitsgewohnheiten durch die Digitalisierung und den damit verbundenen geänderten Arbeitsabläufen ( $M=3,39$ ;  $SD=1,50$ ). Auch Befürchtungen, dass mit den Änderungen knappere Zeitpläne ( $M=3,22$ ;  $SD=1,48$ ) und ein schnelleres Arbeitspensum ( $M=3,07$ ;  $SD=1,54$ ) einhergehen, werden in der Tendenz bestätigt. Sorgen, dass durch die Digitalisierung das Privatleben leidet, etwa durch weniger Zeit mit der Familie ( $M=2,06$ ;  $SD=1,47$ ), Einschnitte in die Freizeit ( $M=2,0$ ;  $SD=1,30$ ) oder die Erwartung an Erreichbarkeit für den Beruf im



**Abb. 3.9** Arbeitnehmerwahrnehmung negativer Aspekte Digitalisierung (N = 505)

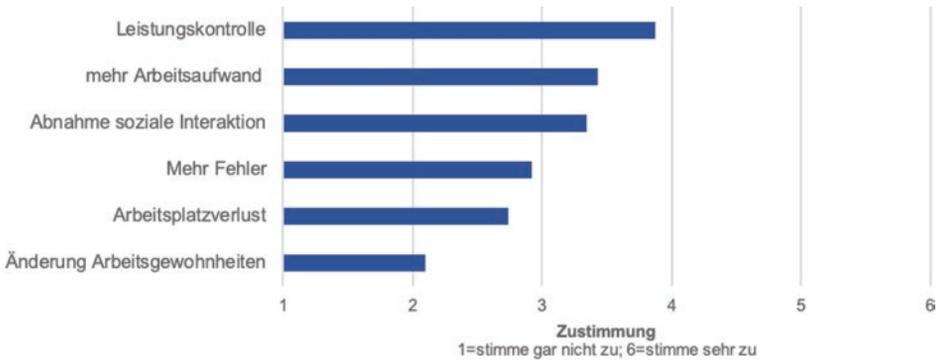
Urlaub ( $M = 1,98$ ;  $SD = 1,48$ ) werden eher schwach wahrgenommen. Somit zeigt sich auch hier, wie bei den motivierenden Faktoren, eine klare Fokussierung auf die Auswirkungen der Digitalisierung auf die eigene Arbeitsperformanz. Die Ergebnisse weisen auf das Potenzial des Kulturindikators Einbindung hin, im Sinne von Trainings, die in geänderten Arbeitsabläufen schulen, um hier Belastungen vorzubeugen (vgl. Abb. 3.17).

Die Erhebung in der Baubranche zeigt, dass hier Sorge besteht, dass durch die Einführung digitaler Arbeitsprozesse die eigene Leistung stärker kontrolliert werden könnte ( $M = 3,81$ ;  $SD = 1,08$ ). Auch die Befürchtungen vor erhöhtem Arbeitsaufwand durch geänderte Arbeitsabläufe und neu zu erlernenden Systemen finden hier Ausdruck ( $3,43$ ;  $SD = 1,15$ ).

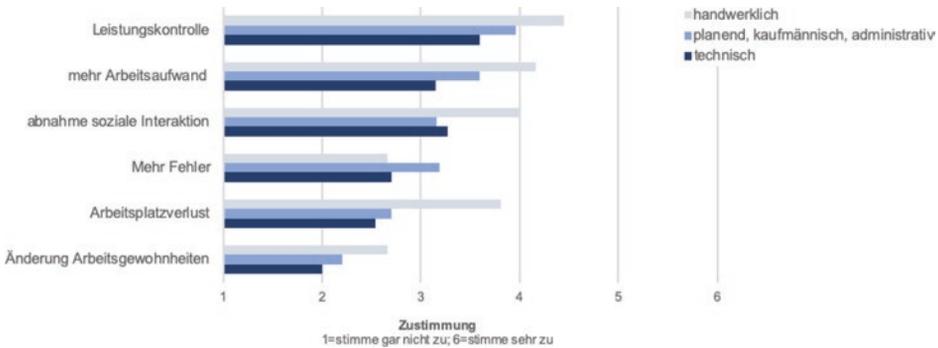
Zusätzlich zeigt sich am Beispiel Baubranche, dass die Befragten eher zustimmen, die soziale Interaktion unter den Mitarbeitern könnte abnehmen ( $M = 3,34$ ;  $SD = 1,05$ ). Hingegen wurde hier im Kontrast zur generischen Befragung eine geringe Sorge vor mehr Fehlern in der eigenen Arbeitsperformanz ( $M = 2,92$ ;  $SD = 0,91$ ), Arbeitsplatzverlust ( $M = 2,74$ ;  $SD = 1,16$ ) oder einer negativen Änderung der Arbeitsgewohnheiten ( $M = 2,11$ ;  $SD = 0,83$ ) deutlich (vgl. Abb. 3.10).

Der Vergleich der potenziell negativen Aspekte der Digitalisierung des eigenen Arbeitsplatzes nach Abteilungen zeigte für das Beispiel Baubranche, dass die Wahrnehmung sich deutlich nach Abteilung unterscheidet (vgl. Abb. 3.11). Wie bei den motivationalen Aspekten wird deutlich, dass die handwerklich tätigen Arbeitnehmer in ihrer Einschätzung deutlich von den anderen Arbeitsbereichen abweichen. Für die handwerklich Tätigen ist die Sorge vor Leistungskontrolle ( $M = 4,45$ ;  $SD = 1,03$ ), mehr Arbeitsaufwand ( $M = 4,16$ ;  $SD = 0,75$ ), aber auch die Abnahme sozialer Interaktion ( $M = 4,00$ ;  $SD = 0,89$ ) deutlich stärker ausgeprägt als bei Arbeitnehmern der anderen Bereiche. Auffällig ist hier auch die stärker ausgeprägte Sorge vor dem Verlust des Arbeitsplatzes ( $M = 3,81$ ;  $SD = 1,07$ ).

Die Unterschiede in der Bewertung der Aspekte liegen in der Art der Tätigkeit und den stark diversen Arbeitsbereichen der Baubranche. Dennoch zeigt sich am Beispiel der



**Abb. 3.10** Arbeitnehmerwahrnehmung negativer Aspekte Digitalisierung, Beispiel Baubranche (N = 85)



**Abb. 3.11** Arbeitnehmerwahrnehmung negativer Aspekte Digitalisierung nach Abteilungen (N = 85)

Baubranche deutlich die Wichtigkeit des Einbezugs der diversen Arbeitsbereiche und die Notwendigkeit des Verständnisses über unterschiedliche Motivations- und Befürchtungsstrukturen. Somit wird hier die Bedeutsamkeit der Gruppenebene des Rahmenmodells Sicherheitskultur 4.0 deutlich (vgl. Abb. 3.17). Erfolgreiche und für den Mitarbeiter gesunde Transformationsstrategien müssen dies berücksichtigen, um ein gesundes Arbeitsklima zu schaffen und Mitarbeiter so im Wandel zu einer digitalen Unternehmensstrategie einzubeziehen und die sich dadurch bietenden Potenziale für Arbeitnehmer und Unternehmen bestmöglich auszuschöpfen.

Während die generische Studie zeigen konnte, dass grundlegende Wahrnehmungen von hemmenden und motivierenden Faktoren vor allem aufgaben- und leistungsbezogene Aspekte betreffen, zeigte die spezifische Studie in der Baubranche, dass es feine, aber unter Umständen gewichtige Unterschiede in der Bewertung und Wahrnehmung potenziell belastender und motivierender Faktoren innerhalb eines Unternehmens gibt. Weitere Ergebnisse im Rahmen des Projekt SiTra4.0 verdeutlichten, dass auch andere Faktoren, wie z. B. das Alter hierbei eine wichtige Rolle spielen

können (vgl. [16, 18]). Somit weisen die vorliegenden empirischen Ergebnisse auf die im Rahmenmodell Sicherheitskultur 4.0 identifizierten Kulturindikatoren hin und verdeutlichen die Relevanz der darin einbezogenen Unternehmensebenen (vgl. Abb. 3.17).

### 3.3.1.3 Ergebnisse zu Nutzenpotentialen und Aufgabenbereichen einer sicherheitskultur-4.0-gerechten Arbeitsgestaltung

Auf der Basis der Ergebnisse der Umfragen, Literaturstudien, Interviews und Workshops wurden im Rahmen des Projekts SiTra4.0 vier wesentliche Aufgabenbereiche identifiziert, innerhalb derer Stellschrauben für eine arbeitnehnergerechte Transformation zur Digitalisierung vorhanden sind.

Abb. 3.12 zeigt vier Aufgabenbereiche, die in SiTra4.0 als relevant identifiziert wurden. Diese beziehen sich auf strategische Unternehmensbereiche, die auf den Menschen als



**Abb. 3.12** Nutzenpotentiale und Aufgabenbereiche der digitalen Transformation am Arbeitsplatz

Arbeitnehmer in seinem Arbeits- und Aufgabenumfeld einwirken. Von diesen Aufgabebereichen ausgehend, zeigt der äußere Ring Handlungsbereiche, aus denen heraus konkrete Maßnahmen für eine Transformationsstrategie abgeleitet werden können. Aus dem edukativen Aufgabebereich leitet sich so z. B. das Handlungsfeld *Schulungen* ab. Aus allen durchgeführten Umfragen geht hervor, dass die Arbeitnehmenden sich Schulungen wünschen, die entweder die neu eingeführten Systeme oder die geänderten Arbeitsabläufe umfassen. Darauf basierend können konkrete Schulungsmaßnahmen entwickelt werden, die die empirischen Ergebnisse und Analysen einbeziehen.

Die Aufgabebereiche und Handlungsfelder sind nicht trennungsscharf und überlappen sich. Sie dienen als Orientierungsrahmen für die weitere Entwicklung und Evaluation von Transformationsmaßnahmen auf der Basis der empirischen Ergebnisse. Weitere Studien werden adressieren, ob und inwiefern die Aufgabebereiche und Handlungsfelder die Transformation in verschiedenen Branchen beeinflussen und welche Rolle dabei Branchenspezifika und Arbeitnehmerdiversität spielen.

In SiTra4.0 wurden die als generisch identifizierten Aufgabebereiche und Handlungsfelder mit den Praxispartner validiert. Aus Sicht der Baubranche liefern alle vier Aufgabebereiche einen maßgeblichen Beitrag für die erfolgreiche Umsetzung der digitalen Transformation. Jedoch ist in der Ausgestaltung der Maßnahmen darauf zu achten, dass die Komplexität aufgrund der hohen Arbeitnehmerdiversität und der Vielzahl externer Beteiligter im Bauprozess sehr schnell zunimmt. Daher fokussiert SiTra4.0 den Kernwertschöpfungsprozess der Bauleitung. Klassischerweise laufen sämtliche Schnittstellen für die termin-, qualitäts- und kostengerechte Bauleistung unter Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen in der Bauleitung zusammen.

Bezogen auf die identifizierten Handlungsfelder kommt der Schaffung von persönlichen Anreizen eine besondere Rolle zu. Im Vordergrund der Digitalisierung bestehen die maßgeblichen Anreize der Bauleitung in einer Entlastung und Glättung des Stresslevels im täglichen Arbeitsprozess auf der Baustelle. Als Grundlage für eine erfolgreiche Transformation muss die unternehmensbezogene Wertestruktur zudem klar definiert sein. Beim Prozess der Bauausführung bedeutet dies beispielsweise, dass es eindeutige Standards geben sollte, an denen sich die Bauleitung orientieren kann. Gibt es Abweichungen von diesen Standards, gilt es, diese genau zu analysieren und Anpassungen vorzunehmen. Hier profitiert der Wandel von einer gelebten Fehlerkultur, in der Abweichungen offen kommuniziert werden und somit alle Mitarbeiter daraus lernen können und das Unternehmen sich langfristig verbessern kann. Durch Standards werden der Bauleitung Entscheidungen abgenommen – es entsteht mehr Freiraum für wichtige, individuelle Aufgabefelder und somit eine höhere Prozess- und Arbeitssicherheit.

Im Bereich der Organisationalen Aufgabefelder ist es empfehlenswert, die Mitarbeiter in den Transformationsprozess mit einzubeziehen. Erfolgen eine frühzeitige Prüfung bzw. Testung neuer Prozesse und Technologien durch die Mitarbeiter, die diese später umsetzen, kann eine bessere Qualität des neuen Prozesses und eine höhere Akzeptanz durch die Mitarbeiter erzielt werden. Dies führt wiederum zu einer erhöhten Erfolgswahrscheinlichkeit der Transformation.

Neue Technologien und Arbeitsinhalte müssen den Mitarbeitern durch Lernangebote zugänglich gemacht werden. Dies erfolgt optimalerweise in Form von Schulungen (persönliche Ebene) sowie der Ausbildung sogenannter Schlüsselnutzer, die die neuen Fähigkeiten in die Breite tragen können.

In allen Bereichen ist eine offene Kommunikation sowie Feedback erfolgskritisch. Nur so kann das Unternehmen einen Wandel nicht nur auf dem Papier, sondern in den Köpfen und gelebten Verhaltensweisen – als Kultur – vollziehen.

### **3.3.1.4 Ergebnisse zur Wirksamkeit von Kommunikations- und Empowermentmaßnahmen für die Transformation zu einer sicheren Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0**

Der vorliegende Beitrag fasst wichtige Befunde des Projektpartners HCIC/Textlinguistik und Technikkommunikation ([3–5]) zusammen, die beim Praxispartner Westaflex erhoben wurden. Zunächst wurde das Potential der vorhandenen Sicherheitskultur in Bezug auf Kommunikation und Empowerment untersucht. Anschließend wurden Anforderungen an Kommunikation und Empowerment für die Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 identifiziert und passende Maßnahmen exemplarisch angewendet.

Westaflex konzentriert sich in seiner Digitalisierungsstrategie auf den Einsatz neuer Produktions- und Logistiktechnologien, womit sich Strukturverschiebungen der Qualifikationsanforderungen ergeben und sich die Arbeitsinhalte verändern. In diesem Kontext ist die Gewährleistung der Sicherheit (d. h. die gezielte Kontrolle der genannten Risikofelder) als ganzheitliches System im Unternehmen wenig verbreitet. Lediglich bei erkennbar hohen Sicherheitsrisiken und Behördenanforderungen kommen Beauftragte, im Einzelfall Bevollmächtigte, zum Einsatz. Weitere Herausforderungen betreffen die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter: Der durch neue Digitaltechnologien erzielbare Flexibilitätszuwachs tritt aufgrund unzureichender Qualifikation der Mitarbeitenden nicht ein. Gleichzeitig ist die Integration von Zeit- und Migrant\*innen-Arbeitsverhältnissen in die in die sich wandelnden Arbeitsanforderungen und -kontexte nur mit hohen Mehraufwänden zu leisten. Auf technischer Seite entstehen infolge der Implementierung integrierter Assistenzsysteme zum Teil Systeminkompatibilitäten zwischen Unternehmensorganisation und technischen Systemen. Um die genannten Herausforderungen zu bewältigen, fördert Westaflex die Entwicklung eines ganzheitlich integrierten, vernetzten Schutzsystems auf Basis einer Sicherheitskultur für Industrie 4.0, die Lohn-gerechtigkeit sowie Motivations- und Leistungsanreize bietet.

Die durchgeführten Analysen deuten auf ein geteiltes, unternehmensweites Verständnis von Sicherheit hin. Ein Großteil der Mitarbeiter nennt in den Interviews eine hohe *gefühlte* Sicherheit, die sich aus formellen Maßnahmen (z. B. zur Reduktion von Gefahren) wie auch informellen Maßnahmen (z. B. dem konstruktiven Ton bei der Kommunikation von Fehlern und Risiken zwischen Mitarbeitern) ergibt. Die Dokumentenanalyse zeigt, dass umfangreiche Regelwerke die Grundlage für sicheres Arbeiten im Betrieb legen. Regeln für sicherheitsgerechtes Verhalten umfassen Anweisungen zur Weitergabe von sicherheitsrelevanten Informationen, zur Absprache

zwischen Mitarbeitern, zu eigenverantwortlichem Handeln auf Mitarbeiterseite, zur Dokumentation von Fehlern und zum Absolvieren sicherheitsrelevanter Trainings. Die Analyse zeigt jedoch auch, dass Anweisungen häufig vage formuliert sind und selten auf Rollen oder Aufgaben eingehen, Medien für die Informationsweitergabe und Kommunikation (z. B. Melden von Schäden) nur in Ausnahmefällen explizit benennen und Schrittfolgen der Aneignung bzw. Verbreitung von Wissen [3] außer Acht lassen. Die Befunde lassen sich zum Teil auf die Rechtsverbindlichkeit von Anweisungen (und damit verbundene potentielle Teilhaftbarkeiten) zurückführen (alles, was schriftlich fixiert ist, kann im Streitfall genutzt werden). Ein zweiter Grund betrifft Kompetenzen und Fähigkeiten beim Formulieren von Anweisungen. Die Verfasser sind in der Regel eher technische Experten; gerade in schriftlichen Kontexten zeigt sich Weiterbildungsbedarf. Das betriebliche Regelwerk wird den Mitarbeitern in Unterweisungen durch Kollegen und jährlichen Sicherheitsschulungen durch externe Experten veranschaulicht. Die Interviewstudien zeigen, dass die Mitarbeiter diese Maßnahmen schätzen, insbesondere weil das Regelwerk als zu umfangreich wahrgenommen wird, das Wissen um betriebliche Regeln der regelmäßigen Auffrischung bedarf und Schulungen Rückfragen, etwa zur Aktualität von Anweisungen und technologischen Änderungen ermöglichen. Insgesamt zeigt sich ein geteiltes Verständnis arbeitsbezogener Risiken (z. B. Quetschungen und Schnitte bei der Arbeit an Maschinen). In den Beschreibungen arbeitsbezogener Risiken zeigt sich sehr deutlich ein implizites Verständnis des formalen Regelwerkes und seiner Sinnhaftigkeit.

Ein bisher eher wenig genutztes Potential und ein deutlicher Handlungsbedarf zeigen sich insbesondere auf der Ebene abteilungsinterner Sub-Sicherheitskulturen. Arbeitsbezogene Risiken werden von Mitarbeitern abteilungsbezogen unterschiedlich eingeschätzt und behandelt, z. B. Verstöße gegen Schutzkleidungsanordnungen (etwa das Tragen bzw. Nichttragen von Handschuhen bei Tätigkeiten, die Fingerspitzengefühl erfordern). Im engeren Arbeitsumfeld achten die Kollegen verstärkt auf Sicherheit und diskutieren Gefahrenquellen mit anderen; dazu gehören auch Kollegen, die sich normalerweise nicht in diesem Arbeitsumfeld aufhalten. Gleichzeitig wird Abteilungsdenken in der Weitergabe sicherheitsrelevanter Informationen bemängelt: Während die Weitergabe sicherheitsbezogener Informationen abteilungsintern gut funktioniert, fehlt der abteilungsübergreifende Austausch zu Problemen, die früh in der Produktionskette auftreten und die nachfolgende Arbeit anderer behindern wie auch zu später in der Prozesskette entstehenden Problemen, die Mehrarbeit erzeugen, z. B. durch das Nachbessern von Produkteigenschaften. Die Entwicklung passgenauer Maßnahmen für (Kultur)Transformationsprozesse ist nur möglich auf Basis einer sorgfältigen und konsequenten vergleichenden Analyse abteilungsinterner Subkulturen und übergeordneter betriebsinterner Sicherheitskultur.

Die Ergebnisse der Analysen werden genutzt, um auf bestehenden positiven Eigenschaften der aktuellen Sicherheitskultur aufzubauen und in den Schritten 1 bis 3 identifizierten Anforderungen an die Entwicklung einer Sicherheitskultur 4.0 zu erfüllen.

Die Fallstudie identifiziert eine Reihe von Anforderungen bei der Entwicklung von Sicherheitskultur für Industrie 4.0, die bei der Wahl von Kommunikationsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen. Ein wesentliches Problem ist die Divergenz der Schnelligkeit des technologischen Wandels und der Langsamkeit kultureller Veränderungsprozesse (sich ändernde Überzeugungen und Einstellungen). Gerade aber letztere spielen eine entscheidende Rolle und müssen deshalb in Transformationsprozessen besonders sorgfältig geplant und unterstützt werden. Die Studie zeigt, dass Konzepte, die sich rein auf Arbeits- und Gesundheitsschutzaspekte beschränken, in diesem Kontext zu kurz greifen. AGS ist Teil eines komplexen sozio-technischen Gefüges, in dem das gemeinsame Handeln immer wieder überprüft und diskursiv hinterfragt werden muss. Dies gilt für Bereiche wie wahrgenommene Sicherheit, Produktsicherheit, Datenschutz, Maschinensicherheit oder Prozesssicherheit. Eine Sicherheitskultur 4.0 setzt ein Sicherheitsverständnis voraus, das alle Aspekte der täglichen Arbeit (z. B. rechtliche Konsequenzen, ergonomische Aspekte, Kommunikation von Fehler- und Gefahrenquellen) umfasst und neue Risiken infolge der Digitalisierung proaktiv bearbeitet. Die Grenze zwischen technologisch Machbarem und sozial-ethisch Vertretbarem muss immer nachhaltig diskursiv ausgehandelt werden. Die Befragten nennen als Beispiel den Einsatz von Sensoren, die es erlauben, Maschinenausfälle vorherzusagen, andererseits aber auch die Überwachung der Arbeitseffizienz von Mitarbeitern ermöglichen.

Die Digitalisierung führt zu erheblichen Veränderungen im Arbeitsleben, wie z. B. orts- und zeitungebundene Arbeitskontexte und daran gebundene Praktiken und Schnittstellen. Risikobewusstes Handeln erfordert von den Mitarbeitern fundierte Kenntnisse potenzieller Risiken in digitalisierten Produktionsprozessen wie auch die Möglichkeit und den Willen, sich in Entscheidungsfindungsprozesse einzubringen, um maßgeschneiderte Sicherheitsstrategien zu entwickeln. Empowerment ist eine wesentliche Voraussetzung für eine Sicherheitskultur, die auf verschiedenen Ebenen des Unternehmens greift: lokal, auf mittlerer Managementebene bis zur globalen Unternehmensebene.

Die Implementierung einer Sicherheitskultur 4.0 setzt eine sorgfältige Planung von Sicherheitsstrategien voraus, bevor Transformationsansätze in die Praxis umgesetzt werden. Die Planung muss partizipativ erfolgen, d. h. unter Einbeziehung des Erfahrungswissens und der Lösungsansätze derer, die die Arbeit leisten. Insbesondere bei intelligenten Maschinen müssen vor der Inbetriebnahme entsprechende Maßnahmen durch alle Betroffenen (z. B. Maschinenführer, Vorgesetzte, Management) entwickelt und ratifiziert werden. Die Mitarbeiter müssen umfassend über Ziele, Vorteile und vor allem Risiken der geplanten Transformation informiert werden sowie Bedenken und Widerstände berücksichtigt werden.

Eine wesentliche Herausforderung und Bedingung für die Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 ist die für alle nachvollziehbare Formulierung von Werten und darauf bezogenen Verhaltensanforderungen in einem Verhaltenskodex für Mitarbeiter. Solche

Regelwerke müssen im Verlauf des Transformationsprozesses immer wieder überprüft und den sich verändernden Bedingungen angepasst werden.

(Schriftlich verdauerte) Festlegungen erfüllen nur dann ihren Sinn, wenn sie nicht als statisches „Bestandswissen“ vorgehalten werden, sondern Teil horizontaler Informationsflüsse und Besprechungen (entlang von Produktionsketten) sind. Dies setzt das Überdenken traditioneller Kommunikationskanäle voraus. In dem betrachteten Unternehmen fordern die Befragten beispielsweise eine „papierlose Produktion“: Laufkarten sollen z. B. nicht länger als Ausdrucke zirkulieren, sondern elektronisch auf Tablets abrufbar sein. Die Umstellung würde ermöglichen, risikobezogene Handlungsanweisungen rollen- und kontextbezogen aufzubereiten und „on demand“ zur Verfügung zu stellen, das Nachschlagen in Regelwerken entfällt.

In allen Zusammenhängen zeigt sich, dass dem Management und Führungskräften eine zentrale Rolle in der Kommunikation und beim gemeinsamen Erarbeiten von Lösungen zukommt. Dies gilt dezidiert für kontroverse Themen wie auch die Einführung und Gestaltung einer (neuen) Sicherheitskultur 4.0. Es reicht nicht, Veränderungen in den Unternehmenszielen zu benennen, aus Sicht der Mitarbeiter interessiert vor allem, welche Anforderungen und Konsequenzen sich daraus für sie ergeben – etwa im Sinne unternehmensintern gewünschter sicherheitsrelevanter Verhaltensweisen wie auch unternehmensexternen Handelns (z. B. formelles und informelles Darstellen des Unternehmens und seiner Werte nach außen an Dritte). Dies gilt insbesondere für den Risikobereich: Führungskräfte müssen mit gutem Vorbild vorausgehen, indem sie sich selbst konsequent an Sicherheitsregeln halten und sicherheitsbezogenes Handeln von anderen aktiv einfordern. Letzteres umfasst die Forderung darauf zu achten, dass Partnerunternehmen Sicherheitsstandards einhalten und nicht in Drittländern zu menschenunwürdigen Bedingungen produzieren lassen.

Eine zweite wesentliche Bedingung für den Erfolg von Transformationsprozessen ist das Einbeziehen der Mitarbeiter und ihr Empowerment. Die Befragten thematisieren wiederholt, dass Sicherheitsverbesserungen auch bottom-up geschaffen werden müssen. Die Mitarbeiter sollten zu Innovatoren werden, die sich aktiv in Transformationsprozesse einbringen und Lösungen für aufkommende Sicherheitsprobleme entwickeln und bottom-up initiieren. Sie sollen Änderungsprozesse aktiv fordern und beschleunigen. Die Befragten thematisieren insbesondere monotone, belastende Aufgaben und alternative Formen ihrer Bearbeitung (z. B. Ausführung durch Roboter). Im Zusammenhang damit sehen sie Bedarf im Überdenken von Rollen und Aufgabenprofilen sowie den Bedarf nach Qualifizierungsmaßnahmen. Das Management soll mitarbeitergetriebene Initiativen ernst nehmen, fördern und lenken. Dies erfordert Wertschätzung, Aufmerksamkeit und organisationales Zuhören. Mitarbeiterbeteiligung darf nicht nach einem „Black-Box-Prinzip“ erfolgen – Mitarbeiter erwarten Feedback zum Stand der Bearbeitung ihres Vorschlags, zum Entscheidungsfindungsprozess (etwa Angaben zu Gründen für die Annahme oder Ablehnung) und zur Umsetzung des Vorschlags. Sie wollen über Vorschläge ihrer Kollegen informiert werden und diese ggf. weiterbearbeiten

– insgesamt zeigt sich ein hohes Interesse an (der Kommunikation von) Co-Creation-Prozessen.

Für die Etablierung einer Sicherheitskultur 4.0 wurde ein mehrstufiges Verfahren entwickelt und beim Praxispartner Westaflex erprobt. Das Vorgehen zielt darauf, in einem ersten Schritt mit adäquaten Maßnahmen die geplante Einführung digitaler Systeme an die Mitarbeiter zu kommunizieren und Hinweise zu deren Einfluss auf Sicherheitsaspekte zu erhalten. In einem zweiten Schritt werden Mitarbeiter dazu befähigt, an der Entwicklung der geplanten Systeme partizipieren zu können, um deren Akzeptanz und Praxistauglichkeit zu gewährleisten. Im Folgenden werden zwei Beispiele zur Umsetzung der gewählten Methoden gegeben und konkrete Auswirkungen auf das Unternehmen beschrieben.

- **Kommunikation:** Mittels der Managing-by-walking-around-Methode wurden Mitarbeiter an ihren Arbeitsplätzen über die Einführung eines neuen Dokumentationssystems gezielt bezogen auf ihre Rollen, Aufgaben und Arbeitskontexte informiert. Das System soll auf Tablets mobil und flexibel im Arbeitsalltag eingesetzt werden können und die papierbasierten Laufkarten im Unternehmen digitalisieren. Die Methode erbrachte umfangreiche Hinweise zu Potentialen wie Grenzen der Einsatzmöglichkeiten des Systems. Gleichzeitig zeigte die Methode sicherheitsbezogene Probleme und Lösungsansätze auf.
- **Empowerment:** Um schon vor der Einführung des digitalen Dokumentationssystems dessen Praxistauglichkeit zu erproben, wurden Mitarbeiter aktiv in die Entwicklung des Systems eingebunden und Teilhabe an darauf bezogenen Entscheidungsfindungsprozessen ermöglicht. So wurden beispielsweise Maschinenführer verschiedener Abteilungen gebeten, das System auf einem Tablet im laufenden Betrieb zu erproben und Rückmeldungen zu Optimierungspotentialen zu geben. Die Methode des Co-Developments durch tatsächliche Nutzer erbrachte Hinweise auf benötigte Funktionen und Inhalte sowie abteilungsspezifische Anforderungen an das System.

Die Maßnahmen zeigen konkrete Auswirkungen auf die Kultur sowie Arbeitsgestaltung des Unternehmens: Mitarbeiter berichten von einer Aufbruchsstimmung gegenüber digitalen Lösungen – wahrgenommene Verbesserungen betreffen u. a. die Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsbedingungen sowie Möglichkeiten der Höherqualifizierung (beispielsweise vom Maschinenführer zum Prozessmanager).

### **3.3.2 Produktivitätswirkung bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Die Praxispartner konnten durch die Implementierung des Sicherheitskultur-4.0-Konzeptes ihre „digitale Reife“ steigern und die Wettbewerbsfähigkeit ausbauen. Es zeigt sich, dass ein geteiltes Sicherheitsverständnis sowie erhöhte Aufmerksamkeit

gegenüber Sicherheitsbelangen zwischen den Mitarbeitern Probleme wie Risiken verringern und die Produktivität steigern. Maßgebend für positive Produktivitätswirkungen der Etablierung einer Sicherheitskultur ist zum einen die Gestaltung der Transformationsprozesse zu einer Industrie 4.0 (Abschn. 3.3.2.1), die vom Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) an der RWTH Aachen bei den Praxispartnern Westaflex und DERICHS u. KONERTZ untersucht wurden. Zum anderen ist die Analyse und Entwicklung der etablierten Sicherheitskultur notwendig (Abschn. 3.3.2.2). Dieser Teilbereich wird maßgeblich vom Projektpartner CBM GmbH bearbeitet.

### 3.3.2.1 Ergebnisse zu notwendigen Transformationsprozessen einer Industrie 4.0

Um Anforderungen an Transformationsprozesse bei den Praxispartnern zu ermitteln, wurde zunächst ein Anforderungskatalog mit den im Business Transformation Canvas [12] identifizierten Gestaltungsfeldern erarbeitet. Eingangs wurde seitens des FIR in Zusammenarbeit mit den beteiligten Praxispartnern die jeweilige Ist-Situation bezüglich einer Sicherheitskultur 4.0, also die Verzahnung von Digitalisierung und Arbeitssicherheit, aufgenommen und analysiert. Hierfür wurden jeweils zwei Workshops bei dem Praxispartner Westaflex durchgeführt. Anhand des Business Model Canvas (vgl. Abb. 3.13) wurden die Geschäftsprozesse erhoben und das Geschäftsmodell der Unternehmen skizziert und für das Projekt definiert. Wie eingangs erwähnt, ist es für einen Transformationsansatz, unabhängig von der Ausprägung eines Unternehmens, unumgänglich, das vorherrschende Geschäfts- bzw. Wertschöpfungsmodell zu verstehen und als Ausgangspunkt der Transformation zu sehen.



Abb. 3.13 Business Modell Canvas der Firma Westaflex

Anhand von Experten und Gruppeninterviews wurde die vorherrschende Sicherheitskultur sowie der Stand der Digitalisierung in den betrachteten Prozessen erfasst. Die Ergebnisse wurden so aufgearbeitet, dass die Integration in ein mehrdimensionales Anforderungsprofil erfolgen kann (vgl. Auszug in Tab. 3.1). Dazu wurden die Anforderungen des Transformationsprozesses mit denen der Sicherheitskultur 4.0 und der Verhaltens- und Kommunikationsebene verglichen. Der Anforderungskatalog stellt

**Tab. 3.1** Auszug Anforderungskatalog Führung

<p><b>Kommunikation auf einer persönlichen Beziehungsebene</b> Das stärkste Mittel, Menschen von einem wichtigen Anliegen zu überzeugen bzw. zu einer Veränderung zu bewegen, ist das direkte Gespräch. Dementsprechend sollten Mitarbeitergespräche und kleine Gruppen-Meetings in den Arbeitsalltag integriert werden. So können u. a. Verbesserungsvorschläge gesammelt und in regelmäßigen Abständen angepasst werden</p>	<p><b>Hohe Lern- und Veränderungsbereitschaft</b> Die hohe Entwicklungsdynamik digitaler Technologien erfordert von Führungskräften und Beschäftigten eine erhöhte Lern- und Veränderungsbereitschaft. Dies erfordert nicht nur einen Wandel im Denken des Einzelnen, sondern auch in der gesamten Unternehmenskultur. Eine aktivierende betriebliche Präventionskultur entscheidet wesentlich über die Qualität der Gestaltung der digitalen Transformation</p>
<p><b>Kenntnisse über Sensoren und Aktoren</b> Führungskräfte, die Prozesse digitalisieren wollen, sollten wissen, wie Sensoren und Aktoren im Allgemeinen funktionieren. Dies erweitert die Entscheidungsoption hinsichtlich der benötigten Daten für die Digitalisierung der abzubildenden Prozesse., wie Sensoren und Aktoren im Allgemeinen funktionieren</p>	<p><b>Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern</b> Der zunehmende Einsatz cyber-physischer Systeme erfordert eine Zunahme der technischen Anforderungen, auch bei Personalentwicklung und Rekrutierung. Die Entwicklung der Beschäftigten im Unternehmen, Selbstständigkeit und Weiterqualifizierung verändern sich ebenfalls. Für Führungskräfte bedeutet dies, dass die Motivierung und Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Mitarbeitern und Mitarbeiterbindung eine wichtige Rolle spielt. Gleiches gilt für die Führungskräfte und die Entwicklung ihrer Führungskompetenzen</p>
<p><b>Kooperative Führung</b> Technologischer Wandel und zunehmend individuelle Kundenanforderungen zeigen insbesondere in Industrieunternehmen die Grenzen der Einbeziehung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in formalisierten bürokratischen Prozessen auf. Ein entscheidendes Erfolgskriterium von Führung wird daher die Art der Kommunikation im Unternehmen mit angepassten Kommunikationstechnologien und -formen sein, da sie eine erfolgreiche Differenzierung vom Wettbewerb ermöglichen kann</p>	<p><b>Gesundheitsförderliche Führung</b> Die Krankheitsquote kann verringert werden, wenn mindestens 50 % der Mitarbeiter eine App für Rückenbildung benutzen und diese mehrmals am Tag für ungefähr 5 min nutzen. Die Befähigung, die eigene Gesundheit und die Gesundheit der Mitarbeiter angemessen zu regulieren, sichert neben dem Erhalt der Arbeits- und Leistungsfähigkeit, auch den Unternehmenserfolg</p>

den Ordnungsrahmen für die Transformation hin zu einer Sicherheitskultur dar. Anhand dessen soll nicht nur die Organisation einen Wandel erfahren, sondern auch die Unternehmenskultur transformiert und die Mitarbeiterkompetenzen gestärkt werden. Es wurde dabei unterschieden zwischen:

- Anforderungen an die *Führung* (Kommunikation auf einer persönlichen Beziehungsebene, hohe Lern- und Veränderungsbereitschaft, Kenntnisse über Sensoren und Aktoren, Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, kooperative Führung, gesundheitsförderliche Führung),
- Anforderungen an den *Mitarbeiter* (Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Sozialkompetenz, personale Kompetenz, professionaler Umgang mit Ängsten, Vermittlung der langfristigen Ziele, Potenziale eines Mitarbeiters erkennen und fördern, Konfliktmanagement, Stressmanagement, Zielharmonisierung, Vermeidung divergenter Rollen) und
- Anforderungen an die *Organisation* (Unternehmenstransformation, Unterstützung durch Personalbeschaffung, Verbesserung der kognitiven und qualitativen Anforderungen, Umgang mit Zeit- und Leistungsdruck, gesundheitsförderliche Unternehmenskultur, Unterstützung durch ein Vergütungssystem, Unterstützung durch ein Personalcontrolling, Abteilungsunterschiede, Erfahrungsunterschiede, Verständlichkeit, gemeinsamer Austausch, Umsetzbarkeit, Branchenübertragbarkeit).

Der industrielle Paradigmenwechsel der Industrie 4.0 veranlasst eine intensivere Weiterbildung und Kompetenzstärkung der Mitarbeiter eines Unternehmens. Der Umgang mit der neuen digitalisierten Arbeitswelt erfordert nicht nur eine zukunftsorientierte Kompetenzentwicklung, sondern ist auch die Basis für eine gesellschaftliche Teilhabe im Zeitalter der Digitalisierung. Personale Kompetenz beinhaltet die Entwicklung von produktiven Einstellungen, Werthaltungen, Motiven und Selbstbildern.

Um den Handlungsrahmen für SiTra4.0 zu komplementieren, wurde in mehreren Erhebungen eine Heatmap für Kernprozesse der Praxispartner Westaflex und DERICHS u KONERTZ erstellt. Sie dient als Rahmen für das weitere Vorgehen im Projekt und ermöglichte, in den Unternehmen ausgewählte Prozesse genauer zu betrachten und „Cases“ für SiTra4.0 zu identifizieren. Anschließend wurden für die Unternehmen die identifizierten Prozesse und Anforderungen an den Transformationsprozess zusammengefasst. Die Unternehmen wurden unter zwei Aspekten betrachtet. Zum einen wurde bewertet, wie sich die Arbeitsumgebung bzw. der Arbeitsablauf durch die Digitalisierung verändert, zum anderen wurde die Auswirkung auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz in einzelnen Prozessschritten bewertet. Anhand des graphischen Tools konnten handlungsrelevante Felder bzw. Prozesse in den Unternehmen identifiziert werden. Dafür wurde für die Praxispartner der aus dem Business Modell Canvas abgeleitete Wertschöpfungsprozess abgebildet. Zur Bewertung wurden die bekannten Dimensionen der MTO-Analyse [29] herangezogen. Die erste Dimension Mensch-Maschine bildet den

direkten Kontakt zwischen Menschen und Maschinen ab. Sie wird häufig als Benutzerschnittstelle bzw. User Interface bezeichnet. Die zweite mit dem Heatmaptool erhobene Dimension ist die Schnittstelle zwischen Technik und Organisation. Sie betrachtet die Interaktion des Unternehmens (organisierte Menge von Menschen) mit Technologien, um ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen. Die dritte Dimension erfasst die Schnittstelle Technik und Organisation, also das Zusammenspiel in einem soziotechnischen System. Zur Bewertung der Prozessschritte wurde zunächst mit den Unternehmen der Digitalisierungsgrad in den einzelnen Dimensionen anhand einer Heatmap analysiert (Abb. 3.14). Dabei bedeutet die grüne Füllung einen niedrigen, die gelbe Füllung einen mittleren und die rote Füllung einen hohen Grad an Digitalisierung. Beispielhaft kann hier der digitalisierte Auftragseingang über eine Eingabemaske im Gegensatz zur händischen Aufnahme am Telefon aufgeführt werden. Anschließend wurden alle Felder hinsichtlich der sich neu ergebenden Arbeitssicherheit innerhalb der Prozessschritte analysiert und bewertet. Eine entscheidende Frage ist: „Verändert sich meine Arbeitsumgebung so sehr, dass sich auch der Einfluss auf meine Gesundheit ändert?“. Ein gutes Beispiel sind veränderte gesundheitliche Bedingungen durch ständige Erreichbarkeit, etwa wenn der Arbeitnehmer in seiner Freizeit einen Blick auf dienstlichen E-Mails wirft oder ein berufliches Telefonat führt.

Abb. 3.14 zeigt beispielhaft eine Heatmap für den Prozess Bauleitung. Die hier dargestellte Heatmap orientiert sich an den 7 Phasen der HOAI (Honorar Ordnung für Architekten und Ingenieure), die ein Projektentwickler für seine Kunden im Kernprozess „Objekterstellung“ bedient – Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung, Ausführungsplanung, Vorbereitung der Vergabe, Mitwirkung bei der Vergabe, Objektüberwachung sowie Objektbetreuung und Dokumentation – und wandelt diese für das Projekt ab. Da der Prozess mit den vielen beteiligten Subunternehmen (Gewerke) und Fachkräften im Unternehmen schwer erfassbar ist, fokussiert das Forschungsvorhaben den Teilprozess „Bauleitung“. Die Bauleitung (nach HOAI: „Objektüberwachung“) leitet die Baustelle und ist für den ordnungsgemäßen Ablauf der Objekterstellung verantwortlich. Durch seine dezentrale Arbeit ist der Bauleiter prädestiniert für das Forschungsprojekt, da er sich stark zwischen der analogen (Baustelle) und der scheinbar digitalen (Büro) Welt bewegt und alle Schnittstellen bedienen kann und muss.

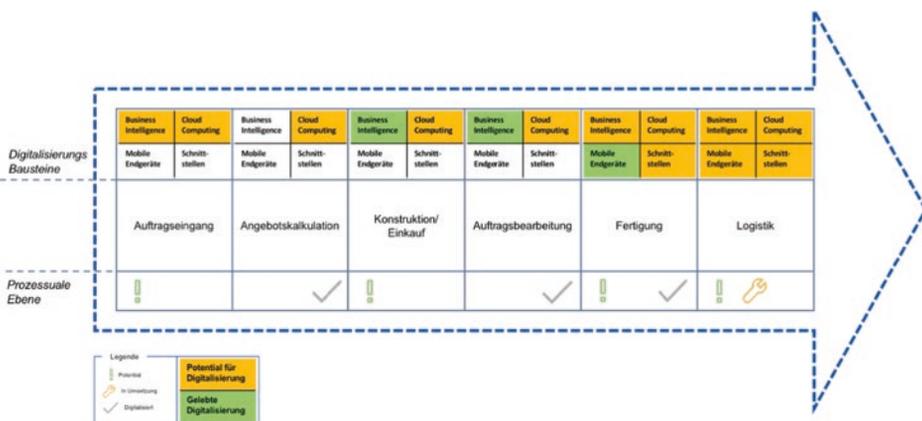
Sicherheitskultur 4.0 - Handlungsbefund	Angebotsphase	Bauvorbereitungsphase	Bauausführungsphase			Gewährleistungsphase
			Überwachen der Ausführung	Baustellen-Bewirtschaftung	Controlling	
Benutzerschnittstelle Mensch-Maschine-Schnittstelle	gering	mittel	hoch	mittel	hoch	gering
Soziotechnisches System Technik und Organisation	gering	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel
Organisation Mensch und Organisation	gering	mittel	mittel	gering	mittel	mittel

Abb. 3.14 Veränderte Heatmap von DERICHS u KONERTZ

Den Abschluss der Anforderungsanalyse und Case-Entwicklung bildete die Integration der Ergebnisse in ein mehrdimensionales Anforderungsprofil. Anhand der identifizierten Prozesse der Wertschöpfungskette sowie der aufgenommenen Anforderungen wurde ein Transformationsprozess für eine Sicherheitskultur 4.0 und deren Implementierung erarbeitet.

Für die Entwicklung der Umsetzungsstrategie wurden die Fähigkeiten der Praxispartner zur Umsetzung der Transformation bewertet, um ein individuelles Vorgehen zu ermöglichen und dieses anschließend zu verallgemeinern. Dafür wurden die Prozesse hinsichtlich ihres Digitalisierungsgrades analysiert. Anhand von Interviews und Workshops konnten so die Prozessschritte mit den größten Potentialen wie auch Hemmnissen für eine Kultur in der Digitalisierung identifiziert werden. Die Ergebnisse wurden in einer Prozesslandkarte (vgl. Abb. 3.15) festgehalten und visualisiert. Die Wertschöpfungsprozesse der Praxispartner wurden zunächst hinsichtlich der vier Digitalisierungsbausteine „Business Intelligence“, „Cloud-Computing“, „Mobile Endgeräte“ und der „Schnittstellen“-Thematik bewertet. Die Bausteine dienen als Referenz, wie digital ein bestimmter Prozessschritt im betrachtenden Unternehmen ist und ob in den Ausprägungen Potential für den Nutzen bestimmter Bausteine vorhanden ist. So kann bewertet werden, welche Trendthemen der Digitalisierung im Unternehmen noch nicht oder nur in geringem Maße umgesetzt wurden. Darauf aufbauend wurden die wertschöpfenden Tätigkeiten auf der prozessualen Ebene bewertet. Anhand von Interviews kann so der aktuelle Ist-Zustand im Workflow beurteilt werden.

Durch die Gewichtung der Ergebnisse wurden entscheidende Handlungsfelder aufgedeckt, um anschließend geeignete Maßnahmen für die Umsetzung ableiten zu können. Anhand der identifizierten Prozesse der Wertschöpfungskette der beiden Praxispartner wurde gezielt ein Transformationsprozess für eine Sicherheitskultur 4.0 und dessen Implementierung erarbeitet. Einzelne, signifikante Prozessschritte wurden



**Abb. 3.15** Digitalisierungsgrad der Prozessschritte von Westaflex

genauer analysiert, Soll- und Ist-Zustände definiert und der integrative Strategie- und Maßnahmenkatalog punktuell umgesetzt. Die abgeleiteten Transformationspfade wurden verallgemeinert und die Erkenntnisse zu Anforderungen an eine Sicherheitskultur 4.0 für das Design und die Konzeption des Transformationsprozesses.

### 3.3.2.2 Ergebnisse zur Transformation der Sicherheitskultur

Im Teilvorhaben „Entwicklung eines Gestaltungsrahmens für eine Sicherheitskultur 4.0“ wurde ein Rahmenmodell basierend auf Kulturindikatoren [2] entwickelt. Anhand theoretischer Annahmen (u. a. [9–11, 13–15, 25]) und Daten von Unternehmen wurden fünf übergeordnete relevante Kulturindikatoren einer Sicherheitskultur 4.0 definiert: Werte, Führung, Kommunikation, Einbindung und Regelung. In die Betrachtung werden alle Unternehmensebenen einbezogen: (1) die organisatorische Ebene, auf der Ziele, Strategie, Richtlinien und Regeln festgelegt werden, (2) die Gruppen-Ebene, auf der Regeln, Ziele und Richtlinien ausgearbeitet und in betrieblichen Handlungsanweisungen und Vorgehensweisen überführt werden und (3) die individuelle Ebene, auf der Ziele, Regeln und Richtlinien im Arbeitsalltag angewandt und in der „betrieblichen Realität“ konkretisiert werden. Abb. 3.16 erfasst Manifestationen der genannten Kulturindikatoren für verschiedene Unternehmensebenen. Der Indikator Werte manifestiert sich auf der Ebene der Organisation z. B. in den Unternehmenszielen, etwa in Leitlinien wie „Sicherheit hat immer Vorrang“. Auf der Ebene Gruppe manifestieren sich Werte in teilweise dokumentierten Normen, wie „Wir fangen erst mit der Arbeit an, wenn es sicher ist“, auf der individuellen Ebene in Einstellungsformulierungen wie „Ich passe auf mich und meine Kollegen auf“. Die Anwendung des Rahmenmodells wird in Abschn. 3.3.2.2 anhand von Projektergebnissen veranschaulicht.

Um Anforderungen an eine Sicherheitskultur 4.0 im praktischen Umfeld ermitteln zu können, wurde seitens CBM in den Unternehmen der Praxispartner der Status der

		Kulturindikatoren				
		Werte	Führung	Kommunikation	Einbindung	Regelungen
Unternehmensebenen	Ebene Organisation	Leitlinien/ Unternehmens- ziele	Aufbau- organisation	Ablauf- organisation	Weiterbildungs- konzepte	Management- system
	Ebene Gruppe	Normen	Zuständigkeiten	Schnittstellen	Training	Instrumente
	Ebene Individuum	Einstellungen	Soziale Beziehung / Führungsstil	Sprache & Austausch	Mitgestaltung	Anwendung

**Abb. 3.16** Rahmenmodell Sicherheitskultur 4.0 – Manifestation der Kulturindikatoren auf Unternehmensebenen

Umsetzung von AGS und Sicherheitskultur erhoben. Die Systematik der Erfassung folgte inhaltlich dem Rahmenmodell der Kulturindikatoren. Da der Kern der Kultur – die Grundannahmen – nicht direkt erfassbar ist, fokussierte die Erhebung die Ebene der geäußerten Werte und der Artefakte und schloss von diesen auf Grundannahmen. Die „gewünschte“ Sicherheitskultur des Unternehmens lässt sich anhand der Dokumente und formalen Kommunikation des Unternehmens (Zielbilder, Leitlinien, Regeln) sowie von Aussagen der Führungskräfte und Mitarbeiter erfassen; die „tatsächliche“ Kultur ist anhand der Analyse von Arbeitshandlungen und Zuständen im Unternehmen rekonstruierbar.

Methodisch wurde die gewünschte formale Sicherheitskultur anhand von Dokumentenrecherchen und ergänzenden Experteninterviews mit verantwortlichen Führungskräften und Sicherheitsfunktionen er-fasst. Betrachtet wurde die Dokumentation der Aufbauorganisation (Organigramm, Management-handbuch, Pflichtenübertragung), der Ablauforganisation (Managementhandbuch, Qualifizierungs-/Weiterbildungspläne, Prozessbeschreibungen, Organisation) und der AGS Dokumentation (Unfallstatistiken, Gefährdungsbeurteilungen, Betriebsanweisungen, Unfalluntersuchungen, Meldung Beinahe-Unfälle, Auditberichte, Unterweisungsunterlagen, Begehungsprotokolle). Die Erhebung der Artefakte erfolgte durch Begehungen vor Ort (Ziel: Erfassung der Umsetzung des AGS in den Unternehmen). Betrachtet wurden Zustände, die Anwendung von Sicherheitsinstrumenten sowie die Umsetzung von Regeln und Verhaltensweisen im betrieblichen Alltag, die die Sicherheitskultur widerspiegeln. In den Begehungen wurden zusätzlich strukturierte Interviews zur Erfassung der Werte geführt. Tab. 3.2 fasst Ergebnisse der Artefakt-Erhebungen für die betrachteten Unternehmen zusammen.

Beide Unternehmen pflegen alle gesetzlich geforderten Dokumente und Vorgehensweisen für Arbeitssicherheit (gemäß Arbeitsschutzgesetz), wie Gefährdungsbeurteilungen, Unterweisungen, Begehungen, sowie bei Bedarf Unfalluntersuchungen; das Ziel Arbeitssicherheit ist in den Unternehmensleitlinien erfasst. In den Unternehmen ist der AGS formal verankert, die Umsetzung der formalen Strukturen in die Arbeitspraxen hat jedoch noch Potenziale. Bezogen auf die Sicherheitskultur haben die Unternehmen eher ein technikorientiertes, reaktives Verständnis von AGS; es zeigen sich deutliche Diskrepanzen im Umgang mit und in der gefühlten Sinnhaftigkeit von AGS je nach Bereich. In den Bürobereichen ist das Thema bekannt, aber wenig verinnerlicht; häufig ist der Bezug zum Thema Gesundheit eher individuell.

Um kulturell relevante Grundannahmen zu identifizieren, wurde eine Gap-Analyse [25] durchgeführt. Die in den Unternehmen der Praxispartner erhobenen Artefakte wurden – als Abbilder gelebter Sicherheit – mit den Ergebnissen der Dokumentenanalyse, Interviews und Erhebungsworkshops, die Hinweise auf die gewünschte Sicherheitskultur liefern (Fokus: geäußerte Werte), verglichen. Für die Identifikation von Grundannahmen haben insbesondere „Brüche“ zwischen sichtbarer Kultur und geäußerten Werten hohe diagnostische Relevanz. Die Gap-Analyse erfolgte strukturiert anhand der vorab analytisch festgelegten Kulturindikatoren. Ergebnis der Gap-Analyse ist einerseits die Abbildung des Status der aktuellen Sicherheitskultur und ermöglicht andererseits die

**Tab. 3.2** Artefakte der Sicherheitskultur in den Unternehmen der Praxispartner

Artefakte	Bauunternehmung	Komponentenherstellung
Sichtbarkeit von Zielen	Ziele in Dokumentation erfasst, im Unternehmen wenig präsent bzw. nicht sichtbar	Ziele in Dokumentation verankert, nicht durchgehend bekannt, teilweise über Aushänge sichtbar
Nutzung der Instrumente des AGS	Alle rechtrelevanten Instrumente vorhanden. Wenig Nutzung und Bekanntheit in der Belegschaft <b>Gefährdungsbeurteilung</b> durch externen Dienstleister, sehr formal, wenig bekannt in Belegschaft <b>Unterweisungen</b> finden statt, sehr formale frontale Durchführung <b>Begehungen</b> durch Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator (SiGeKo) auf Baustelle	Alle rechtsrelevanten Instrumente vorhanden. Nutzung im Arbeitsalltag eingeschränkt <b>Gefährdungsbeurteilung</b> durch externen Dienstleister, wenig bekannt in der Belegschaft <b>Unterweisungen</b> werden durchgeführt, sehr formale Durchführung <b>Begehungen</b> durch externen Dienstleister ohne Einbindung von Mitarbeitenden
Organisation (Aufbau und Ablauf)	Externe Betreuung, AMS System, Pflichtenübertragungen liegen vor, Verantwortlichkeiten sind nicht durchgängig bekannt	Externe Betreuung für GB und ASA, eigene Sicherheitsfachkraft Verantwortlichkeiten über Management Handbuch geregelt, aber nicht durchgängig bekannt
Umgebung und Zustände	Zwei Welten: Büro vs. Baustelle Büro: ordentlich, licht, auf Kommunikation ausgerichtet Baustelle: viel „Durcheinander“, einige unsichere Zustände	Sauberkeit & Ordnung nicht durchgängig Teilweise unsichere Zustände
Arbeitshandlungen	Büro: Gesundheit als Thema (gesunder Mittagstisch) Baustelle: einige unsichere Handlungen, Fremdfirmen werden anders behandelt	Diskrepanz zwischen Produktion und Büro-/Verwaltungsbereichen

Ableitung konkreter Handlungsfelder für eine Kulturentwicklung. In den Erhebungen zeigte sich, dass insbesondere die kohärente und verständliche Darstellung der Themen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes und der damit verbundenen Werten in Leitlinien und Unternehmenszielen anwendungsrelevant sind. Deutlich wurde auch, dass diese eine gute Basis für den Transformationsprozess hin zu Digitalisierung bieten und ihre Übertragung in allgemeingültige Regelungen anwendungsrelevant ist. In den Unternehmen der Praxispartner sind zwar die Inhalte des AGS in den Leitlinien auffindbar, diese sind aber im Unternehmen kaum bekannt und finden entsprechend im Arbeitsalltag wenig konsequente Umsetzung. Bezogen auf die Führung zeigt sich, dass die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten im AGS in der Aufbauorganisation abgebildet sind, aber nicht durchgängig bei den Führungskräften bekannt sind. Auch der Wissensstand zu aktuellen Themen und Inhalten des AGS der Führungskräfte war nicht durchgängig

**Tab. 3.3** Ausprägung bezüglich der Kulturindikatoren

Kulturindikator	Bauunternehmen	Komponentenfertigung
Werte	Verantwortung als schwieriges Thema Vertrauen eingeschränkt Hohe Verpflichtung bezüglich der Fertigstellung des Bauprojekts	Respektvolles Miteinander Vertrauen untereinander
Führung	Konsequenz in der Umsetzung nicht durchgängig Vorbild eingeschränkt	Konsequenz als Thema Wenig Vorbildfunktion
Kommunikation	Fehlende Transparenz „Rauer“ Umgangston	Fehlende Klarheit/Transparenz Offene Kommunikation
Einbindung	Starke Trennung zwischen Bereichen der Planung und Ausführung	Einbindung nicht flächendeckend Abteilungsdenken
Regelungen	Regeln und Verantwortlichkeiten teil- weise unbekannt viele Kompromisse	Regeln vorhanden aber wenig bekannt Kompromisse bei Einhaltung

auf dem aktuellen Stand. In Tab. 3.3 sind die Ergebnisse der Gap-Analyse qualitativ aggregiert auf die Kulturindikatoren abgebildet.

Insgesamt wird deutlich, dass das Thema Arbeits- und Gesundheitsschutz bisher nicht kohärenter Teil der Unternehmenskultur im Sinne einer ganzheitlichen Präventionskultur ist und die Verbindung zu Themen der Digitalisierung wenig hergestellt ist.

Da Kultur als verhaltensbeeinflussendes Element in direkter Abhängigkeit von den Strukturen und Prozessen des Unternehmens steht, stellt sich die Frage nach der Nutzbarkeit der im Unternehmen etablierten Instrumenten des AGS, die eine die digitale Transformation stützen. Versteht man AGS systemisch mit dem Ziel, Arbeit menschengerecht zu gestalten, sollte geprüft werden, welche der auf Prävention ausgelegten Instrumente des Arbeitsschutzes im Sinne eines Managementsystems für die Transformation nutzbar gemacht werden können.

Um eine Implementierung der Instrumente in die digitale Arbeitswelt zu gewährleisten und deren Potenziale ausschöpfen zu können, wurden die AGS-Instrumente hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit, Übertragbarkeit und Anwendbarkeit geprüft. Auswahlkriterien waren: Rechtssicherheit (gesetzlich gefordert), Systembezug (bezieht das gesamte Arbeitssystem ein), Prozesscharakter (gemäß PDCA-Zyklus), Empowerment-Potential (Einbezug der Beschäftigten, ermöglicht lernen). Ein wichtiges Auswahlkriterium war, dass KMU die Instrumente ohne Expertenwissen anwenden und ohne hohe Ressourcenbelastung (zeitlich und finanziell) umsetzen können. Das Ergebnis der Bewertung ist in Tab. 3.4 als Rangfolge dargestellt.

Fazit ist, dass drei Instrumente – Gefährdungsbeurteilung, Begehung und Unterweisung – ein hohes Nutzenpotential für eine Sicherheitskultur wie auch die Digitalisierung besitzen. Diese werden in den betrachteten Unternehmen genutzt – da dies gesetzlich gefordert wird –, allerdings wird ihr Potential bislang nicht ausgeschöpft. Die

**Tab. 3.4** Passung der AGS Instrumente zu Kriterien der digitalisierten Arbeitswelt

Instrument	Rechts-Sicherheit	System-bezug	Prozess-charakter	Empowerment-Potential
1. Gefährdungsbeurteilung	++	++	++	++
2. Begehungen	+	+	++	++
3. Unterweisungen	+	+	++	++
4. Betriebsanweisungen	+	–	+	++
5. Erlaubnisscheinsystem	--	++	++	++
6. Ereignis- / Unfallanalysen	++	++	--	+
7. Audits	--	++	++	--
8. Meldung Beinahe-Unfälle	--	--	--	++
9. Verbandbuch	–	--	--	+

(Legende: ++ = sehr hoch; + = gut; – = eingeschränkt; -- = niedrig)

Ergebnisse zu verhaltensorientierten Nutzerpotenzialen (expliziter Wunsch nach Schulung und Weiterbildung) indizieren, dass insbesondere Unterweisungen geeignet sind, Themen der Digitalisierung bedarfsorientiert aufzugreifen, unternehmensspezifisch anzupassen und mitarbeiterorientiert umzusetzen.

Um eine präzise Abbildung der Sicherheitskultur zu ermöglichen, wurden zu den übergeordneten Kulturindikatoren generativ Subindikatoren gebildet. Zunächst wurden alle möglichen Faktoren aufgenommen, iterativ verdichtet und aggregiert. Die erste Iteration der Subindikatoren erfolgte auf Basis der Erhebungen und der Gap-Analyse mit dem Fokus auf Subindikatoren, die im direkten Bezug zum Arbeits- und Gesundheitsschutz stehen. In der zweiten Iteration wurden die Ergebnisse der Erhebungen zum Transformationsprozess (Abschn. 3.2.1) und Aspekten der Digitalisierung (Abschn. 3.2.2) einbezogen. Die Ergebnisse werden in Tab. 3.5 dargestellt.

Insgesamt erweist sich das Vorgehen als zielführend ist, da Indikatoren die Möglichkeit bieten, den aktuellen Stand der Sicherheitskultur 4.0 unternehmensspezifisch abzubilden *und* konkrete Ziele für den Transformationsprozess abzuleiten. Anhand der Kulturindikatoren lassen sich Handlungsfelder für Strategien und Maßnahmen eindeutig und unternehmensspezifisch bestimmen. Dies ist wichtig, da deutlich wurde, dass es im unternehmerischen Kontext nicht EINE Lösung bzw. Vorgehensweise gibt, sondern spezifische Voraussetzungen und Bedingungen berücksichtigt werden müssen, wie z. B. branchenspezifische Prozesse und Prozessabläufe und der Einfluss der Digitalisierung auf diese. Neben den organisatorisch-strukturellen Spezifika sind – wie in Abschn. 3.3.1.1 ausgeführt – personenbezogene Besonderheiten zu beachten, wie Alter, Geschlecht und Ausbildungsstand der Führungskräfte und Mitarbeitenden.

Basierend auf den Erhebungen und Ergebnissen zu Kulturindikatoren wurde ein Kriterienkatalog erstellt, der es erlaubt, unternehmensspezifische Besonderheiten zu beschreiben, zu erfassen und mit Handlungsfeldern im Unternehmenskontext zu

**Tab. 3.5** Kulturindikatoren und Subindikatoren einer Sicherheitskultur 4.0

Kulturindikator	Subindikatoren Sicherheitskultur 4.0
Werte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vertrauen (Verlässlichkeit)</li> <li>– Respekt</li> <li>– Wertschätzung</li> </ul>
Führung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Konsequenz („Kümmern“)</li> <li>– Vorbild (Regelkonformität)</li> </ul>
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transparenz</li> <li>– Bereitstellung von Information</li> <li>– Erhalt von Information (Durchgängigkeit über Schnittstellen)</li> <li>– Informelle Kommunikation (Umgangston, Dialog, Rückmeldung)</li> </ul>
Einbindung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Partizipation und Mitsprache</li> <li>– Identifikation mit Aufgaben und Arbeit</li> <li>– Weiterbildung/Schulung</li> </ul>
Regelungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zuständigkeit/Verantwortlichkeiten</li> <li>– Rolle der Regeln (Gültigkeit)</li> </ul>

hinterlegen. Hierzu wurden die Kulturindikatoren und Subindikatoren mit den drei relevanten Umsetzungsebenen im Unternehmen verknüpft: 1) auf der organisationalen Ebene durch Einbindung der Subindikatoren in die strategische Planung und den strukturellen Aufbau, 2) auf der Gruppenebene durch Umsetzung der Subindikatoren in relevanten Gruppierungen (Abteilungen, Mitarbeitergruppen, Fachgruppen) und 3) auf der Ebene des Individuums durch Umsetzung der Subindikatoren auf individueller Ebene (vgl. Abb. 3.17).

Damit der Kriterienkatalog von KMU für ein Screening der Sicherheitskultur genutzt werden kann, wurden zu den Einzelaspekten Leitfragen formuliert, die neben der Beschreibung der aktuellen Situation den Dialog über Entwicklungspotenziale forcieren und die Ableitung von Maßnahmen für die Transformation unterstützen. Für die Konkretisierung von Inhalten wurden exemplarische Szenarien formuliert, die als Diskussionsgrundlage im Unternehmen genutzt werden können.

### 3.3.3 Beitrag zu übergeordneten Zielen

Die Digitalisierungsmaßnahmen tragen dazu bei, Arbeitsinnovationen wie die papierlose Fertigung im Unternehmen zu etablieren und darauf aufbauend Mitarbeitern rollen-, aufgaben- und kontextspezifische Sicherheitsinformationen zur Verfügung zu stellen, um die gesundheitsförderliche Arbeitssystemgestaltung im digitalen Zeitalter zu gewährleisten. Derzeit werden weitere Kommunikations- und Empowermentmaßnahmen bei beiden Praxispartnern erprobt, ihre Auswirkungen werden anschließend evaluiert. Die Ergebnisse werden in weiteren Publikationen (beispielsweise [8]) veröffentlicht.

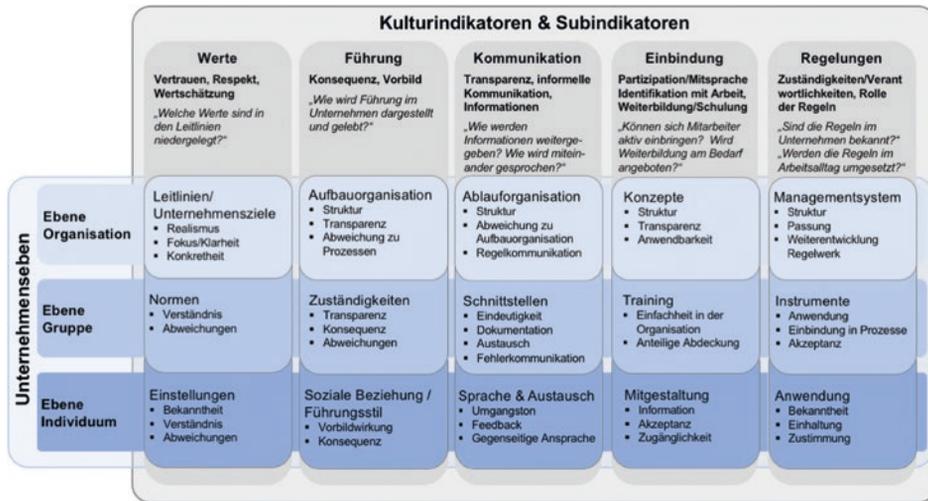


Abb. 3.17 Kriterienkatalog Sicherheitskultur 4.0

### 3.4 Lessons learned

Im Folgenden werden kritische Punkte und Erfolgsfaktoren für die Entwicklung und Etablierung einer Sicherheitskultur als Transformationsansatz für Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen zusammengefasst.

- **Digitalisierung ist immer Chance und Risiko zugleich:** Digitale Technologien lösen bestehende Probleme, ziehen jedoch Risiken nach sich, deren konkrete Auswirkungen schwer vorherzusagen sind. Die Umsetzung einer Sicherheitskultur 4.0 bedarf daher neben der sorgfältigen Entwicklung und Auswahl passender Strategien und Maßnahmen in Unternehmen dem kontinuierlichen Monitoring hinsichtlich der Frage, ob sich neue digitale Technologien negativ auf die Sicherheit im Arbeitskontext auswirken.
- **Sicherheitskultur braucht Profil:** Herausforderungen in der Entwicklung des Transformationsansatzes stellten insbesondere der unterschiedliche Grad der Digitalisierung sowie der andersartige Umgang mit der Arbeitssicherheit innerhalb verschiedener industrieller Branchen dar. Erst durch den Einsatz von Kulturindikatoren und dem darauf bezogenen Kriterienkatalog können der aktuellen Status der unternehmensinternen Sicherheitskultur abgebildet, konkrete Handlungsfelder für Interventionen identifiziert und über Leitfragen eine diskursive, von allen Mitgliedern des Unternehmens getragene Kulturentwicklung ermöglicht werden.
- **Das Schneeballprinzip nutzen:** Eine Sicherheitskultur 4.0 kann nicht “angeordnet” werden, sondern nur in einem Organisationsentwicklungsprozess implizit durch

Sozialisation, Beteiligung, Kommunikation und Führung gestützt durch explizite Regeln und Strukturen vermittelt, die auf den Instrumenten des AGS sowie auf Transformations-, Kommunikations- und Empowerment-Maßnahmen basieren. In diesem Sinne muss eine Sicherheitskultur 4.0 ‚top-down‘ vom Management initiiert und begleitet sowie ‚bottom-up‘ durch Promotoren auf Mitarbeiterebene etabliert werden, die andere Mitarbeiter von den Vorteilen einer sicherheits-fördernden Digitalisierung überzeugen.

- **Sicherheitskultur 4.0 ist stetiger Wandel:** Eine Sicherheitskultur 4.0 stellt einen Paradigmenwechsel hinsichtlich der Arbeit in sich wandelnden Kontexten dar. Viele etablierte Strukturen und Verhaltensweisen müssen aufgebrochen und durch neue ersetzt werden. Eine Sicherheitskultur 4.0 ist geprägt von einem kontinuierlichen Wandel, um neuen technologischen Entwicklungen und damit verbundenen Risiken begegnen zu können.
- **Sicherheitskultur heißt Prävention:** Ziel sollte eine Präventionskultur sein, die im Sinne eines systemischen Arbeitsschutzverständnisses Arbeit in all ihren Facetten menschengerecht gestaltet und nicht retrospektiv formelle Verhaltensrichtlinien und informelle Praxen an neu auftretende Risiken anpasst. Eine solche Kultur der Prävention geht davon aus, dass Sicherheit und Gesundheit Werte für alle Menschen, jede Organisation und die Gesellschaft sind und präventives Handeln lohnend und sinnstiftend ist (vgl. [19]).

---

## Literatur

1. Baethge C, Boberach Kantar M. (2018) Zukunft der Arbeit in deutschen KMU. Werkstattbericht. [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSI/Publikationen/GrauePublikationen/Zukunft\\_der\\_Arbeit\\_in\\_deutschen\\_KMU\\_Werkstattbericht.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSI/Publikationen/GrauePublikationen/Zukunft_der_Arbeit_in_deutschen_KMU_Werkstattbericht.pdf). Zugegriffen: 27. August 2019
2. Bollmann U, Lee YJ, Seo Y, Paridon H, Kohstall T, Hessenmöller AM, Bochmann C (2018 – accepted). Leading Indicators for a Culture of Prevention. *Prevention Science, Special Issue on international developments of a culture of prevention*, New York: Springer
3. Borg A, Wilde J, Dziadus D, Pieper C, Boczek B, Bauer M (2011) PARSAG – Partizipatives, systemisches Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagement. Abschlussbericht. Bexbacher/Aachener Beiträge für Consulting, Business und Management, Band 5
4. Digmayer C, Jakobs EM (2014) Corporate Lifelong Learning 2.0: Design of Knowledge Management Systems with Social Media Functions as Learning Tools. *Proceedings of the IEEE International Professional Communication Conference 2014*, doi: <https://doi.org/10.1109/IPCC.2014.7020352>
5. Digmayer C, Jakobs EM (2018) Employee Empowerment in the Context of domain-specific Risks in Industry 4.0. *Proceedings of the International Professional Communication Conference 2018*. doi: <https://doi.org/10.1109/ProComm.2018.00034>
6. Digmayer C, Jakobs EM (2019) Let’s put the V in smart factory: Empowering employees to shape a safety culture for Industry 4.0. COMA 2019 – International Conference on Competitive Manufacturing. <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/105429>. Zugegriffen am 27. August 2019

7. Digmayer C, Jakobs EM (2019) Developing Safety Cultures for Industry 4.0. New Challenges for Professional Communication. Proceedings of the International Professional Communication Conference 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/ProComm.2019.00045>
8. Digmayer C, Jakobs EM (In Vorbereitung) Using video tutorials as mean to foster employee empowerment and a shared understanding of safety in Industry 4.0.
9. Edwards J et al (2013) Returning to the roots of culture: a review and re-conceptualisation of safety culture. *Safety Science* 55:70–80.
10. Elke G et al (2015) Arbeitsschutz und betriebliche Gesundheitsförderung – vergleichende Analyse der Prädiktoren und Moderatoren guter Praxis. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. <https://d-nb.info/1071866893/34>. Zugegriffen am 27. August 2019
11. Flin R et al (2000) Measuring safety climate: Identifying the common features. *Safety Science* 34:177-192 the common features. *Safety Science* 34:177-192
12. Gudergan G., Feige B. und Krechting D. (2017). Ordnungsrahmen für den Prozess der BusinessTransformation, in: Wolfgang Pollety, Andreas Blaeser-Benfer (Hg.), Digitalisierung, Betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung, Frankfurter Allgemeine Buch.
13. Guldenmund F.W (2000) The nature of safety culture: a review of theory and research. In: *Safety Science* 34 (1–3):215-257
14. Guldenmund FW (2007) The use of questionnaires in safety culture research – an evaluation. *Safety Science* 45(6):723-743
15. Guldenmund, FW (2016) Organizational Safety Culture. In: Clarke S et al (Hrsg) *The Wiley Blackwell handbook of the psychology of occupational safety and workplace health*. New Jersey, Wiley Blackwell Publishing Ltd., S 437–458
16. Hildebrandt, J., Kluge, J., & Ziefle, M. (2019) Work in Progress: Barriers and Concerns of Elderly Workers Towards the Digital Transformation of Work. (158–169) doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22012-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22012-9_12)
17. Jakobs EM et al (2011) Industrielle Prozessmodellierung als kommunikativer Prozess. Eine Typologie zentraler Probleme. In: *Gesprächsforschung* 12:223–264
18. Kluge J, Hildebrandt J, Ziefle M (2019) The Golden Age of Silver Workers? doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-22015-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22015-0_40)
19. Kommitmensch (DGUV) URL: <https://www.kommitmensch.de/die-kampagne/>. Zugegriffen am 27. August 2019
20. Kooij D et al (2010) The influence of age on the associations between HR practices and both affective commitment and job satisfaction: A meta-analysis. *Journal of Organizational Behavior* 31(8):1111–1136
21. Kooij D et al (2013) How the impact of HR practices on employee well-being and performance changes with age. *Human Resource Management Journal* 23(1):18–35
22. Niederdrenk R, Seemann R (2018) Baubranche aktuell: Wachstum 2020 – Digitalisierung und BIM. <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/baubranche-aktuell-wachstum-2020-maerz-2018.pdf>. Zugegriffen am 27. August 2019
23. Nink M (2014) Engagement Index: Die neuesten Daten und Erkenntnisse aus 13 Jahren Gallup-Studie. Redline Wirtschaft, München
24. Ruppel, C. P., & Harrington, S. J. (2000). The relationship of communication, ethical work climate, and trust to commitment and innovation. *Journal of business Ethics*, 25(4), 313-328. doi: 10.1023/A:1006290432594
25. Schein EH (2010) *Organizational culture and leadership* (4th edition). Jossey-Bass, San Francisco
26. Schöbel M et al (2017) Digging deeper! Insights from a multi-method assessment of safety culture in nuclear power plants based on Schein’s culture model. *Safety Science* 95:38–49

27. Schuh G et al (2017) Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. Herbert Utz Verlag, München
28. Spreitzer GM (1995) Psychological empowerment in the workplace: Dimensions, measurement, and validation. *Academy of Management Journal* 38(5):1442–1465
29. Strom U, Ulich E (1997) Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. Vdf Hochschulverlag, Zürich
30. Tauchert J, Thiessen T (2018) Digitalisierung der mittelständischen Bauwirtschaft in Deutschland. Staturevaluation und Handlungsempfehlungen. [https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2018/10/Status-Quo\\_Digitalisierung\\_Bauwirtschaft.pdf](https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2018/10/Status-Quo_Digitalisierung_Bauwirtschaft.pdf). Zugegriffen am 27. August 2019

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Arbeit 4.0 in der Produktentstehung

# 4

Instrumentarium zur Gestaltung individualisierter virtueller Produktentstehungsprozesse in der Industrie 4.0

Marc Foullois, Michael Bansmann, Lisa Mlekus , Agnieszka Paruzel , Dominik Bentler , Anna-Lena Kato-Beiderwieden , Sascha Jenderny und Lars Seifert

## Zusammenfassung

Digitale Technologien haben das Potential unser Leben und die Wertschöpfung nachhaltig zu verändern. Speziell in der Produktentstehung zeigt die Digitalisierung großes Nutzenpotential. Dies hängt unter anderem mit dem Zuwachs an Daten über den gesamten Produktlebenszyklus zusammen. Das Projekt IviPep (Instrumentarium zur Gestaltung individualisierter virtueller Produktentstehungsprozesse in der

---

M. Foullois (✉) · M. Bansmann  
Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn, Deutschland  
E-Mail: [marc.foullois@iem.fraunhofer.de](mailto:marc.foullois@iem.fraunhofer.de); [michael.banzmann@iem.fraunhofer.de](mailto:michael.banzmann@iem.fraunhofer.de)

L. Mlekus · A. Paruzel · D. Bentler · A.-L. Kato-Beiderwieden  
Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland  
E-Mail: [lisa.mlekus@uni-bielefeld.de](mailto:lisa.mlekus@uni-bielefeld.de); [a.paruzel@uni-bielefeld.de](mailto:a.paruzel@uni-bielefeld.de);  
[dominik.bentler@uni-bielefeld.de](mailto:dominik.bentler@uni-bielefeld.de); [a.kato-beiderwieden@uni-bielefeld.de](mailto:a.kato-beiderwieden@uni-bielefeld.de)

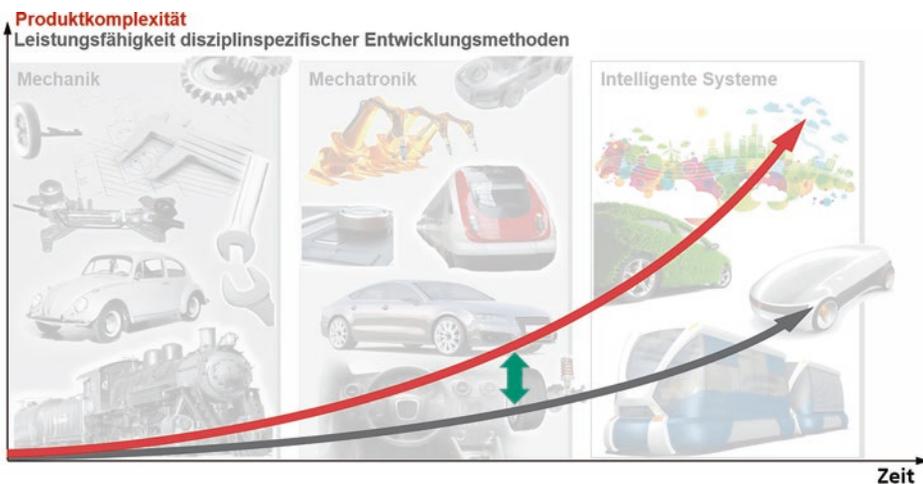
S. Jenderny  
Institutsteil für Industrielle Automation INA, Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Lemgo, Deutschland  
E-Mail: [sascha.jenderny@iosb-ina.fraunhofer.de](mailto:sascha.jenderny@iosb-ina.fraunhofer.de)

L. Seifert  
myview systems GmbH, Büren, Deutschland  
E-Mail: [lars.seifert@myview.de](mailto:lars.seifert@myview.de)

Industrie 4.0) hat das Ziel der menschengerechten Gestaltung der digitalen Arbeitswelt bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung der Produktentstehung. In dem vorliegenden Beitrag wird, ausgehend von der Ausgangssituation (Innovation, steigende Anforderungen, demografischer Wandel), die Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung beschreiben. Weiterführend werden die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens beschrieben und mit den Lessons learned abgeschlossen.

## 4.1 Ausgangssituation

Die Digitalisierung nimmt Einfluss auf sämtliche Bereiche unseres Lebens und bedingt somit technologieinduzierte Transformationsprozesse. Der Wandel von mechanikzentrierten Produkten zu intelligenten technischen Systemen stellt produzierende Unternehmen vor eine große Herausforderung [11]. Der Begriff Industrie 4.0 beschreibt diese Revolution in der industriellen Wertschöpfung [19]. Die zunehmende Durchdringung von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) schafft zum einen neue Möglichkeiten für die Gestaltung der technischen Systeme, induziert aber zugleich einen Zuwachs an technischer und organisatorischer Komplexität in der Entwicklung und dem Einsatz dieser Systeme [31]. Da herkömmliche Entwicklungsmethoden und Arbeitsmittel diesen steigenden Anforderungen nicht mehr gerecht werden, erfordert dieser Trend somit auch einen Paradigmenwechsel in der Leistungserstellung der Produktentstehung [13]. Diese Diskrepanz ist in Abb. 4.1 dargestellt.



**Abb. 4.1** Diskrepanz zwischen Produktkomplexität und der Leistungsfähigkeit fachdisziplinspezifischer Entwicklungsmethoden [11]

Die Verwendung von digitalen Technologien in der Arbeitswelt und die Integration der Technologien in die Arbeitswelt wird dabei unter dem Begriff Arbeit 4.0 zusammengefasst [28]. Prominente Beispiele wie das sog. Predictive Maintenance, welches basierend auf historischen Daten und Messwerten proaktiv Abschätzungen für Instandhaltung und Wartung durchführt oder der Einsatz digitaler Entscheidungshilfen, zeigen auf, dass der Einsatz einer digitalen Technologie mit weitreichenden Veränderungen in der Arbeitswelt einhergeht. Hierbei sind neben den Auswirkungen auf die Prozesse und Strukturen auch die Tätigkeiten und Kompetenzen der Beschäftigten zu berücksichtigen [5]. Somit ist das Spannungsfeld aus Mensch, Technik und Organisation zentral für die erfolgreiche Digitalisierung der Arbeitswelt [37].

Speziell in der Produktentstehung verspricht die Digitalisierung ein hohes Nutzenpotential, unter anderem dadurch, dass die intelligenten technischen Systeme einen Zuwachs an Daten über den gesamten Produktlebenszyklus verfügbar machen [40]. Arbeit 4.0 in der Produktentstehung hat somit die Möglichkeit, die Entwicklungstätigkeiten grundlegend zu prägen und zu verändern. Hiermit verbunden sind jedoch die Fragen nach den technischen Möglichkeiten sowie nach einem sinnvollen Grad an Digitalisierung. Aus der dargelegten Problemstellung werden die folgenden Handlungsfelder fokussiert, mit denen sich Unternehmen auseinandersetzen sollten, um die Potentiale der Digitalisierung in der Produktentstehung zu nutzen:

**Potentiale und Auswirkungen digitalisierter Arbeit:** Technologien und Konzepte zur sinnvollen Unterstützung der Tätigkeiten und Prozesse der Produktentstehung und deren Auswirkungen auf das Spannungsfeld aus Mensch, Technik und Organisation.

**Einführung digitalisierter Arbeit:** Der digitale Transformationsprozess geht mit einer Anpassung der Organisation an die fortschreitenden Möglichkeiten der Digitalisierung einher. Die Gestaltung der digitalisierten Arbeit ist unternehmensindividuell und ist mit einem strukturierten Vorgehen zu unterstützen.

**Qualifizierung für die digitalisierte Arbeit:** Die Einführung digitaler Technologien und Konzepte hat Auswirkungen auf die Kompetenz- und Qualifikationsprofile der Beschäftigten. Die Vorbereitung der Beschäftigten auf die Veränderungen in der Arbeitswelt ist daher von großer Bedeutung.

Auf Grundlage der dargelegten Handlungsfelder wird in dem vorliegenden Beitrag eine Vorgehensweise zur Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung vorgestellt und an Praxisbeispielen aus dem Verbundprojekt IviPep beschrieben. Als Praxisbeispiele werden die Pilotprojekte der Firmen **HELLA GmbH & Co. KGaA** und **HANNING ELEKTRO-WERKE GmbH & Co. KG** verwendet.

**HELLA GmbH & Co. KGaA – Mixed Mock-Up in der Entwicklung von Produktionssystemen:** Es wird ein Mixed Mock-Up aus physischen und virtuellen Elementen in die Produktionssystementwicklung eingebunden und die Auswirkungen auf die betroffenen Beschäftigten sowie den Produktentstehungsprozess werden identifiziert.

**HANNING ELEKTRO-WERKE GmbH & Co.KG – Digitale Technologien und Konzepte zur Unterstützung des Konformitätsmanagements:** Ziel ist es, die Einsatzmöglichkeiten eines digitalen Tools für die Arbeit im Konformitätsmanagement

zu untersuchen und die Auswirkungen zu identifizieren. Anhand der Ergebnisse werden entsprechende Konzepte zur Schulung und Personalentwicklung gestaltet und erprobt.

Neben der Vorgehensweise zur Einführung digitalisierter Arbeit wird ein Instrumentarium vorgestellt, das auf eine menschengerechte Gestaltung der digitalisierten Arbeitswelt bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung der Produktentstehung abzielt. Dieses Instrumentarium besteht aus einer Datenbank digitaler Lösungen für typische Herausforderungen von Unternehmen und ihrer spezifischen Potentiale zur Gestaltung der Arbeitswelt. Diese Sammlung von Anwendungsszenarien ermöglicht es Unternehmen, Beispiele digitalisierter Arbeit aus Forschung und Praxis für konkrete Potentiale zu erhalten.

## 4.2 Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung

Dieses Kapitel beschreibt eine Vorgehensweise zur Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung. Diese Vorgehensweise dient als Leitfaden und Best Practice für Unternehmen. Die Vorgehensweise ist als sequentieller Prozesse dargestellt. Dabei dürfen die einzelnen Schritte nicht als streng aufeinander folgend betrachtet werden, vielmehr ist es ein iterativer Prozess, bei dem Aktivitäten parallel durchgeführt oder Schritte wiederholt werden können, damit sich der Lösung angenähert werden kann. Der graue Zyklus im Hintergrund deutet dies an. Die Vorgehensweise teilt sich auf in folgende Phasen: Bedarfe erkennen und erfassen, Informationen einholen, Einbindung der Beschäftigten, Umsetzung, Auswirkungen digitalisierter Arbeit und Qualifizierung. Die Phasen werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben. Abb. 4.2 stellt die Vorgehensweise dar.

### 4.2.1 Bedarfe erkennen und erfassen

Zunächst sollte ein Anwendungsszenario in dem Unternehmen konkretisiert werden. Hierzu gilt es, die Anwendungsfälle der im Szenario genutzten Technologie zu identifizieren und zu beschreiben. Auf Basis der Anwendungsfälle können die Anforderungen



**Abb. 4.2** Vorgehensweise zur Einführung digitalisierter Arbeit in der Produktentstehung [11]

und Funktionalitäten bestimmt werden. Die Prozessaufnahme zählt ebenso wie die technische Anforderungsanalyse zu dieser Phase. Bei der Prozessaufnahme können Schnittstellen, beispielsweise zu einem CAD-System, identifiziert und im Konzept berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist es von großer Bedeutung, die Beschäftigten bei der Konzipierung mit einzubeziehen. Die menschengerechte Gestaltung sowie die Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Menschen sind für den Erfolg des Szenarios essenziell.

**Prozessaufnahme und technische Anforderungsermittlung:** Für eine (technologische) Weiterentwicklung eines Prozesses ist es unerlässlich, dass die notwendigen Rahmenbedingungen bereits in einem frühen Projektstadium analysiert werden, sodass die anstehenden Entwicklungen hierauf basierend ausgerichtet werden können. Insbesondere muss hierbei der gesamte Prozess des jeweiligen Anwendungsfalls betrachtet werden. Hierzu werden relevante Dokumente gesichtet, Interviews mit Prozessbeteiligten geführt und durch Begehung ein tiefgreifendes Verständnis über den bisherigen Prozess erzeugt. Zur vollständigen Modellierung werden auch die unterschiedlichen Sichtweisen auf den jeweiligen Prozess (Organisations-, Daten-, Funktionssicht) dargestellt. Ebenso müssen die jeweiligen Nutzerinnen und Nutzer der Anwendungsfälle analysiert und ausgearbeitet werden, sodass die Technologie an diese angepasst werden kann. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf den Anforderungen an eine adaptive Benutzerschnittstelle zur Visualisierung von dynamischen Maschinen- und Prozessinformationen. Die im Rahmen der späteren Realisierung zu schaffende Informationsvisualisierung soll sich dabei an unterschiedliche Benutzer, unterschiedliche Nutzungskontexte und Arbeitssituationen sowie unterschiedliche physische Umgebungen anpassen, welche in diesem Projektstadium erhoben werden müssen.

Die Aufnahme des jeweiligen Anwendungsfalls kann in Form eines Workshops erfolgen. Hierbei werden die Prozesse in ihre Einzelteile (d. h. die jeweils durchzuführenden Aufgaben, die benötigten Ressourcen sowie die involvierten Personen) aufgeschlüsselt, um ein Verständnis für den Prozess zu erlangen und um Schwachstellen und Verbesserungspotentiale zu erkennen. Im Weiteren werden die für die Entwicklung benötigten technologischen Schnittstellen identifiziert und verschiedene technologische Szenarien zur Umsetzung entworfen. Anschließend wird eine Entwicklungsstrategie ausgewählt. Wenngleich die in dieser Phase gestellten und erfassten Anforderungen als Richtlinie für die weitere Entwicklung ausgewählt werden, können diese im Laufe der Entwicklung iterativ angepasst werden, da die technologische Entwicklung sowohl an den Projektfortschritt angepasst werden muss als auch eng mit den ebenfalls im Projekt erfassten menschlichen Anforderungen sowie den Wünschen und Herausforderungen der Beschäftigten verzahnt ist.

**Einbeziehung der Beschäftigten:** Gemäß des soziotechnischen Systemansatzes müssen bei technologischen Veränderungen in Unternehmen neben den organisationalen Auswirkungen auch immer die Auswirkungen auf die Beschäftigten berücksichtigt werden. Dazu bietet es sich an, bereits vor dem technologischen Einführungsprozess Kriterien der Arbeitsgestaltung am aktuellen Arbeitsplatz der Beschäftigten zu messen.

Kriterien der Arbeitsgestaltung lassen sich in Aufgabenmerkmale, z. B. Handlungsspielraum, Wissensmerkmale, z. B. Anforderungsvielfalt, soziale Merkmale, z. B. Rückmeldung durch Kolleginnen und Kollegen, sowie Kontextmerkmale, z. B. physische Anforderungen, unterscheiden [35, 41]. Die Berücksichtigung dieser Kriterien ist insbesondere deswegen sinnvoll, da Zusammenhänge zu Arbeitseinstellungen der Beschäftigten, wie Arbeitszufriedenheit, -motivation sowie Stresserleben bestehen [17].

**Berücksichtigung der Arbeitseinstellungen:** Um Zusammenhänge zwischen den Kriterien der Arbeitsgestaltung und den Arbeitseinstellungen analysieren zu können, sollten Messungen der Arbeitsgestaltungs-kriterien sowie Arbeitseinstellungen vor Einführung der Technologie durchgeführt werden [3]. Auf Basis dieser Ergebnisse können Maßnahmen zur Unterstützung des weiteren Technologieeinführungsprozesses abgeleitet werden. Die jeweiligen signifikanten Zusammenhänge zwischen Kriterien der Arbeitsgestaltung und Arbeitseinstellungen geben dann Hinweise, welche Kriterien im weiteren Einführungsprozess stärker berücksichtigt werden müssen. Damit die Beschäftigten auch nach der Technologieeinführung motiviert und zufrieden mit ihrer Tätigkeit sowie wenig gestresst durch die Arbeitsaufgaben sind, muss während des Einführungsprozesses darauf geachtet werden, die Ausprägungen der relevanten Arbeitsgestaltungsmerkmale durch die Technologieeinführung nicht zu verringern.

### **Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung**

**Ausgangssituation:** Unternehmen der produzierenden Industrie sehen sich zunehmend mit der Herausforderung immer kürzer werdender Produktlebenszyklen konfrontiert. Dies lässt sich auf den globalen Wettbewerb, die fortschreitende Technisierung und das sich häufig ändernde Konsumverhalten zurückführen [36]. Mit den kürzer werdenden Produktlebenszyklen geht eine notwendige Reduzierung der Time-to-market einher. Daher sind Methoden und Technologien gefragt, welche dies ermöglichen. Eine dieser Methoden ist das Cardboard Engineering [30]. Hierbei wird ein Modell eines Produktionssystems (z. B. einer Fertigungsinsel) aus Pappe (Cardboard) aufgebaut. An diesem Modell soll ein möglichst realer Montageprozess mit physischen Prototypen simuliert werden. Die Anordnung der Komponenten und der Werkzeuge sowie Haltevorrichtungen kann so von interdisziplinären Teams analysiert werden. Hierbei wird unter anderem auf die Ergonomie der Beschäftigten und auf die Arbeitsablauf-Zeitanalyse geachtet. Während der Entwicklung des Produktes kann mit der Methode des Cardboard Engineerings somit frühzeitig mit der Entwicklung der dazugehörigen Produktionssysteme begonnen werden. Während sich Arbeitsplätze oder Vorrichtungen problemlos als Papp-Attrappe nachbauen lassen, liegt die Herausforderung bei den Prototypen, mit denen der Montageprozess simuliert wird. Der Aufbau physischer Prototypen ist nicht nur zeit- und kostenintensiv, sondern unterliegt ständiger Veränderung in der Entwicklung des Produktes. Hieraus ergibt sich der Bedarf, das Cardboard Engineering durch den Einsatz digitaler Technologien zu erweitern, sodass aktuelle Konstruktionsstände virtuell und somit ohne physische Bauteile abgerufen werden können. Dies führt zu dem Anwendungsszenario „Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung“.

### **Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement**

**Ausgangssituation:** Der derzeitige technische Fortschritt führt zu einer steigenden Produktkomplexität und Variantenvielfalt und hat dadurch Auswirkungen auf die Nachweispflicht der Hersteller gegenüber den Kunden. Ein spezielles Thema hierbei ist die Produktsicherheit. Unternehmen müssen zu ihren Produkten jederzeit aktuelle Angaben über enthaltene Inhalts- und Schadstoffe machen können [33]. Aufgabe des Konformitätsmanagements ist es darzulegen, dass die Produkte die vorher festgelegten Anforderungen erfüllen [1]. Hierzu zählt unter anderem das Verwalten relevanter Inhalts- und Schadstoffe der entsprechenden Produkte. Die Grenzwerte für Inhalts- und Schadstoffe können dabei stark variieren und sind abhängig von nationalen Vorgaben, den Branchen, den Kunden und den jeweiligen Märkten, auf denen das Produkt angeboten wird. Der Gesetzgeber sieht eine Aggregation der Informationen von unten nach oben vor. Dies bedeutet, dass der Endhersteller die Inhaltsstoffe bei den Lieferanten anfragt und mit den gesetzlichen Vorgaben des Landes, der Branche sowie internen Normen und Vorschriften abgleicht. Die Lieferanten fragen wiederum bei den Sub-Lieferanten nach entsprechenden Informationen. Für die zunehmende Produktkomplexität und Variantenvielfalt potenziert sich der Aufwand für die Ermittlung der Inhaltsstoffe. Heutzutage werden meistens Excel-Listen mit mehreren hundert bis mehreren tausend Zeilen genutzt, um die Informationen zu verwalten. Das Finden und Zusammenstellen der notwendigen Informationen aus Excel stellt dabei die Hauptherausforderung dar. Hieraus resultiert der Bedarf an neuen Ansätzen und Lösungen zur effizienten und human-gerechten Gestaltung des Konformitätsmanagements.

#### **4.2.2 Informationen einholen**

Digitale Technologien bergen großes Potenzial, die Art und Weise, wie wir wirtschaften und arbeiten, grundlegend zu verändern. Dies lässt sich zunehmend durch den Einsatz dieser in der industriellen Praxis beobachten. Datenbrillen, Machine Learning oder intelligente persönliche Assistenten sind hierbei nur einige Beispiele. Der Einsatz einer digitalen Technologie im industriellen Kontext wird als Anwendungsszenario digitalisierter Arbeit bezeichnet [1]. Die Nutzenpotentiale sind vielfältig und es bestehen unzählige Kombinationsmöglichkeiten digitaler Technologien und Tätigkeiten in der Arbeitswelt, in diesem Fall mit dem Fokus auf Tätigkeiten in der Produktentwicklung. Aus diesem Grund mussten zunächst Anwendungsszenarien aus Forschung und Industrie zusammengetragen werden. Die Potentiale dieser Anwendungsszenarien wurden beschrieben und in einem zweiten Schritt entlang des Referenzprozesses der Produktentstehung nach Gausemeier [11] auf einer Potentiallandkarte verortet.

**Anwendungsszenarien aus Forschung und Industrie:** Zur Identifikation von Anwendungsszenarien wurden zum einen Workshops mit Industrievertretern durchgeführt, bei denen Herausforderungen in der Produktentstehung und vielversprechende Technologien zur Lösung der Herausforderung zu Anwendungsszenarien

zusammengeführt wurden und zum anderen eine umfassende Literaturrecherche von Use Cases, die bereits angewendet werden oder sich noch in der Erforschung befinden, durchgeführt. Darüber hinaus wurden Kreativitätstechniken angewendet, um weitere Anwendungsszenarien zu identifizieren. Insgesamt wurden so um die 100 Anwendungsszenarien identifiziert. Beispiele neben den Anwendungsszenarien der Pilotprojekte sind: KI-basiertes Monkey-Testing; Collaboration Tools zur Unterstützung der Kommunikation bei der Lastenhefterstellung; lichtgesteuerte fahrerlose Transportsysteme; Generative Design zum Erstellen von Systemmodellen; automatisierte Dokumentenbereitstellung in Meetingräumen.

**Potentiallandkarte:** Die Potentiallandkarte von Anwendungsszenarien digitalisierter Arbeit zeigt den Unternehmen auf, wo entlang des Produktentstehungsprozesses Möglichkeiten für den Einsatz digitaler Technologien liegen. Somit bildet sie einen Orientierungsrahmen für Unternehmen. Hier wurde das Vier-Zyklen-Modell von Gausemeier [11] als Grundlage verwendet. Dieser teilt den Entstehungsprozess in die Zyklen der strategischen Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung [13]. Diese Grobaufteilung wurde wiederum untergliedert, um eine feinere Verortung der Anwendungsszenarien zu gewährleisten. Die identifizierten Anwendungsszenarien wurden entlang eines generischen Entwicklungsprozesses der Produktentstehung verortet. Dabei gibt es Anwendungsszenarien, welche eindeutig bei einer konkreten Entwicklungstätigkeit unterstützen, wie beispielsweise der Mixed Mock-Up, der die Produktionssystemkonzipierung auf Basis virtueller Modelle ermöglicht. Im Gegensatz dazu gibt es auch Szenarien, die häufig auftretende Tätigkeiten unterstützen, beispielsweise die automatisierte Dokumentenbereitstellung in Meetingräumen, die jedem Teilnehmenden bei Betreten des Meetingraumes per Kurzdistanz-Sender die aktuellen und relevanten Dokumente bereitstellt. Diese Szenarien werden als "übergreifend" gekennzeichnet und sind somit nicht in einem konkreten Prozessschritt der Landkarte verortet.

**Auswirkungen von Anwendungsszenarien:** Bei einem Anwendungsszenario digitalisierter Arbeit stellt sich die Frage, welche Anforderungen es an die technische Umsetzung, die organisatorische Gestaltung und die Beschäftigten hat und wie es sich auf die Bereiche Technik, Organisation und Mensch auswirkt. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projekts IviPep ein ganzheitliches Framework geschaffen. Auf Grundlage des soziotechnischen Ansatzes wurde ein Instrumentarium entwickelt, welches Szenarien digitalisierter Arbeit und deren Nutzen, Aufwände sowie die Auswirkungen der jeweiligen Szenarien darstellt Abschn. 4.2.5.

In einem ersten Schritt zur Erreichung dieses Ziels wurden die verschiedenen Kriterien für die Dimensionen auf der Grundlage gründlicher Literaturrecherchen und Experteninterviews ausgewählt. Insgesamt wurden hierdurch 24 verschiedene Kriterien erarbeitet. Die menschlichen Kriterien umfassen Aspekte wie etwa die Priorisierung der Fähigkeiten im jeweiligen Szenario, die Möglichkeiten zur sozialen Interaktion oder die Aufgabenvielfalt. Die technologischen Kriterien befassen sich hauptsächlich mit

hard- und softwareseitigen Aspekten wie etwa den verfügbaren und möglichen Schnittstellen, der technologischen Komplexität des Gesamtsystems sowie den monetären Aufwänden für Anschaffung, Installation und Instandhaltung der Hardware. Unter die organisatorischen Kriterien fallen unter anderem die Position des Szenarios im Produktentstehungsprozess, die Auswirkungen der technologischen Änderungen auf den Time-to-Market eines Produktes sowie die generelle Unternehmenskultur in Hinblick auf Innovationsförderung und Agilität.

### **Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung**

**Beschreibung des Anwendungsszenarios:** In dem Pilotprojekt bei HELLA GmbH & Co. KGaA wird im Projektkontext IviPep der Einsatz des Mixed Mock-Up in der Entwicklung von Produktionssystemen erforscht. Bei dem Mixed Mock-Up werden die physischen Prototypen durch virtuelle Prototypen ersetzt. Dadurch wird der Papp-Nachbau des Arbeitsplatzes durch das virtuelle Modell der Prototypen erweitert und somit wird aus dem Papp- ein Mixed Mock-Up. Die aktuellen CAD-Modelle liefern die Daten, welche mit der Technologie Augmented Reality (AR) die virtuellen Modelle erzeugen. Die virtuellen Modelle können durch AR-fähige Endgeräte, wie beispielsweise eine Datenbrille, in dem Papp-Montagearbeitsplatz eingeblendet werden. Die virtuellen Bauteile werden per Kamera-Tracking auf der Papp- verortet. Bewegungsabläufe, wie beispielsweise die Entnahme von Schrauben aus einem Kasten, oder Positionen von Werkzeugen und Bauteilen werden im Team diskutiert und getestet. Eine AR-Datenbrille wird dabei von einem Träger verwendet. Die weiteren Workshop-Teilnehmer können auf einem Bildschirm mitverfolgen was der Träger sieht. Der Austausch wird dadurch intensiviert und bezieht das gesamte Team mit ein. Auch standortübergreifende Workshops zur Montagesystemplanung sind dadurch möglich.

### **Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement**

**Beschreibung des Anwendungsszenarios:** In dem Pilotprojekt der HANNING Elektro-Werke GmbH & Co. KG wird im Projektkontext von IviPep ein Konformitätsmanagement mithilfe einer Graphdatenbank (NoSQL Datenbank) erforscht. Diese ermöglicht es semantische Netze (Wissensnetze) abzubilden, in denen die Vernetzung der Informationsobjekte über Relationen verschiedener Aspekte betrachtet werden können. Das Ziel ist es, die für die Konformität notwendigen Informationen und Daten in einem konsistenten Datenmodell zu verwalten (Single Source of Truth) und eine schnelle Änderung des Datenmodells zu ermöglichen. Durch die Verknüpfung von Mitarbeitenden, Projekt, Produkt, Komponenten, Substanzen und Lieferanten können Kundenanfragen bezüglich der Produktsicherheit effizient bearbeitet werden. So können bei Kundenanfragen, z. B. wenn ein Kunde sein Produkt (in dem ein Bauteil des Unternehmens verbaut ist) in einem neuen Land vertreiben möchte, durch Eingabe der Kundennummer und der länderspezifischen Normen schnell die Verknüpfungen eingesehen und eventuelle Widersprüche identifiziert werden.

### 4.2.3 Einbindung der Beschäftigten

**Partizipation der Beschäftigten:** Ein Erfolgsfaktor für die Akzeptanz und somit nachhaltige Implementierung von neuen Technologien in Unternehmen ist die Einbindung der zukünftigen Nutzer in einem frühen Stadium der Einführung [28, 36]. Insbesondere steigert die Einbindung der Beschäftigten die Bereitschaft zu Veränderungen in Organisationen und reduziert negative Einstellungen den Neuerungen gegenüber. Eine hohe Veränderungsbereitschaft geht mit Optimismus gegenüber der Veränderung sowie weniger Widerständen einher und beeinflusst den Erfolg der Technologieeinführung [23, 36]. Bei der Partizipation der Beschäftigten werden mehrere Beteiligungsformen unterschieden, von reiner Information in Verbindung mit Anhörung bis hin zu Mitbestimmungsrecht und anschließender verbindlicher Umsetzung.

Die Beschäftigten sollten in einem sehr frühen Stadium des Einführungsprozesses eingebunden werden und die Möglichkeit haben, die neue Technologie mehrfach vorab zu testen, Verbesserungsvorschläge zu machen und Charakteristika der Technologie mitzubestimmen, die anschließend umgesetzt werden. Dies kann in Form von Workshops erfolgen. Im Rahmen kleiner Teilnehmendengruppen hat dann jedes Teammitglied, das später mit der Technologie arbeiten wird, die Möglichkeit, die Technologie ausgiebig zu testen und anschließend gemeinsam zu diskutieren, welche Features noch wünschenswert wären und welche Arbeitsschritte aufgrund der Technologie noch nicht reibungslos ablaufen. Diese Vorschläge sollten schriftlich festgehalten werden, um eine höhere Verbindlichkeit zu schaffen. Bei späteren Treffen kann dann auf alle Vorschläge Bezug genommen und besprochen werden, wie diese in der neuen Version der Hard- und Software umgesetzt wurden. Anschließend kann die optimierte Version der Technologie in einem iterativen Prozess erneut getestet werden.

**Nutzerakzeptanz:** Bei der Einführung einer neuen Technologie ist es wichtig, dass die zukünftigen Nutzer diese akzeptieren. Eine geringe Akzeptanz geht u. a. mit niedrigerer Arbeitszufriedenheit und Leistungseinbußen einher und führt dazu, dass die Technologie weniger genutzt wird [9, 38, 42]. Um die Akzeptanz zu steigern, können beispielsweise Change-Management-Maßnahmen eingesetzt werden, die auf die Einstellung der Nutzerinnen und Nutzer gegenüber der Technologie abzielen. Basierend auf dem Ansatz des soziotechnischen Systems sind darüber hinaus auch die Eigenschaften der Technologie veränderbar und haben einen starken Einfluss darauf, ob die Technologie akzeptiert wird.

Das vielfach untersuchte Technologie-Akzeptanzmodell von Venkatesh und Bala [39] zeigt auf, dass eine Technologie insbesondere dann akzeptiert wird, wenn sie nützlich und einfach in der Handhabung ist. In dem Modell wird jedoch nicht näher spezifiziert, wie eine Technologie konkret gestaltet werden sollte, damit deren Handhabung als nützlich und einfach wahrgenommen wird. Einen Anhaltspunkt liefert das Feld der User-Experience-Forschung. Hierbei liegt der Fokus auf den erfahrbaren Eigenschaften (z. B. wahrgenommene Verlässlichkeit und Effizienz der Technologie) im Rahmen der Mensch-Maschine-Interaktion [15]. In einer Online-Studie [29] wurde untersucht,

inwiefern User-Experience-Eigenschaften einer Technologie mit den Charakteristika des Technologie-Akzeptanzmodells zusammenhängen. Die Ergebnisse zeigen auf, dass insbesondere Technologien, die durchschaubar und verlässlich sind sowie ihre Aufgaben in einer guten Qualität erfüllen, von den Nutzerinnen und Nutzern am besten akzeptiert werden.

#### 4.2.4 Umsetzung

In der Umsetzungsphase steht zunächst die prototypische Umsetzung des jeweiligen Szenarios in den Unternehmen im Fokus. Hierzu werden das ausgearbeitete Konzept und die entsprechenden Anforderungen in Form eines Demonstrators erarbeitet und prototypisch umgesetzt. Dies sollte von Maßnahmen zum **Change-Management** begleitet werden.

**Prototypische Umsetzung:** Die Umsetzung des jeweiligen Anwendungsfalls oftmals nicht allein spezifisches Know-How über die spezifische Technologie, die zum Einsatz kommt, sondern darüber hinaus Fachwissen über den Kontext, in welchem die Technologie eingesetzt werden soll. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der Anwendungsfall stets nicht isoliert, sondern im soziotechnischen Gesamtkontext gesehen werden muss. Abhängig von den bereits durchgeführten Entwicklungsprojekten des Unternehmens, der im Unternehmen verorteten Expertise und insbesondere den personellen, technischen und organisatorischen Herausforderungen, findet eine gemeinsame prototypische Umsetzung in sehr frühen (z. B. durch Sketches oder analoge Darstellung des zukünftigen Interfaces auf Papier (Paper-User Interface)) oder späten Projektphasen (z. B. durch das Testen einer Technologie im laufenden Betrieb) statt. Kern ist es in dieser Phase die technische Machbarkeit des Anwendungsfalls darzustellen und den Nutzen nachzuweisen. Diese Demonstratoren können daraufhin, basierend auf dem erhaltenen Feedback angepasst und anschließend in den Arbeitsalltag übertragen und integriert werden (siehe **Iterative Weiterentwicklung der Prototypen basierend auf Nutzerfeedback** im Abschn. 4.2.5).

**Change-Management:** Anschließend an eine erste prototypische Umsetzung und einer Demonstration der Machbarkeit erfolgt oftmals die Einführung (sog. Roll-Out) der Technologie in einem Unternehmen. Hierbei ist es sinnvoll, im Vorfeld von Veränderungsmaßnahmen die Unternehmenskultur genauer zu analysieren. Basierend auf dem Verständnis der Unternehmenskultur können neben der Einführung der Technologie *Handlungsempfehlungen* zum Thema der Einführung neuer Technologien (in der Produktentwicklung) formuliert werden. Daraus lassen sich anschließend Qualifikations- und Weiterbildungsprofile ableiten, um Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen angepasst an die Unternehmenskultur und Herausforderungen in der Veränderung zu qualifizieren.

Eine Erfassung der Veränderungskultur kann, abhängig von Unternehmen und verfügbaren Ressourcen sehr unterschiedlich durchgeführt werden. Vor dem Hintergrund, dass die Beschäftigten bzw. die Verantwortlichen des Unternehmens aktiv in den Prozess

eingebunden werden sollen, können die jeweiligen Wünsche und Herausforderungen in Form von Interviews erfasst werden. Hierbei ist laut Leski [22], ein Fokus auf die Grundaspekte Identifikation von Veränderung, Kommunikation sowie Methoden und Prozesse zu setzen. Wenngleich es sich anbietet, die Interviews in einer vorgegebenen Struktur (in Form von Leitfragen) durchzuführen, so sollte den Teilnehmenden in Hinblick auf die Komplexität des Themas ausreichend Freiraum für freie Äußerungen gegeben werden. Diese Form der Datenerfassung eignet sich besonders, um den Teilnehmenden die Möglichkeit zu geben, sich mit Themen zu beschäftigen, die sie für wichtig halten [24]. Mit jedem der beteiligten Pilotunternehmen wurde jeweils ein auf den Leitfragen basierendes Gespräch mit ein bis zwei Teilnehmenden durchgeführt. Die Interviews wurden anschließend analysiert, sodass basierend auf den Aussagen aller Teilnehmenden eine Übersicht über die aktuell bestehenden Herausforderungen in Bezug auf (technologische) Veränderungen im Unternehmen sowie bereits etablierte Erfolgsstrategien für Änderungen im Unternehmen gegeben werden kann. Neben einer Rückspiegelung der Ergebnisse an die Unternehmen konnten die Ergebnisse genutzt werden, um die **Qualifikations- und Schulungsangebote** (vgl. Abschn. 4.2.6) an die Anforderungen der Unternehmen anzupassen.

#### 4.2.5 Auswirkungen digitalisierter Arbeit

**Einleitung:** Mit der Gestaltung und Einführung digitalisierter Arbeit geht ein Transformationsprozess der Arbeitswelt einher. Damit eine dauerhafte Nutzung digitalisierter Arbeit sichergestellt und langfristig die digitale Transformation der Produktentstehungsarbeit gewährleistet werden, ist die Anpassung der Organisation an die fortschreitenden Möglichkeiten der Digitalisierung notwendig. Dies umfasst zum einen die **Anpassung der digitalen Anwendungen an die Bedürfnisse der Beschäftigten** sowie die **Qualifizierung der Beschäftigten gemäß den sich ändernden Kompetenzanforderungen**, die mit den digitalen Technologien einhergehen. Zum anderen müssen die **Zusammenhänge zwischen Digitalisierung und Arbeitsgestaltung** sowie mögliche Auswirkungen auf die **Mitarbeiterzufriedenheit** identifiziert werden, damit frühzeitig Einfluss auf den Transformationsprozess genommen werden kann.

**Iterative Weiterentwicklung der Prototypen basierend auf Nutzerfeedback:** Das Prinzip der iterativen Entwicklung beruht darauf, dass ein Produkt durch permanente Wiederholungen (Iterationen) optimiert und zur **Anwendungsfähigkeit** gebracht wird. Am Anfang des Entwicklungsprozesses steht eine Anwendungs- und Produktidee, die schrittweise realisiert wird. Auch die Systemarchitektur der Prototypen wird dabei fortlaufend entwickelt, überprüft und angepasst. Die Kenntnis der notwendigen und sinnvollen Systemanforderungen entwickelt sich erst im Rahmen des Projektverlaufs, sie ist erst mit der vollständigen Systemimplementierung abgeschlossen. Das iterative Modell unterscheidet sich vom traditionellen Wasserfallmodell dadurch, dass es sich hierbei mehr ein zyklischer Prozess als einen streng sequenziellen Schritt-für-Schritt-Prozess

handelt. Nach Abschluss der ersten Planungsphase werden eine Handvoll weiterer Schritte wiederholt, wodurch Zyklen entstehen. Wenn jeder Zyklus abgeschlossen ist, wird die jeweilige Technologie verbessert und iteriert.

Die erste Phase ist eine Planungsphase, in der alle spezifischen Details einschließlich der Hard- und Softwareanforderungen sowie die Vorbereitung für die weiteren Schritte festgelegt werden. Die zweite Stufe ist die Analyse, die durchgeführt wird, um die Datenbankmodelle, die Geschäftslogik usw., die für diese Phase notwendig sind, in Gang zu setzen. Hier findet auch die Entwurfsphase statt, in der technische Anforderungen festgelegt werden, die notwendig sind, um die in der Analysephase ermittelten Anforderungen zu erfüllen. Als nächstes beginnen die Implementierung. An dieser Stelle werden alle Spezifikations-, Planungs- und Designunterlagen umgesetzt. Hierauf folgt die Testphase in welcher die aktuelle Iteration der Technologie basierend auf zuvor definierten Gütekriterien (z. B. Stabilität, Gebrauchstauglichkeit, Fehleranfälligkeit) untersucht wird. Sobald die vorangegangenen Phasen abgeschlossen sind, ist eine gründliche Bewertung der gesamten Entwicklung bis zu diesem Zeitpunkt erforderlich. Das Team und die Projektpartner sind in der Lage, das Projekt zu untersuchen und Feedback darüber zu geben, was sich ändern muss oder kann. Nach Abschluss dieser Phasen wird die zuletzt erstellte Iteration der Software sowie das evaluierte Feedback an die Planungs- und Entwicklungsphase an der Spitze zurückgeführt, damit sich der Prozess erneut wiederholen kann.

Grundsätzlich wird bei einem Großteil der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, insbesondere denjenigen denen eine neue und im jeweiligen Unternehmen noch nicht bekannte bzw. eingeführte Technologie zugrunde liegt, ein ähnlich iteratives Modell angeraten, da somit flexibel auf neue Technologien, Veränderungen im Anwendungsfall sowie in der ursprünglichen Planung nicht bedachte Aspekte (etwa im Laufe der Projektzeit erscheinende Hard- und Softwareupdates) reagiert werden kann.

**Zusammenhänge zwischen Digitalisierung und Arbeitsgestaltung und Zufriedenheit:** Mit der Einführung digitaler Technologien geht auch immer die Veränderung der aktuellen Arbeitsgestaltung einher, welche sich wiederum auf die Arbeitseinstellungen der Beschäftigten auswirkt (Abschn. 4.3.1). Um die technologiegetriebenen Veränderungen der Arbeitsgestaltung frühzeitig diagnostizieren zu können, bietet sich eine Klassifizierung der konkreten Technologie bereits vor Beginn des Einführungsprozesses an. Diese Klassifizierung lässt sich anhand der sechs Digitalisierungskriterien Vernetzung, Virtualisierung, Echtzeit-Fähigkeit, Dezentralisierung, Individualisierbarkeit sowie Modularität vornehmen [27]. Bestehende Korrelationen der Digitalisierungskriterien mit Merkmalen der Arbeitsgestaltung sowie Arbeitseinstellungen können bereits vor der Technologieeinführung darauf hinweisen, wie sich die Arbeit durch die Nutzung der Technologie aus Perspektive der Beschäftigten verändern wird. Dies bietet die Möglichkeit, frühzeitig Einfluss auf den Einführungsprozess zu nehmen, sodass negative Folgen für die Beschäftigten nach Einführung der Technologie vermieden werden sowie die Technologieakzeptanz der Nutzerinnen und Nutzer gefördert werden kann.

**Anforderungsanalyse zur Ermittlung von Kompetenzanforderungen:** Die Einführung digitaler Technologien geht in der Regel mit einem Qualifikationsbedarf einher [16]. Beschäftigte müssen sich mit der neuen Technologie vertraut machen und Arbeitsroutinen für gänzlich neue Arbeitsschritte entwickeln. Entsprechend sollte eine bestmögliche Qualifizierung der Beschäftigten für eine digitalisierte Arbeit sichergestellt werden, damit der Einsatz der neuen Technologie reibungslos vonstattengeht und die Beschäftigten von Beginn an kompetent agieren können.

Grundlage für die Ermittlung des Qualifizierungsbedarfs bilden Kompetenzprofile. Für die Ermittlung dieser Kompetenzprofile können beispielsweise die Task-Analysis-Tools (TAToo) [20] als Methode genutzt werden. Die TAToo stellen eine Weiterentwicklung der etablierten Methode der kritischen Ereignisse [9] dar und sind ein verhaltensbasiertes Verfahren. Das Verfahren besteht aus drei Schritten. Im ersten Schritt werden Interviews mit etwa drei Stelleninhabern und -inhaberinnen eines Teams als Experten bzw. Expertinnen für ihre eigene Tätigkeit [20] sowie ihrer Teamleitung geführt. Im zweiten Schritt werden Verhaltensweisen, die in den Interviews genannt wurden, zu Kompetenzen geclustert und die Kompetenzcluster benannt. Im dritten Schritt werden die Kompetenzen und Verhaltensweisen aus Schritt 2 im Rahmen einer quantitativen Befragung durch die einzelnen Teammitglieder unabhängig voneinander bewertet, um die Bedeutsamkeit der einzelnen Kompetenzen für die Tätigkeit ermitteln zu können. Das Ergebnis ist ein quantitatives Profil mit Kompetenzen kognitiver, sozialer, motivationaler und motorischer Art, die für die Ausführung einer Tätigkeit unter Einsatz neuer Technologien von Bedeutung sind. Um die Anforderungen an die Beschäftigten vor und nach Einführung der Technologie vergleichen zu können, sollte die Bedeutsamkeit der einzelnen Kompetenzen zweimal eingeschätzt werden.

#### 4.2.6 Qualifizierung

**Einleitung:** Die Einführung digitaler Technologien und Konzepte hat Auswirkungen auf die Kompetenz- und Qualifikationsprofile der Beschäftigten. Die sich ergebende Lücke zwischen derzeitigen und zukünftig geforderten Kompetenzen, welche in der vorherigen Phase ermittelt wurden, ist durch Weiterbildungs- und Schulungskonzepte zu schließen. In einem Forschungs- oder Entwicklungsprojekt sind diese Lücken von Beginn an zu beachten und zu dokumentieren, sodass diese in einem Schulungs- und Weiterbildungsangebot gebündelt werden können. Jedoch ist anzumerken, dass die Schulungen abhängig vom Anwendungsfall, der Technologie und dem Unternehmen andere thematische Schwerpunkte erfordern, weshalb auch hier eine Einbindung der jeweiligen Stakeholder von Vorteil ist.

**Weiterbildungsangebot:** Das Hauptziel eines Schulungsangebotes sollte es sein, wesentliche Inhalte des Projektes sowohl theoretisch als auch praxisnah zu vermitteln. Hierbei sind drei Kernaspekte von essenzieller Bedeutung: Die Verortung der

Schulungsinhalte im Gesamtkontext des Projektes, die bedarfsorientierte Gestaltung der Schulungsinhalte sowie die Sicherstellung der Nachhaltigkeit der Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen.

Zunächst ist darauf zu achten, dass die zu vermittelnden Inhalte im Gesamtprojekt verortet werden können. Dies schließt die Wahl der zu vermittelnden Inhalte sowie eine Berücksichtigung der im Projekt verorteten Expertisen ein. Es bietet sich, insbesondere bei Projekten mit einem sehr heterogen aufgestellten Konsortium, an, die jeweiligen fachlichen und methodischen Expertisen und Bedarfe herauszuarbeiten, sodass der Wissenstransfer hierauf abgestimmt werden kann. So wurde im Projekt IviPep das Thema „Arbeit 4.0“ ganzheitlich betrachtet, um sowohl Schulungen mit technologischem (**Grundlagen digitaler Technologien in der Industrie**) als auch organisatorisch-psychologischen (**Methoden des effektiven Change-Managements**) Schwerpunkt durchzuführen. Ebenfalls sollten die durchzuführenden Schulungen auf die Anforderungen der jeweiligen Projektpartner zugeschnitten werden. Wenngleich auch hierbei auf bereits entwickelte Vermittlungsmethoden zurückgegriffen werden kann, bietet sich eine enge Einbindung der zu Schulungen sowie eine gemeinsame Entwicklung bzw. Anpassung der Schulungskonzepte an. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit besteht die aktuelle Herausforderung von Schulungs- und Weiterbildungsangeboten, insbesondere im Kontext der technologischen Entwicklung, besteht darin, dass durch die Dynamik aktueller Technologien der Wissenstransfer erschwert wird. Aufgrund der aktuell vorherrschenden Informationsflut wird Wissen immer komplexer und somit für den Einzelnen schwieriger zu erfassen. Aus diesem Grund bietet es sich an, die Schulungs- und Weiterbildungskonzepte so zu gestalten, dass vermehrt Methodenwissen anstelle von Fachwissen vermittelt wird. So richten sich beispielsweise die im Projekt IviPep angebotenen Schulungen nicht auf die Nutzung einer spezifischen Technologie, sondern versuchen Methoden zu vermitteln, welche etwa in der Ideenfindung (**Förderung von Kreativität und Ideengenerierung**) oder in der Evaluation (**Konzipierung und Bewertung neuer Technologien**) genutzt werden können. Hierdurch kann erreicht werden, dass die vermittelten Inhalte auch über den Projektkontext hinaus angewendet und somit langlebiger genutzt werden können.

**Rückführung der Ergebnisse aus Mitarbeiterbefragungen als Sensibilisierung der Entscheidungsträger:** Technologische Veränderungen werden in Unternehmen oftmals eigenständig von den jeweiligen technischen Fachabteilungen vorangetrieben. Gemäß dem soziotechnischen Systemansatz ist der Einbezug von weiteren Entscheidungsträgern aus den Abteilungen Organisationsentwicklung sowie Personal zwingend erforderlich. Insbesondere auf Basis der Ergebnisse aus den Arbeits- und Anforderungsanalysen Abschn. 4.3.1 kann die Qualifizierung der Beschäftigten für zukünftige Aufgaben garantiert werden. Diese Ergebnisse bieten den Personalverantwortlichen die Möglichkeit, bestehende Personalentwicklungsmaßnahmen an den zukünftigen Anforderungen der Tätigkeit nach Einführung der Technologie auszurichten. Darüber hinaus können Personalauswahl- sowie Potentialbeurteilungsinstrumente an das zukünftige Anforderungsprofil angepasst werden.

## 4.3 Ergebnisse

Nachdem im vorherigen Kapitel die Vorgehensweise zur Einführung digitalisierter Arbeit vorgestellt wurde, wird in diesem Kapitel beschrieben, welche Ergebnisse bei dieser Vorgehensweise entstehen können und wie diese im weiteren Prozess verwendet werden können. Die Ergebnisse werden aufgeteilt in drei Unterkapitel. Zunächst werden die **Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung** (Abschn. 4.3.1) beschrieben, dies beinhaltet die Auswirkungen auf die Beschäftigten sowie das Change-Management der Organisation. Weiter werden der **Nutzen** und die **Mehrwerte für die Unternehmen** durch die Einführung digitalisierter Arbeit beschrieben (Abschn. 4.3.2). Hierzu werden zwei Pilotprojekte im Detail beschrieben. Darüber hinaus wird in diesem Abschnitt das Instrumentarium vorgestellt. Das Instrumentarium ist eine Online-Plattform, die es Unternehmen ermöglicht, Informationen zu Anwendungsszenarien digitaler Arbeit aus Forschung und Industrie für konkrete Fragestellungen und Herausforderungen zu bekommen. Neben der Vorstellung des Instrumentariums und der dargestellten Informationen werden auch Hintergrundinformationen zur Technik und Erarbeitung gegeben. Abschließend werden die **übergeordneten Ergebnisse** (Abschn. 4.3.3) beschrieben. Diese beinhalten den Beitrag zu den Zielen der Bekanntmachung "Arbeit in der digitalisierten Welt" im Forschungs- und Entwicklungsprogramm "Zukunft der Arbeit" als Teil des Dachprogramms "Innovationen für die Produktion". Diese Ergebnisse geben interessierten Unternehmen die Möglichkeit, die Erkenntnisse aus dem Projekt IviPep zu nutzen und auf den eigenen Produktentstehungsprozess anzuwenden.

### 4.3.1 Auswirkungen auf Arbeitsgestaltung

#### **Zusammenhänge zwischen Arbeitsgestaltung und Einstellungen der Beschäftigten:**

In dem Projekt IviPep wurden die Zusammenhänge zwischen Kriterien der Arbeitsgestaltung und den Einstellungen der Beschäftigten bei insgesamt 58 Beschäftigten untersucht [3]. In dieser Stichprobe hat sich gezeigt, dass Aufgaben- und Wissensmerkmale der Arbeitsgestaltung signifikant positiv mit der Arbeitszufriedenheit und intrinsischen Arbeitsmotivation der Beschäftigten zusammenhängen. Darüber hinaus konnte ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen Aufgabenmerkmalen und der wahrgenommenen Belastung am Arbeitsplatz gefunden werden. Kontextuelle Merkmale zeigten signifikant positive Zusammenhänge zur Arbeitszufriedenheit. Es konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen sozialen Merkmalen der Arbeitsgestaltung und den Einstellungen der Beschäftigten gefunden werden (Tab. 4.1).

Auf Basis dieser Ergebnisse sollten insbesondere die Aufgaben- und Wissensmerkmale der jeweiligen Tätigkeiten während der Technologieeinführung berücksichtigt werden. Damit hohe Arbeitszufriedenheit und -motivation sowie eine geringe Belastung vorliegen, muss die Technologie so angepasst werden, dass die Aufgaben- und Wissensmerkmale auch nach dem Einführungsprozess uneingeschränkt in der jeweiligen Tätigkeit vorliegen.

**Tab. 4.1** Korrelationen zwischen Kriterien der Arbeitsgestaltung und Einstellungen der Beschäftigten

Arbeitsgestaltung	Arbeits- zufriedenheit	Belastung	Motivation	
			Extrinsisch	Intrinsisch
Aufgabenmerkmale	.47**	-.34**	-.12	.70**
Wissensmerkmale	.36**	.03	.00	.37**
Soziale Merkmale	.18	.26	.23	.24
Kontextuelle Merkmale	.30*	.02	.10	-.01

Anmerkung.  $N=58$

\*Die Korrelation ist auf dem Niveau von .05 (2-seitig) signifikant; \*\*Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant

**Technologiegestaltung zur Steigerung der Akzeptanz von Nutzerinnen und Nutzern:** Wie in Abschn. 4.2.5 beschrieben, wurde in einer Onlinestudie mit 281 Technologienutzerinnen und -nutzern untersucht, inwiefern User Experience-Merkmale einer Technologie mit ihrer Akzeptanz zusammenhängen [26]. Die Ergebnisse zeigten, dass die Ausgabequalität des Systems, d. h. das Ausmaß, in dem ein System seine Aufgaben gut erfüllt [39], mit der wahrgenommenen Nützlichkeit zusammenhing. Die Durchschaubarkeit und Verlässlichkeit eines Systems gingen mit einer höheren wahrgenommenen Einfachheit der Nutzung einher. Durchschaubarkeit bezieht sich auf das Ausmaß, in dem eine Technologie verständlich und leicht zu lernen ist, Verlässlichkeit bedeutet, dass man sich als Nutzerin oder Nutzer auf das System verlassen kann und die Kontrolle über das System hat [34]. Die Absicht, das System zu nutzen hing schließlich mit der Originalität des Systems, sowie der wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung zusammen. Die Effizienz des Systems, die gegeben ist, wenn die Nutzerin oder der Nutzer nicht unnötig Energie zur Bearbeitung einer Aufgabe aufwenden muss [34], hing nicht mit der Akzeptanz zusammen. Ebenso wenig die Stimulation des Systems, welche das Ausmaß bezeichnet, in dem eine Technologie aufregend und motivierend ist [34]. Das finale User Experience Technologie-Akzeptanzmodell ist in Abb. 4.3 dargestellt.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass bei der Gestaltung von Technologien insbesondere sichergestellt werden sollte, dass diese verlässlich und durchschaubar sind, die ihr zugetragenen Aufgaben in hoher Qualität bearbeiten und als innovativ und neuartig wahrgenommen werden.

**Anforderungsprofile in den Pilotunternehmen:** Als Ergebnisse der Anforderungsanalysen können für jeden betrieblichen Bereich, der von der Einführung der Technologie betroffen ist, Anforderungsprofile erstellt werden. Das Anforderungsprofil, das vor Einführung der Technologie erstellt wurde, gibt Aufschluss darüber, welche Kompetenzen bei der derzeitigen Tätigkeit bedeutsam sind. Die Anforderungsprofile können für die Auswahl neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie im Rahmen von Personalentwicklungsmaßnahmen genutzt werden. Ziel sollte es sein, dass alle

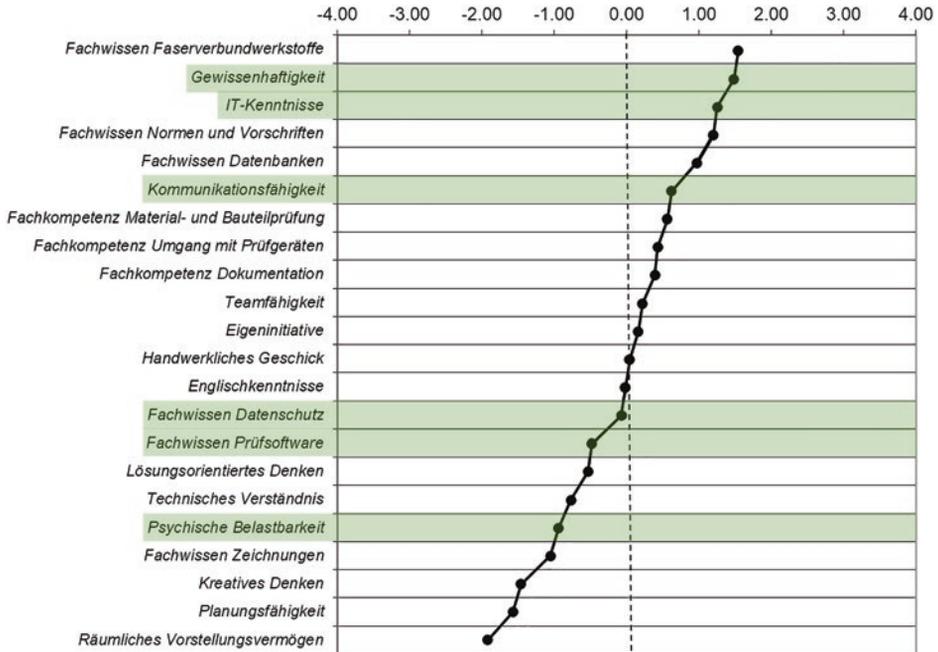


**Abb. 4.3** User Experience Technologie Akzeptanzmodell

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über die Kompetenzen verfügen, die in dem jeweiligen Bereich als bedeutsam eingeschätzt wurden. Wenn man die Bewertung der Bedeutsamkeit nach Einführung der Technologie wiederholt, lassen sich Schlüsse ziehen, welche Kompetenzen an Bedeutsamkeit gewinnen und welche weniger wichtig werden. Diese Information kann genutzt werden, um Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für den Umgang mit der Technologie zu schulen.

Als Beispiel wird in Abb. 4.4 das Anforderungsprofil für die Tätigkeit in der Qualitätssicherung bei einem der Pilotunternehmen aus dem Projekt IviPep dargestellt. Die Null steht für eine mittlere Bedeutsamkeit einer Kompetenzanforderung (im Vergleich zu den anderen Kompetenzanforderungen in dem Bereich), positive Werte zeigen eine höhere Bedeutsamkeit und negative Werte eine niedrigere Bedeutsamkeit an. Jene Anforderungen, die von den Interviewten als zukünftig relevant genannt wurden, sind in der Abbildung grün markiert. In welchem Ausmaß diese Anforderungen tatsächlich an Bedeutsamkeit gewinnen, lässt sich erst beantworten, wenn die Erhebung nach Einführung der Technologie erneut durchgeführt wurde. Aus der Abbildung lässt sich ablesen, dass die bedeutsamsten Kompetenzen für Beschäftigte in der Qualitätssicherung Fachwissen im Bereich Faserverbundwerkstoffe, Gewissenhaftigkeit und IT-Kenntnisse sind. Von den zukünftig möglicherweise stärker relevanten Anforderungen sind Fachwissen in den Bereichen Datenschutz und Prüfsoftware sowie psychische Belastbarkeit bisher noch weniger bedeutsam. Bei der Einführung der Technologie ist es daher ratsam zu überprüfen, ob es für diese Kompetenzen Schulungsbedarf gibt.

**Befragung zur Veränderungskultur im Unternehmen:** Basierend auf den Interviews mit Experten und Expertinnen zum Thema “Veränderungskultur im Unternehmen” konnten diverse Faktoren als Erfolgs- oder Misserfolgskriterien für einen



**Abb. 4.4** Anforderungsmodell für die Tätigkeit in der Qualitätssicherung

Veränderungsprozess im Unternehmen identifiziert werden. Wenngleich eine Veränderung nie vollständig einer vorgegebenen Struktur folgt, so können bestimmte Aspekte branchen- und unternehmensübergreifend angewandt werden. Im Folgenden werden die wichtigsten identifizierten Veränderungskriterien aus einer im Projekt IviPep durchgeführten Befragung dargestellt:

**Misserfolgskriterien:**

- Mangelnde Wertschätzung eingebrachter Veränderungswünsche
- Mangelnde Technologieakzeptanz durch Unwillen sich in neue Dinge einzuarbeiten
- Skepsis gegenüber neuer Technologie
- Angst vor Mehrarbeit durch neue Systeme
- Fehlendes gemeinsames Werteverständnis zwischen verschiedenen Disziplinen

**Erfolgskriterien:**

- Kontinuierliche Einbindung der Mitarbeitenden in den Veränderungsprozess (Beteiligung der Beschäftigten)
- Schaffung eines Verständnisses für die Veränderung durch Präzision der Notwendigkeit

- Vorbildrolle der Leitungsfunktionen und Geschäftsführung (Unterstützung durch die Geschäftsführung)
- Generierung von Ideen durch die Mitarbeitenden
- Einbindung des Betriebsrates
- Klar definierte Rollenbilder (vor und nach der Veränderung)
- Strukturiertes und methodisch definiertes Arbeiten (Einsatz interdisziplinärer Projektteams)
- Transparenz des Veränderungsprozesses (offene Kommunikation über den Projektfortschritt)
- Trainings der betroffenen Beschäftigten
- Umgestaltung betroffener Jobs
- Einbindung in die langfristige Strategie/Vision des Unternehmens

Hierbei schließen sich die Ergebnisse vieler Untersuchungen im Bereich Change-Management an. Beispielsweise wurde der in den Befragungen oftmals genannte Erfolgsfaktor der Kommunikation ebenfalls von Gergs [14] in einer Abhandlung über die Herausforderungen des Change-Managements genannt. Neben den in den Befragungen genannten Methoden der Ideeneinreichung und Transparenzschaffung eines Veränderungsprozesses werden hier die Schaffung „lateralen und hierarchieübergreifender Kommunikationsmöglichkeiten“ [14] wie etwa die Einführung eines interdisziplinären Change-Management-Komitees oder die Nutzung innovativer und partizipativer Formate wie Innovations-Jams oder Bar Camps genannt. Ein weiterer wichtiger Faktor, welcher von den Befragungsteilnehmern genannt wurde, ist das „Vorleben der Veränderung“, d. h. ein Commitment vonseiten des Managements und der Führungsebene. Auch Kohnke [21] nennt neben einer unklaren Definition von Stakeholdern und Projektzielen eine Inaktivität des oberen Managements während des Prozesses als einen maßgeblichen Misserfolgsfaktor für Veränderungsprozesse. Die Bedeutsamkeit der Einbindung des Managements und insbesondere der Wahrnehmung dieser Einbindung ist auch in anderen Untersuchungen zu diesem Thema wiederzufinden [6, 43, 44]. Diese Unterstützung müsse sich über sämtliche Phasen des Projektmanagements äußern, um einen Veränderungsprozess positiv zu beeinflussen [21]. Zentrale Faktoren sind hierbei insbesondere die wahrgenommene Professionalität des Veränderungsmanagements in der Vergangenheit [29, 33].

Ein weiterer wichtiger Punkt ist eine effektive Einbindung und Begleitung sämtlicher betroffener Beschäftigter und die Schaffung von Transparenz im gesamten Veränderungsprozess. Wenngleich dieser Punkt laut Kohnke (2005) oftmals in den Projekten unterschätzt wird, ist nicht von der Hand zu weisen, dass die Einbindung der Beschäftigten ein ausschlaggebender Faktor für den Erfolg eines Veränderungsprozesses ist. Als Beispiel hierfür kann eine Studie von Somers und Nelson [35] genannt werden, in welcher herausgefunden wurde, dass schätzungsweise die Hälfte aller ERP-Implementierungen an einer unzureichenden Einbindung bzw. Identifikation der zuständigen und betroffenen Beschäftigten gescheitert ist. In diesem Zusammenhang

kann auch der positive Einfluss der Organisationskultur erwähnt werden. Eine kooperative Organisationskultur, die auch durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen und dem IT-Bereich charakterisiert ist, sei hierbei förderlich für den nachhaltigen Erfolg von Veränderungsprozessen [14, 43]. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit sei auch die Einbindung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen durch entsprechende Trainings notwendig, um diesen die Angst vor der Veränderung zu nehmen und ihnen zu ermöglichen die geplanten Veränderungen nachzuvollziehen [4].

**Change-Management:** Während der Technologieeinführung sollten die Beschäftigten an allen Schritten des Veränderungsprozesses teilnehmen. Diese Partizipationsmöglichkeiten sollten sich positiv auf die Veränderungsbereitschaft der Beschäftigten und somit auf den Erfolg des Einführungsprozesses auswirken. Dies zeigte sich auch in dem Projekt IviPep. In einem Pilotunternehmen wurde die Veränderungsbereitschaft der Beschäftigten zu zwei Messzeitpunkten untersucht, wobei der erste Messzeitpunkt vor Beginn des Einführungsprozesses lag und das zweite Mal während des Einführungsprozesses erhoben wurde [3]. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tab. 4.2 dargestellt und belegen einen signifikanten Zuwachs der Veränderungsbereitschaft der Beschäftigten zwischen den beiden Messzeitpunkten. Partizipationsmöglichkeiten haben somit positive Auswirkungen auf die Beschäftigten und sollten während Einführungsprozessen von Technologien berücksichtigt werden.

### 4.3.2 Mehrwerte digitalisierter Arbeit

Die Mehrwerte digitalisierter Arbeit zeigen sich zum einen in den direkten Anwendungsszenarien der Unternehmen, die eine digitale Technologie in der Produktentstehung eingeführt haben. Zum anderen können interessierte Unternehmen die Mehrwerte und Auswirkungen digitalisierter Arbeit anhand von Beispielen aus Forschung und Industrie erfahren und konkrete Anwendungsszenarien für ihre Fragestellungen erhalten. Aus diesem Grund ist dieses Kapitel dahingehend unterteilt.

#### 4.3.2.1 Nutzen digitalisierter Arbeit bei einführenden Unternehmen

Der Nutzen bzw. der Mehrwert von digitalisierter Arbeit ist vielfältig. Sie können beispielsweise eine höhere Produktivität, eine kürzere Time-to-market, Reduzierung von Kosten, höhere Qualität, steigende Synergien, höhere Unternehmensattraktivität, bessere

**Tab. 4.2** Mittelwertunterschiede zwischem dem ersten und zweiten Messzeitpunkt hinsichtlich der Veränderungsbereitschaft der Beschäftigten

	T1		T2		$t(4)$	$p$	Cohen's $d$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$			
Veränderungsbereitschaft	3.13	0.89	3.47	0.95	3.69	.02	0.37

Anmerkung.  $N=5$ , T1 = Messzeitpunkt 1, T2 = Messzeitpunkt 2

Arbeitsbedingungen sowie Entlastung der Mitarbeiter zur Folge haben. Wie an den Beispielen zu erkennen ist, kann der Nutzen in die Dimensionen Zeit, Kosten, Qualität und Mensch eingestuft werden. Um den Mehrwert der digitalisierten Arbeit erfassen zu können, ist es notwendig, die Ausgangssituation und das Anwendungsszenario der digitalisierten Arbeit zu kennen. Aus diesem Vorher-nachher-Vergleich können daraufhin die Mehrwerte deutlich gemacht werden. Im Folgenden werden die beiden Anwendungsszenarien der Pilotprojekte HELLA (Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung) und HANNING (Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement) kurz beschrieben und deren Mehrwerte aufgezeigt.

### **Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung**

**Nutzen:** Der Nutzen des Anwendungsszenarios ist vielseitig. Welcher davon für das Unternehmen überwiegt, ist abhängig von dem jeweiligen Unternehmen und dem Anwendungsfall. Zum einen liegt ein großer Mehrwert in der Verkürzung der Time-to-market. Es muss nicht gewartet werden, bis ein physischer Prototyp erstellt wurde und vorliegt. Dies ermöglicht es, früher mit der Produktionssystemkonzipierung zu starten. Zum anderen können Kosten eingespart werden, die mit den physischen Prototypen und mit den Reisen verbunden sind. Das Anwendungsszenario ermöglicht es Mitarbeitern von anderen Standorten teilzunehmen. Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario hat neben der Verkürzung der Time-to-market und der Kostenreduktion auch den Mehrwert, dass für die Montage notwendige Produktänderungen frühzeitig identifiziert werden können. Wird beispielsweise identifiziert, dass ein Bohrloch nicht durch die Werkzeuge erreicht werden kann, kann dies bereits frühzeitig in die Konstruktion als Feedback gegeben werden.

### **Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement**

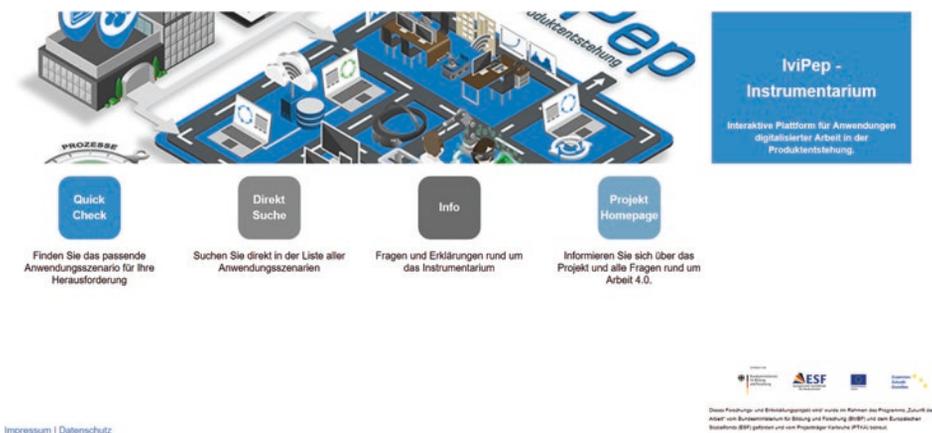
**Nutzen:** Maßgeblich ist der zeitliche Nutzen des Szenarios „Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement“ indem nicht mehr große Excel-Tabellen durchsucht werden müssen. Mit der Lösung können die Konformitätsanfragen effizienter bearbeitet werden. Darüber hinaus wird ein qualitativer Nutzen erzeugt, indem Informationsredundanzen durch den Aufbau einer „Single Source of Truth“ abgebaut werden. Über den direkten Nutzen des Szenarios kann das so entstehende Wissensnetz für weitere Anwendungsfälle genutzt werden. Beispielsweise können Ansprechpartner für bestimmte Schadstoffe oder Produkte über die Graphdatenbank identifiziert werden.

#### **4.3.2.2 Instrumentarium zur Gestaltung digitalisierter Arbeit**

Auf Basis der in der Planungs- bzw. Analysephase erstellten Anforderungen und Definitionen wurde in der Designphase ein konkretes Lösungskonzept für das Instrumentarium spezifiziert. Hierzu wurden Entscheidungen über das Verhalten und die Bedienung des Systems beschrieben [6]. Dies beinhaltet eine Konzeption der Architektur sowie der unterliegenden Logik. Darüber hinaus muss das Interface spezifiziert werden, damit eine anforderungsgerechte Benutzerinteraktion sichergestellt wird. Bei der

Konzipierung des Instrumentariums wurde in Workshops ein zweiteiliges System spezifiziert. Dies besteht zum einen aus einer Datenbank-Anwendung mit einer grafischen Benutzeroberfläche. Hierüber kann direkt auf die beschriebenen Anwendungsszenarien in einer Datenbank zugegriffen werden. Die grafische Benutzeroberfläche soll es dabei ermöglichen Filter zu erzeugen. Zum anderen besteht das System aus einem Quick-Check. Beim Quick-Check beantwortet ein Unternehmensvertreter Fragen hinsichtlich der im Unternehmen vorliegenden Herausforderungen oder Zielvorstellungen. Das System sucht im Hintergrund nach Übereinstimmungen zwischen den die eingegebenen Daten und mit den Anwendungsszenarien. Dies ermöglicht es Unternehmen, für ihre Herausforderung passende Anwendungsszenarien zu erhalten. Die Logik hinter dem Quick-Check erfolgt über eine Liste an Herausforderungen, mit denen Unternehmen in der heutigen Zeit konfrontiert werden, die mit den Kriterien aus dem Bewertungskatalog über Gewichtungsfaktoren zugeordnet werden. Somit kann ein Prozentsatz der von Übereinstimmung von Herausforderung und Anwendungsszenario errechnet werden.

Kernelement des Instrumentariums sind die **Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien**. Arbeit 4.0 konkretisiert sich in der Anwendung von digitalen Technologien in der Arbeitswelt. Hierbei wird von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien oder auch Anwendungsszenarien digitalisierter Arbeit gesprochen. Mit dem „Mixed-Mock-Up“ und dem „Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement“ wurden bereits zwei Anwendungsszenarien im Kontext der Pilotprojekte vorgestellt. In dem Projektverlauf wurden um die 100 Szenarien identifiziert, beschrieben und entsprechend der Kriterien bewertet. Ziel des Instrumentariums ist es, eine Online-Plattform bereitzustellen, die es Unternehmen ermöglicht, Potentiale zur Gestaltung der Arbeitswelt anhand von Anwendungsszenarien aus Industrie und Forschung aufzuzeigen. Hierzu werden den Unternehmen unterschiedliche **Funktionen** über eine Startseite (Abb. 4.5) zur Verfügung gestellt.



**Abb. 4.5** Einstiegsseite des IviPep-Instrumentariums (Seifert 2019)

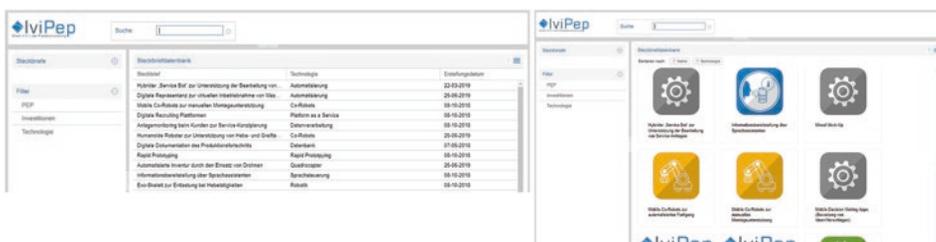
1. Quick Check: Hier wird mithilfe eines algorithmischen Abgleichs zwischen ausgewählten Herausforderungen in der Produktentstehung (wie beispielsweise Time-to-market) und den auf Kriterien basierten Bewertungen das passende Anwendungsszenario ermittelt.
2. Direksuche: Über die Direksuche kann auf die Liste bisher qualifizierter Anwendungsszenarien zugegriffen werden. Hier kann beispielsweise über eine Stichwortsuche oder die Einstellung von Filtern direkt in der Datenbank gesucht werden.
3. Projekt-Homepage: Hier können weitere Informationen über das Forschungsvorhaben IviPep und über die verschiedenen Projektpartner eingeholt werden.

Unternehmen, die sich auf der Online-Plattform befinden, werden so in die Lage versetzt, schnell und effektiv für sie maßgeschneidert passende Lösungen für Ihre Arbeit 4.0-Herausforderungen zu finden.

In der Direksuche werden unterschiedliche Navigations- und Suchansätze angeboten. Neben einer Auflistung aller Steckbriefe (die auch in einer Kachelansicht betrieben werden kann – s. Abb. 4.6) können auch Filter und freie Suchen genutzt werden, um einen passenden Steckbrief im System zu identifizieren.

Wird das freie Suchfeld genutzt, reduziert sich der Steckbriefkatalog automatisch auf die noch zutreffenden Einträge. Alternativ können die Filter genutzt werden, um den Trefferumfang bedarfsgerecht einzuschränken. Als Filter stehen aktuell zur Verfügung “PEP-Verortung”, “Investitionen” und “Technologie”. Suchen und Filter sind gekoppelt, sodass der Anwender eine gezielte Einschränkung vornehmen kann.

Die Beschreibung der Szenarien enthält zum einen die Beschreibung sowie einen beispielhaften Ablauf. Zum anderen wird die im Szenario verwendete Technologie sowie Angaben zum Nutzen/Aufwand Verhältnis, den Auswirkungen und der Kosten für das Szenario angegeben. Darüber hinaus werden die bewerteten Kriterien des Spannungsfeldes Mensch-Technik-Organisation gegeben. Die Folgende Abb. 4.7 zeigt die Präsenz der **Arbeit 4.0 Anwendungsszenarien am Beispiel des Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung.**



**Abb. 4.6** Steckbriefe links in der Listenansicht und rechts in der Kachelansicht (Seifert 2019)

**Suche:**

**Stichworte:**

**Filter:**

**Startseite** | **H O T** | **Nutzen** | **Aufwand** | **Auswirkungen** | **Handlungsempfehlungen** | **Info**

**Mixed Mock-Up**

**Kurzbeschreibung**

Bei der Erprobung neuer Montagegeräte werden physische Aufbauten mit Papier verwendet (sog. Mock-Ups). Dies ermöglicht es, die Montageabläufe vorab zu simulieren und die Montageprobleme zu erkennen. Jedoch sind die Kosten für die Herstellung dieser Aufbauten oft sehr hoch. Durch die Erprobung von Mixed Mock-Ups (MMU) können die Kosten für die Herstellung dieser Aufbauten deutlich reduziert werden.

Durch die Nutzung von 3D-Konstruktionsdaten und physischen Mock-Ups mittels AR (Augmented Reality) wird die Kommunikation zwischen Produkt- und ggf. Versuchsingenieuren erleichtert. Dadurch kann die Produktionsystemanpassung durch frühere Änderungen und Erprobungsphasen im Mock-Up signifikant.

**Technologie**

AR-Gläser

**Nutzen / Aufwand**

Der Nutzen des Anwendungsszenarios ist maßgeblich die Einsparung von Zeit. Größter Nutzenreiber ist hierbei Time-to-Market. Demgegenüber steht der Aufwand für die Einführung und Durchführung des Anwendungsszenarios, der insgesamt als moderat eingeschätzt wird. Größter Aufwandreiber ist hierbei Komplexität/Security.

**Auswirkungen**

Handlungsplanitem (Autonomie): Das Anwendungsszenario greift den Beschäftigten Handlungspläne hinsichtlich der Arbeitsergebnisse, zeitlichen Planung und dem Teilen von Entscheidungen.

Agilität: Durch das Anwendungsszenario wird die Agilität (Anpassungsfähigkeit) des Unternehmens gefördert.

**Kosten**

Die Kosten der im Anwendungsszenario beschriebenen Technologie werden als eher hoch eingeschätzt. Die Implementationskosten sind moderat und die Betriebskosten sind eher gering. Die Kosten für die Erprobung des Anwendungsszenarios sind moderat.

**Abb. 4.7** Mixed Mock-Up in der Produktionssystemplanung im Instrumentarium (Seifert 2019)

### Hintergrundinformation

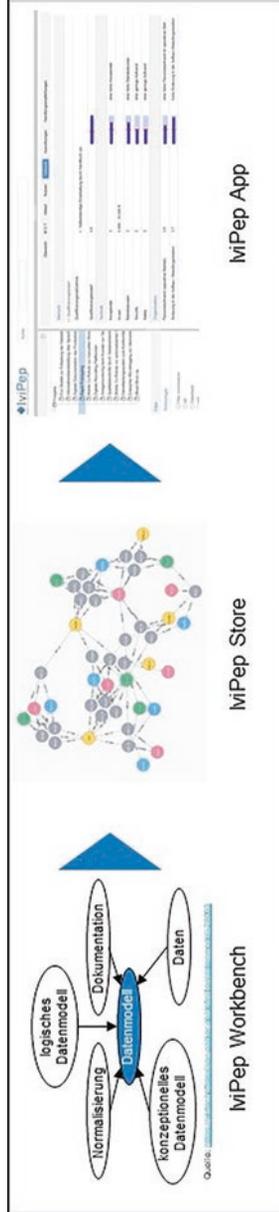
Auf welcher Basis können Szenarien identifiziert werden?

Bereits in der Vergangenheit wurden mehrere Ansätze von Leitlinien zur Bewertung von (technologischen) Systemen vorgeschlagen. Hervorzuheben sind unter anderem ein Framework für die Implementierung der additiven Fertigung [25], ein Framework für die Integration kollaborativer Roboter in fortgeschrittene Fertigungssysteme [7] oder die Erforschung von Bewertungskriterien für digitale Assistenzsysteme [8]. Die meisten der derzeitigen Rahmenbedingungen im Bereich der Digitalisierung und der cyberphysischen Systeme basieren jedoch stark auf einem rein technologischen Ansatz und vernachlässigen die Interdependenz der Technologie mit organisatorischen und menschlichen Faktoren in einem Szenario der digitalisierten Arbeit. Um also zu verstehen, wie das soziotechnische System und die hierin befindlichen Interdependenzen arbeiten, muss ein ganzheitliches Framework geschaffen werden, welches neben den technologischen Kriterien zur Technologiebewertung auch die damit verbundenen menschlichen und organisatorischen Anforderungen und Auswirkungen umfasst. Um dies zu realisieren, können beispielsweise verschiedene Szenarien digitalisierter Arbeit anhand verschiedener Kriterien bewertet werden, sodass ein Überblick über den Nutzen, die Aufwände sowie die Auswirkungen der jeweiligen Szenarien gegeben werden kann. In einem ersten Schritt zur Erreichung dieses Ziels müssen hierzu die verschiedenen Kriterien für die Dimensionen (etwa auf der Grundlage gründlicher Literaturrecherchen und Experteninterviews) ausgewählt werden. Da sich die Analyse stets auf das Gesamtkonstrukt Mensch-Organisation-Technik bezieht, ist angeraten, jeden dieser Aspekte aufzunehmen. So können die menschlichen Kriterien zum Beispiel Aspekte wie etwa die Priorisierung der Fähigkeiten im jeweiligen Szenario, die Möglichkeiten zur sozialen Interaktion oder die Aufgabenvielfalt umfassen. Die technologischen Kriterien befassen sich hauptsächlich mit hard- und softwareseitigen Aspekten wie etwa den verfügbaren und möglichen Schnittstellen, der technologischen Komplexität des Gesamtsystems sowie den monetären Aufwänden für Anschaffung, Installation und Instandhaltung der Hardware. Unter die organisatorischen Kriterien fallen unter anderem die Position des Szenarios im Produktentstehungsprozess, die Auswirkungen der technologischen Änderungen auf den Time-to-Market eines Produktes sowie die generelle Unternehmenskultur in Hinblick auf Innovationsförderung und Agilität.

**Grundkomponenten und Architektur des Instrumentariums:** Aus Anwendungssicht verfügt die Online-Plattform neben der Wissensbasis über eine Erfassungsschnittstelle und eine Rechterschnittstelle, die unter anderem für den Quick-Check genutzt wird.

Im Ergebnis wurde eine Zielarchitektur für die "Wissensdatenbank" erarbeitet. Diese sieht drei grundlegende Komponenten vor Abb. 4.8

- Erfassungs- und Modellierungswerkzeug „*IviPep Workbench*“
  - setzt das konzipierte Datenmodell für das Instrumentarium um
  - Importschnittstellen: CSV, Excel, Datenbank
  - händische Pflege möglich, ggf. auch mit einer vereinfachten Benutzeroberfläche
  - Dashboarding
- Datenablage für das Instrumentarium „*IviPep Store*“
  - Importschnittstellen: XML, Datenbank (Cypher)



**Abb. 4.8** Grundkomponenten der Zielarchitektur (Seifert 2019)

- Datenverteilungs- und Rechercheplattform „*IviPep App*“
  - Datenabruf über eine REST API
  - Bereitstellung einer intuitiv bedienbaren Web-Applikation

Das IviPep Datenmodell sowie die notwendigen Publikationsstrukturen werden in der *IviPep Workbench* über Modellierungswerkzeuge (myview xmedia DataManager und myview xmedia ViewEditor) aufgebaut. Im Kern wurden die IviPep-Inhalte in einem generischen Datenmodell abgebildet. Die Nutzung der Modellierungswerkzeuge der *IviPep Workbench* erlaubte ein frühzeitiges Abstimmen von prototypischen Modellierungen im Konsortium. Die Verbindung zwischen der *IviPep Workbench* und dem *IviPep Store* wird über einen XML basierten Daten-Synchronisationsmechanismus geschaffen, der einen automatisierten Publikationsprozess zwischen den beiden Systemen umsetzt.

**Wissensdatenbank:** Die eigentliche Wissensdatenbank besteht aus den beiden Komponenten „*IviPep Store*“ und „*IviPep App*“: Der „*IviPep Store*“ basiert auf XOM. one als eine innovative "Backend as a Service" Infrastruktur (BaaS) für die Publikation vernetzter Unternehmensdaten mit einer flexiblen REST API. Der Systemkern besteht aus einer Neo4J Graphdatenbank und einem Java/Spring Systemkern. Die Anwendungslogik in Form der „*IviPep App*“ wurde auf Basis der REST API mit Webtechnologien (ExtJS von Sencha) aufgebaut. Die Bereitstellung der App wird auf einem öffentlich zugänglichen System erfolgen.

**IviPep Workbench:** Die Steckbriefe werden in der Workbench als einzelne Datensätze angelegt und können über Importschnittstellen bespielt werden. Ebenso ist eine Massendatenpflege der einzelnen Einträge über eine Grid-Funktion möglich. Nach erfolgter Anlage der Steckbriefe und detaillierter Befüllung der einzelnen Informationseinheiten werden die Steckbriefe in der Steckbriefsammlung arrangiert und für eine Veröffentlichung gekennzeichnet. Das gleiche Verfahren wird für den Aufbau des Technologiebaumes angewendet. Auch hier entsteht eine hierarchische Struktur. Ein Steckbrief ist dann jeweils mit einer Technologie verknüpft. Über die Workbench wird dann schließlich auch der XML basierte Daten-Synchronisationsmechanismus angestoßen, der den automatisierten Publikationsprozess zwischen den beiden Systemen umsetzt. Nach dem erfolgreichen Staging stehen die aktualisierten Daten im IviPep Store für die IviPep Apps zur Verfügung.

### Hintergrundinformation

Wie können Szenarien quantifiziert und aufbereitet werden?

Es ist schwierig allgemeingültige Aussagen über die korrekte Aufbereitung und Quantifizierung von Daten zu geben, insbesondere wenn der zu untersuchende Gegenstand aus mehreren, teilweise interdependenten Faktoren (wie Mensch-Technik-Organisation) besteht. In der Regel bietet es sich an, auf bestehende Forschung zurückzugreifen, die sich mit gleichen oder ähnlichen Fragen befasst. In dem hier beschriebenen Instrumentarium wird jedes Kriterium durch einen oder mehrere Faktoren repräsentiert, die die verschiedenen Kernaspekte abdecken. Insgesamt wurden so alle 24 Kriterien mit Faktoren versehen, welche

(in Form bilateraler Ja/Nein-Abfragen, 5-Point-Likert-Skalen oder Einfach- bzw. Mehrfachauswahl) bewertet werden konnten und somit einen Endwert für das jeweilige Kriterium ausgeben konnten. Wenngleich es über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinausgeht, den gesamten Herleitungsprozess der Kriterien zu beschreiben, so sind an dieser Stelle einige Vorarbeiten zu nennen, welche maßgeblich für die Auswertung der Daten genutzt wurden (s. auch [18]). In Hinblick auf die Bewertung der menschlichen Dimension sind hier insbesondere die Vorarbeiten von Fleishmann und Quaintance [10] für die Klassifizierung der Anforderungen sowie der Work- Design- Questionnaire [35, 41] für die Erfassung des Handlungsspielraums und der Möglichkeiten der sozialen Interaktion der Beschäftigten zu nennen. Für die Bewertung der technologischen Faktoren ist das Modell der technologischen Reife zu nennen, welches eine einfache, jedoch sehr effektive Klassifizierung einer Technologie basierend auf dem aktuellen Entwicklungsstand gibt. Im Weiteren konnten die Vorarbeiten von Saleh [32] im Rahmen der Datenauswertung genutzt werden, um die Aufwände für die Arbeitssicherheit und Cybersecurity der Technologie zu quantifizieren. Für die organisatorische Dimension sind an dieser Stelle insbesondere die Vorarbeiten hinsichtlich der Klassifizierung des Produktentstehungsprozesses [12] sowie Vorarbeiten bzgl. der für die Ein- und Durchführung eines Szenarios benötigten Kompetenzen [16] zu nennen.

### 4.3.3 Beitrag zu übergeordneten Zielen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse beschrieben, die zu den Zielen der Bekanntmachung "Arbeit in der digitalisierten Welt" im Forschungs- und Entwicklungsprogramm "Zukunft der Arbeit" als Teil des Dachprogramms "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" beitragen. Dies sind Ergebnisse die zum Breitentransfer und der Entwicklung der Gesellschaft beitragen. In dem Forschungsvorhaben „IviPep – Arbeit 4.0 in der Produktentstehung“ ist dies maßgeblich das **Instrumentarium**, in dem die Ergebnisse des gesamten Projektes gebündelt werden und das interessierten Unternehmen die Möglichkeit bietet, die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt zu nutzen. Die im Instrumentarium zusammengefassten Erkenntnisse und Szenarien dienen Unternehmen als Orientierungshilfe und Inspiration für die Herangehensweise an Herausforderungen in der Produktentwicklung mit digitalen Technologien.

---

## 4.4 Lessons learned

Basierend auf den bereits o. g. Aspekten und Schwerpunkten, welche in einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt gesetzt werden sollten, sollen an dieser Stelle insbesondere die Faktoren genannt werden, welche aus unserer Sicht einen maßgeblichen Einfluss auf den Projekterfolg gehabt haben und für weitere Vorgehen zu beachten sind:

Als erster Punkt ist hierbei die ganzheitliche Einbindung der Stakeholder in die Prozesse zu nennen. Bereits in der Literatur wird die Einbindung von sämtlichen Personen, welche an einem Prozess beteiligt sind, als förderlich für die Projektarbeit gesehen [4, 20]. Hierbei sind die Art und der Umfang der Beteiligten abhängig von der Rolle der Personen

im Projekt zu erörtern. Eine klare Definition der Rollen sowie eine Sichtung der einzelnen Teilnehmer und Personenkreise haben sich auch im vorliegenden Projekt als zielführend herausgestellt. Wenngleich dieses Vorgehen auch durch den eingebundenen Personenkreis als positiv eingestuft wurde, da eine höhere Transparenz des Projektfortschritts herrschte, so ist zu nennen, dass ein solches Vorgehen eine frühzeitige Organisation und zusätzlich aufkommenden Verwaltungsaufwand zur Folge haben kann. Jedoch würden wir dieses Vorgehen, insbesondere für weitere Projekte mit einem ähnlich großen und interdisziplinär aufgestellten Konsortium anraten.

Einhergehend mit der Einbindung der Mitarbeiter ist auch das Sensibilisierungspotential der im Projekt vollzogenen Arbeiten zu nennen, da durch das „Ausprobieren“ einer digitalen Technologie, insbesondere, wenn diese im Kontext der eigenen Arbeit eingesetzt werden soll, Ängste vor selbiger abgebaut werden können [22, 45]. Zeitgleich kann auch der Kontakt mit einer bis dato unbekanntem Technologie die Ideengenerierung durch die zuständigen Mitarbeiter fördern, da hierbei die Darstellung technologischer Möglichkeiten mit Expertenwissen und Wissen über bestehende Herausforderungen kombiniert und der Lösungsweg aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden kann [38]. Für folgende Projekte, welche einen ähnlich technologischen Fokus wie das Projekt IviPep haben, empfehlen wir daher auch bereits in einem frühen Stadium mit der Exposition ausgewählter Technologien zu beginnen. Ein hierbei wichtiger und nicht zu unterschätzender Aspekt sind zudem regelmäßige Tests der jeweiligen Technologien. Diese dienen zum einen der Qualitätskontrolle.

Beispielsweise wurde das Testen im Falle des Instrumentariums dazu genutzt, etwaige Softwarefehler zu erkennen und Maßnahmen zur Behebung abzuleiten. Hierbei hat sich aus unserer Sicht das sog. Unit Testing, eine gängige Methode in agilen Projekten (bzw. Projekten mit einer iterativen Vorgehensweise) als sehr effektiv herausgestellt. In jedem durchgeführten Test wurden in erster Linie nur die Weiterentwicklungen aus der vorherigen Implementierungsphase gegenüber der vorherigen Softwareversion getestet (vgl. [2]). Die neuen Funktionen oder Systemkomponenten wurden in den regelmäßigen Abstimmungsterminen getestet. Darüber hinaus wurden Integrations- und Akzeptanztests durchgeführt. Die Systemfunktionalitäten wurden hierbei aus Sicht des Kunden bzw. Anwenders und dem erwarteten Verhalten überprüft.

Auch in der gemeinsamen Arbeit der Forschungspartner hat sich der interdisziplinäre Ansatz des Projektes als zielführend herausgestellt. Vor dem Hintergrund, dass die verschiedenen Forschungspartner jeweils andere Schwerpunkte (Mensch, Organisation, Technik) setzen konnten, konnte eine ganzheitliche Betrachtung der jeweiligen Szenarien digitalisierter Arbeit erfolgen. Ebenso konnte viel Rückmeldung über die Partner der Pilotprojekte sowie die bestehenden Netzwerke der Projektpartner eingeholt werden. Für Folgeprojekte, welche sich im Kontext des Themenfeldes Industrie 4.0/Arbeit 4.0 bewegen, empfehlen wir ein ähnlich interdisziplinäres Vorgehen. Hierbei sollte sichergestellt werden, dass das Konsortium von Beginn an mit einem interdisziplinären Fokus gebildet wird, jedoch auch den (wahrscheinlich kleineren) Arbeitsgruppen im späteren Projektverlauf Zugang zu etwaigen Netzwerken und/oder Kontaktpersonen zugänglich gemacht wird. Als letzte Lesson learned ist zu nennen, dass die Arbeit mit neuen und

innovativen Technologien oftmals ein gewisses technisches Risiko mit sich bringt und die Arbeit nur bedingt planbar ist. Hierbei ist unser Anraten, dass die Vorgehensweise entsprechend flexibel gestaltet wird, sodass auf vor dem Projekt noch nicht bekannte oder berechenbare Faktoren entsprechend reagiert werden kann.

---

## Literatur

1. Bansmann M, Foullois M, Röltgen D, Wöste L, Dumitrescu R (2019) Reference architecture and classification of technology-induced scenarios of digitized work. In: 28th IAMOT International Conference of the International Association for Management of Technology. Mumbai, Indien
2. Baumgartner M, Klöckl M, Pichler H, Seidl R, Tanczos S (2017) Agile testing: Der agile Weg zur Qualität. Carl Hanser, München
3. Bentler D, Mlekus L, Paruzel A, Bansmann M, Foullois M, Jenderny S, Woeste L, Dumitrescu R, Röcker C, Maier GW (2019) Einführung von Augmented Reality in der Produktentstehung. Technische Realisierung und Change-Management als Erfolgsfaktor für den Veränderungsprozess. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten, Beitrag C.9.2
4. Blanke B, Schridde H (2001) Wenn Mitarbeiter ihre Orientierung verlieren. Change Management und Verwaltungskultur im Lichte einer Mitarbeiterbefragung in der Landesverwaltung Niedersachsen. German Journal of Human Resource Management 15(3): 336–356. doi: <https://doi.org/10.1177/239700220101500308>
5. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2015) Grünbuch Arbeiten 4.0
6. Davis WS (1983) Systems analysis and design: A structured approach. Addison-Wesley, Reading, MA.
7. Djuric AM, Urbanic RJ, Rickli JL (2016) A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems. SAE International Journal of Materials and Manufacturing 9(2): 457–464. doi: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0337>
8. Erol S, Schumacher A, Sihm W (2016, January). Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model. In: International Conference on Competitive Manufacturing. Stellenbosch, South Africa, S 495–501
9. Flanagan JC (1954) The critical incident technique. Psychological Bulletin 51(4): 327–358. doi: <https://doi.org/10.1037/h0061470>
10. Fleishman EA, Quaintance MK, Broedling LA (1984) Taxonomies of human performance: The description of human tasks. Academic Press, Cambridge, MA
11. Gausemeier J, Tschirner C, Dumitrescu R (2013) Der Weg zu intelligenten technischen Systemen. Industrie Management 29(1): 49–52
12. Gausemeier J, Czaja A, Dülme C (2015) Innovationspotentiale auf dem Weg zu Industrie 4.0. In: Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme 2015, 10. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme
13. Gausemeier J, Dumitrescu R, Echterfeld J, Pfänder T, Steffen D, Thielemann F (2018) Innovationen für die Märkte von morgen: Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Carl Hanser, München
14. Gergs, HJ (2016) Neue Herausforderungen an das Change Management. In: Geramanis O, Hermann K (Hrsg) Führen in ungewissen Zeiten. Springer Gabler, Wiesbaden, S 189–203
15. Hassenzahl M (2018). The thing and I: understanding the relationship between user and product. In: Blythe MA, Overbeeke K, Monk AF, Wright PC (Hrsg) Funology. Springer, Dordrecht, S 31–42

16. ten Hompel M, Anderl R, Gausemeier J, Meinel C, Schildhauer T, Beck M (2016) Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen.
17. Humphrey SE, Nahrgang JD, Morgeson FP (2007). Integrating motivational, social, and contextual work design features: A meta-analytic summary and theoretical extension of the work design literature. *Journal of Applied Psychology* 92(5): 1332–1356. doi: <https://doi.org/10.1037/0021-9010.92.5.1332>
18. Jenderny S, Foullois M, Kato-Beiderwieden A-L, Bansmann M, Wöste L, Lamß J, Maier GW Röcker C (2018) Development of an instrument for the assessment of scenarios of work 4.0 based on socio-technical criteria. In: Proceedings of the 11th PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Conference. Korfu, Kreta, S 319–326
19. Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2013) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0
20. Koch A, Westhoff K (2012) Task-Analysis-Tools (TAToo): Schritt für Schritt Unterstützung zur erfolgreichen Anforderungsanalyse. Pabst, Lengerich
21. Kohnke O (2005) Change Management als strategischer Erfolgsfaktor bei ERP-Implementierungsprojekten. In: Kohnke O, Bungard W (Hrsg) SAP-Einführung mit Change Management. Konzepte, Erfahrungen und Gestaltungsempfehlungen. Springer Gabler, Wiesbaden, S 37–62
22. Leski S (2009) Instrumente und Maßnahmen zur Überwindung von Akzeptanzproblemen bei Change Prozessen. Diplomarbeit, Fachhochschule Mittweida.
23. Longhurst R (2003) Semi-structured interviews and focus groups. In: Clifford NJ, Valentine G (Hrsg) Key Methods in Geography. Sage, London, Thousand Oaks, CA, S 117–129.
24. Mellor S, Hao L, Zhang D (2014) Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics* 149: 194–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.008>
25. Mlekus L, Bentler D, Paruzel A, Kato-Beiderwieden A-L, Maier GW (eingereicht). How to raise technology acceptance at work: Technology-inherent determinants.
26. Mlekus L, Schlicher K, Maier GW (2017) Kompetenzverlust oder Qualifizierungsbedarf – Welche Anforderungen stellt die digitale Arbeitswelt an Beschäftigte aus Produktion und Logistik? Präsentiert auf der 10. Tagung der DGPs-Fachgruppe Arbeits-, Organisations- und Wirtschaftspsychologie, Dresden
27. Neugebauer R (2017) *Digitalisierung*. Springer, Berlin
28. Paruzel A, Bentler D, Schlicher K, Nettelstroth W, Maier GW (2019) Employee first, technology second: Implementation of smart glasses in a manufacturing company. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O*
29. Peek N, Coleman J (2015) Design machines. In: SIGGRAPH 2015: Studio, Los Angeles, CA
30. Rammer C, Niebel T, Schulte P, Rachidi T, Weinzierl M, Schörner F (2014) Monitoring-Report Digitale Wirtschaft. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-digitale-wirtschaft-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-digitale-wirtschaft-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=5). Zugegriffen: 4. September 2019
31. Saleh MF (2011) The three dimensions of security. *International Journal of Security (IJS)* 5(2): 85–93.
32. Schlagowski H (2015) Technische Dokumentation im Maschinen-und Anlagenbau: Anforderungen. Beuth, Berlin
33. Schrepp M (2019) User Experience Questionnaire handbook. All you need to know to apply the UEQ successfully in your projects. <https://www.ueq-online.org/Material/Handbook.pdf>. Zugegriffen: 22. Oktober 2019
34. Somers TM, Nelson K (2001) The impact of critical success factors across the stages of enterprise resource planning implementations. In: Proceedings of the 34th Annual

- Hawaii International Conference on System Sciences. doi: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2001.927129>
35. Steinle C, Eggers B, Ahlers F (2008) Change Management: Wandlungsprozesse erfolgreich planen und umsetzen. Rainer Hampp, München
  36. Ulich E (2011) Arbeitspsychologie. vdf Hochschulverlag, Zürich
  37. Velez R, Lord B (2017) Das Aufeinandertreffen von Medien, Technologie und Kreativität. In: Velez R, Lord B (Hrsg) Erfolgsrezept Konvergenz – gemeinsam innovativ. Springer Gabler, Wiesbaden, S 11–25
  38. Venkatesh V, Bala H (2008) Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences* 39(2): 273–315. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
  39. Wrobel S (2012) Big Data – Vorsprung durch Wissen. Studie des Fraunhofer Instituts IAIS. [https://www.iais.fraunhofer.de/content/dam/iais/gf/bda/Downloads/Innovationspotenzialanalyse\\_Big-Data\\_FraunhoferIAIS\\_2012.pdf](https://www.iais.fraunhofer.de/content/dam/iais/gf/bda/Downloads/Innovationspotenzialanalyse_Big-Data_FraunhoferIAIS_2012.pdf). Zugegriffen: 4. September 2019
  40. DIN, E. (2004) ISO/IEC 17000: Konformitätsbewertung–Begriffe und allgemeine Grundlagen (ISO/IEC 17000: 2004). Dreisprachige Fassung EN ISO/IEC, 17000.
  41. Morgeson FP, Humphrey SE (2006) The Work Design Questionnaire (WDQ): Developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. *Journal of Applied Psychology* 91(6): 1321–1339. doi: <https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.6.1321>
  42. Turner M, Kitchenham B, Brereton P, Charters S, Budgen D (2010) Does the technology acceptance model predict actual use? A systematic literature review. *Information and Software Technology* 52(5): 463–479. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.11.005>
  43. Somers TM, Nelson K (2001) The impact of critical success factors across the stages of enterprise resource planning implementations. In: Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. doi: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2001.927129>
  44. Umble EJ, Haft RR, Umble MM (2003) Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. *European Journal of Operational Research* 146(2): 241–257. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00547-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00547-7)
  45. Wahlmüller-Schiller C (2017) Ohne Bildung 4.0 keine Industrie 4.0. <https://blog.ocg.at/2016/05/smart2016/>. Zugegriffen: 4. September 2019

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Integration eines digitalen Assistenzsystems für die industrielle Montage

# 5

Thimo Keller, Christian Bayer, Joachim Metternich, Mehrach Saki, Stephanie Schmidt, Oliver Sträter, Wolfgang Anlauff und Hans-Dieter Hartwich

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt das Forschungsprojekt IntAKom (Intelligente Aufwertung der manuellen und teilautomatisierten Arbeit durch den Einsatz digitaler Kommunikationstechnologie) welches in Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie konstruktive Ansätze guter digitaler Assistenz in der Produktion entwickelt und erprobt. Die Vorgehensweise wird an einem Anwendungsbeispiel aufgezeigt. Es wird beschrieben, wie das digitale Assistenzsystem in das Arbeitsumfeld integriert wurde. Gerade bei einer hohen Produktvielfalt erhöht sich die Komplexität

---

T. Keller · C. Bayer (✉) · J. Metternich  
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen,  
Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland  
E-Mail: [c.bayer@PTW.TU-Darmstadt.de](mailto:c.bayer@PTW.TU-Darmstadt.de); [t.keller@PTW.TU-Darmstadt.de](mailto:t.keller@PTW.TU-Darmstadt.de);  
[j.metternich@PTW.TU-Darmstadt.de](mailto:j.metternich@PTW.TU-Darmstadt.de)

M. Saki · S. Schmidt · O. Sträter  
Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel,  
Kassel, Deutschland  
E-Mail: [m.saki@uni-kassel.de](mailto:m.saki@uni-kassel.de); [stephanie.schmidt@uni-kassel.de](mailto:stephanie.schmidt@uni-kassel.de);  
[oliver.straeter@uni-kassel.de](mailto:oliver.straeter@uni-kassel.de)

W. Anlauff · H.-D. Hartwich  
ffw GmbH – Gesellschaft für Personal- und Organisationsentwicklung,  
Nürnberg, Deutschland  
E-Mail: [anlauff@ffw-nuernberg.de](mailto:anlauff@ffw-nuernberg.de); [hartwich@ffw-nuernberg.de](mailto:hartwich@ffw-nuernberg.de)

in der Produktion. Die Beschäftigten können so durch den Einsatz digitaler Assistenzsysteme bei der Bewältigung der steigenden Anforderungen unterstützt werden. Darüber hinaus wird die Vorgehensweise zur Zielerreichung aus Sicht der Prozess-, Beschäftigten-, und Organisationsebene dargestellt und erste Projektergebnisse aufgezeigt. Auch die Erfolgsfaktoren für die Einführung eines digitalen Assistenzsystems werden abschließend in Form von Lessons learned formuliert.

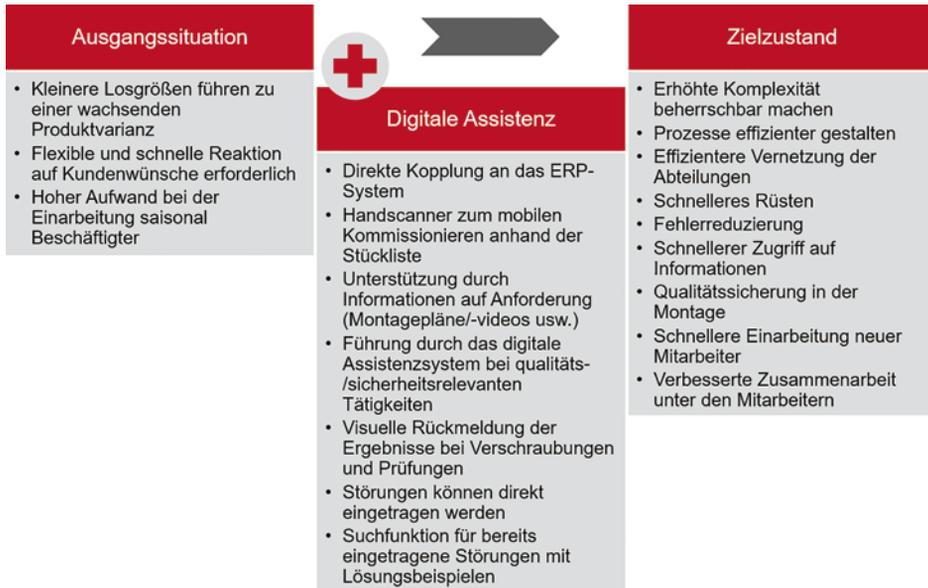
---

## 5.1 Anwendungsbeispiel

Aufgrund sinkender Losgrößen und einer steigenden Produktvarianz stehen viele Unternehmen vor der Herausforderung, flexibel und schnell auf Kundenwünsche zu reagieren. Um diese Flexibilität zu erreichen, müssen Arbeitsbedingungen, technische Prozesse und die Arbeitsorganisation verbessert bzw. angepasst werden. Die Umsetzung kann durch digitale Lösungen erfolgen. Abb. 5.1 stellt die Herausforderungen und die Erreichung der Ziele durch digitale Assistenz exemplarisch für ein Verbundunternehmen des IntAKom-Projekts dar.

Das Verbundunternehmen verfügt über ein umfangreiches Produktportfolio, um individuelle und energieeffiziente Lösungen auf dem Markt anzubieten. Aufgrund der Vielfalt von Produktbaureihen wurde ein digitales Assistenzsystem für den Montagearbeitsplatz eingeführt, um die Qualität der Produkte sicherzustellen und schnell auf Kundenwünsche reagieren zu können. Außerdem wird angestrebt, die Beschäftigten bei der resultierenden Komplexität aufgrund der Variantenvielfalt im Bereich der Montage zu unterstützen. Ein weiteres Ziel der Digitalisierungsmaßnahmen im Bereich der Endmontage ist die effizientere Gestaltung der technischen Prozesse, um dadurch z. B. unproduktive Aufgaben zu reduzieren und die Kommunikation mit anderen Abteilungen durch besser vernetzte Schnittstellen zu erhöhen.

Das digitale Assistenzsystem unterstützt die Beschäftigten bei der Vormontage und der Prüfung bis hin zum Verpacken des Produktes. Die Montageinsel ist in U-Form aufgebaut und mit verschiedenen Technologien ausgestattet. Berührungsbildschirme, Tablets, kabellose Handscanner und eine moderne Prüftechnik unterstützen die Beschäftigten in ihrer Tätigkeit. Das digitale Assistenzsystem ist direkt mit dem ERP-System verbunden und bezieht darüber die Daten zu den Aufträgen. Hier können die Beschäftigten ihre Aufträge eigenständig direkt am Arbeitsplatz auswählen. Bereits bei der Vorbereitung/beim Rüsten des Arbeitsplatzes unterstützt das Assistenzsystem. Eingesetzt werden Handscanner, um eine digitale Stückliste abzuarbeiten. Die digitale Stückliste wird beim Buchen des Auftrags direkt im System zur Verfügung gestellt. Die Beschäftigten können die benötigten Teile des Auftrags direkt vor Ort abschnappen und so unnötige Suchprozesse durch



**Abb. 5.1** Herausforderungen und Erreichung der Ziele durch den Einsatz eines digitalen Assistenzsystems. (Eigene Darstellung)

fehlerhaftes und/oder Übersehen von Teilen vermeiden, da das System die gescannten und die noch ausstehenden Teile anzeigt. Während der Montage kann das System die Beschäftigten unterstützen, führt diese jedoch im Sinne eines klassischen Werkerführungssystems ausschließlich bei qualitätskritischen Prozessschritten. Die Beschäftigten können sich die Montageschritte vor Ort anzeigen lassen und werden vom Assistenzsystem nicht durch jeden einzelnen Schritt geführt. Dadurch soll vermieden werden, dass die Tätigkeiten Schritt für Schritt vorgegeben und somit kleinteiliger und monotoner werden. Alle benötigten Informationen, wie Montagepläne, Montagevideos usw., sind im System hinterlegt und können direkt vor Ort abgerufen werden. Hierdurch wird eine schnellere Einarbeitung der Beschäftigten bei neuen Produkten ermöglicht. Aber auch bei neuen Beschäftigten können so schnellere Einarbeitungszeiten erzielt werden.

Die Schraubprogramme werden zu Beginn des Auftrags eingestellt und die Ergebnisse der qualitätskritischen Verschraubungen in Echtzeit angezeigt und in einer Datenbank hinterlegt. Auch bei der Prüfung werden die Beschäftigten durch Informationen über den Prüfprozess und den Prüfstatus direkt am Arbeitsplatz durch eine visuelle Anzeige geführt, da diese Schritte sicherheits- und qualitätsrelevant sind. Durch die visuelle Rückmeldung und die Sicherung der Schrauben- und Prüfergebnisse können keine qualitäts- und sicherheitsrelevanten Fehler auf die Beschäftigten zurückgeführt werden.

Verschiedene Fehler und Probleme können von den Beschäftigten in das System als Störungen eingetragen werden. Diese und auch mögliche Lösungen und Anmerkungen sind für andere Beschäftigte einsehbar. Liegt eine Störung vor, kann im ersten Schritt die Suchfunktion für Störungen genutzt werden, um bereits eingetragene Lösungsvorschläge zu erhalten und die Störung direkt innerhalb der Linie ohne eine zusätzliche Person zu lösen. Des Weiteren kann der Meister mithilfe des Assistenzsystems den Stand in der Linie überwachen und sogar hochgerechnete Vorhersagen der Kennzahlen in den einzelnen Stationen über die Schicht erzeugen.

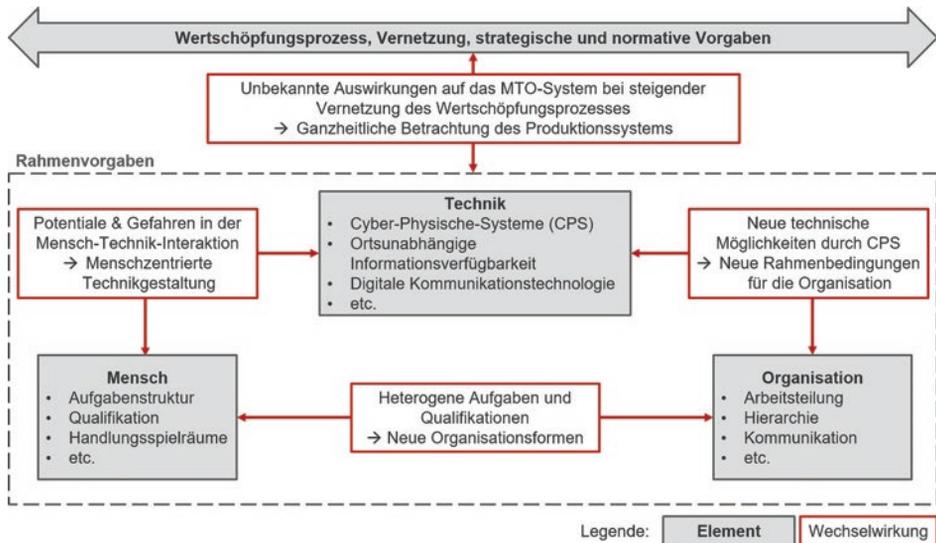
---

## 5.2 Projekthintergrund

Die Digitalisierung der Produktion und der Produktionsarbeitsplätze hat unter dem Schlagwort Industrie 4.0 eine weitere Beschleunigung erfahren. Experten prognostizieren große Verbesserungspotentiale, v. a. im Bereich der Flexibilisierung und Individualisierung der Produkte und der zugehörigen Produktion. Beispielsweise wird von Einsparungen bei Bestands-, Fertigungs-, Logistik-, Komplexitäts-, Qualitäts- und Instandhaltungskosten ausgegangen [4]. Neben den neuen technischen Möglichkeiten zur Umgestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken werden die Auswirkungen auf die Beschäftigten in den produzierenden Betrieben oft nur am Rande betrachtet. Jedoch werden die unter dem Begriff Industrie 4.0 beschriebenen Entwicklungen massive Auswirkungen auf die industrielle Arbeit, ihre Organisationsformen sowie die Kompetenzanforderungen der Belegschaften haben [1]. Für ein tieferes Verständnis der zu Grunde liegenden Wirkmechanismen hilft es, Produktion als sozio-technisches System darzustellen (siehe Abb. 5.2). Diese Darstellung erlaubt es, die Zusammenhänge zwischen den technischen, personellen, organisatorischen sowie strategischen Aspekten der Produktion systematisch darzustellen und zu analysieren.

Aufgrund der starken Wechselwirkungen genügt es nicht, die Elemente isoliert zu betrachten und die jeweiligen Teilbereiche lokal zu verbessern. Für ein ganzheitliches Verständnis des sozio-technischen Produktionssystems spielen vielmehr die Schnittstellen zwischen den genannten Elementen eine entscheidende Rolle.

Das Forschungsprojekt IntAKom (Intelligente Aufwertung der manuellen und teilautomatisierten Arbeit durch den Einsatz digitaler Kommunikationstechnologie) strebt die Entwicklung guter digitaler Assistenzsysteme für die Beschäftigten an. Durch die Assistenz soll die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten in Bezug auf die Arbeitsaufgabe erhalten oder gar gesteigert werden. Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung, Erprobung und Dokumentation eines übertragbaren Modells zur systematischen und ganzheitlichen Aufwertung von manuellen und teilautomatisierten Arbeitssystemen in der Produktion durch digitale Kommunikationstechnologie. Durch den Einsatz digitaler Medien als Assistenzsysteme sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, Arbeitsinhalte zu erweitern, anzureichern und innovative Arbeitsstrukturierungskonzepte wie Job-Rotation zu fördern. Darüber hinaus sollen die Beschäftigten stärker an der Beseitigung von



**Abb. 5.2** Elemente und Wechselwirkungen in einem sozio-technischen System. (Eigene Darstellung in Anlehnung an [8] und [13])

Fehlern und Störungen beteiligt werden, und die dabei gewonnenen Erfahrungen strukturiert in die Verbesserung der Prozesse einfließen.

Die Interdisziplinarität der Thematik erfordert eine enge Zusammenarbeit unterschiedlicher wissenschaftlicher Fachgebiete. Das wissenschaftliche Konsortium, bestehend aus dem Fachgebiet für Arbeits- und Organisationspsychologie der Universität Kassel, der Gesellschaft für Personal- und Organisationsentwicklung und dem Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt, vereint das erforderliche Fachwissen in den Bereichen Mensch, Organisation, Technik und Wertschöpfungsprozess.

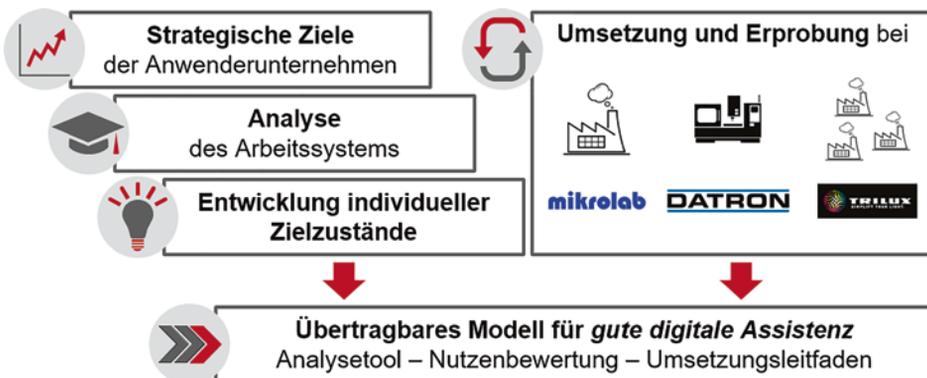
Neben der Kooperation zwischen Experten der wissenschaftlichen Disziplinen ist eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie erforderlich, um technische und organisatorische Lösungen zur Aufwertung von Arbeit in der Produktion in die praktische Anwendung zu bringen. Die Expertise für den Einsatz moderner Kommunikationstechnologie und die softwareseitige Gestaltung der digitalen Medien steuert das auf Digitalisierungsprojekte spezialisierte Softwareunternehmen Bright Solutions bei. Die beteiligten Verbundunternehmen, deren Produktionsumgebungen im Rahmen des Projektes betrachtet werden, bringen das entscheidende Wissen zu den Produktionsprozessen und Beschäftigten mit. Bei der Zusammenstellung des Konsortiums wurden Unternehmen unterschiedlicher Branchen und Betriebsgrößen ausgewählt. Durch die Betrachtung der Fertigung eines KMU in der Elektronikbranche (mikrolab), der Produkte eines Werkzeugmaschinenherstellers (DATRON) sowie der Leuchtenendmontage eines Konzerns (Trilux) werden unterschiedliche

Rahmenbedingungen und Zielstellungen berücksichtigt. Die Vielseitigkeit der Verbundunternehmen unterstützt die Interdisziplinarität des Vorhabens, da die jeweiligen Unternehmensvertreter eine hintergrundgeprägte und damit heterogene Sicht der Dinge auf die entwickelten Konzepte einbringen. Die Leitung des Projekts liegt beim PTW.

Das Gesamtprojekt umfasst im Wesentlichen vier Phasen. Zunächst wurden in jedem Unternehmen repräsentative Produktionsprozesse anhand einer interdisziplinären Analyse untersucht, um die Ist-Situation und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Anhand dieser Erkenntnisse wurden hinsichtlich vorab bestimmter Qualitätskriterien in jedem Verbundunternehmen spezifische Zielzustände definiert, um anschließend Konzepte zur komplementären Arbeitsgestaltung zu entwickeln. Die entwickelten Gestaltungsmaßnahmen wurden in Pilotprojekten in den Fertigungsumgebungen umgesetzt und evaluiert. Abb. 5.3 skizziert die Vorgehensweise des Forschungsprojektes:

Die These der Autoren ist, dass eine Aufwertung und Anreicherung der Arbeitsinhalte am Arbeitsplatz Shopfloor durch digitale Assistenzsysteme zur Erreichung der strategischen Ziele und somit zur Effizienzsteigerung des Wertstroms führt. Durch eine gute digitale Assistenz für Beschäftigte mit wertschöpfenden Tätigkeiten wird deren Leistungsfähigkeit und somit auch die des Wertschöpfungsprozesses gesteigert. Um diese These zu bestätigen, wurden unterschiedliche, repräsentative Arbeitsprozesse vor und nach der Aufwertung mittels einer quantitativen Nutzenbewertung analysiert. Für die definierten Arbeitsprozesse (z. B. Fertigung, Materialbereitstellung, Montage oder Problemlösung) wurden anschließend übertragbare Verbesserungsansätze entwickelt.

Die entwickelten Methoden sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt wurden in einem Handbuch für „gute digitale Assistenz“ zusammengefasst, um die Projektergebnisse für weitere Unternehmen nutzbar zu machen. Die übertragbaren und erprobten Methoden bilden hierbei neben den umgesetzten Lösungen die Basis des Handbuchs.

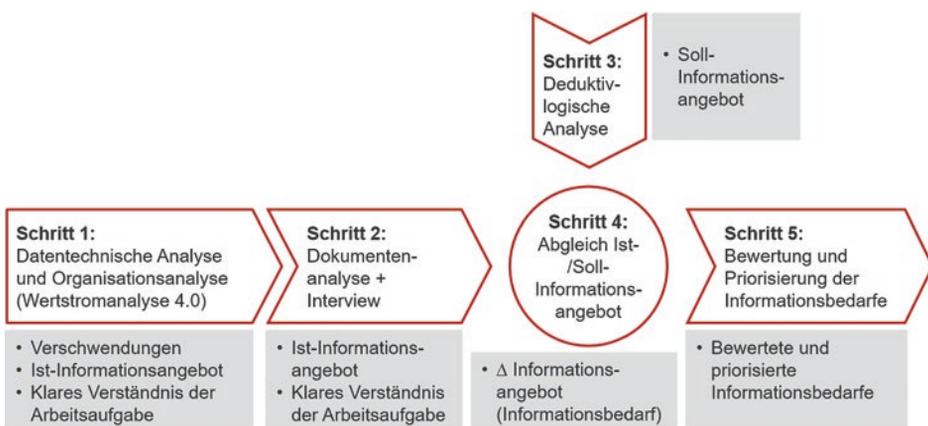


**Abb. 5.3** Vorgehensweise beim Forschungsprojekt IntAKom. (Eigene Darstellung)

### Vorgehensweise zur Zielerreichung

Die Unternehmenspartner in dem Projekt IntAKom zielen mit der Entwicklung und Einführung eines digitalen Assistenzsystems auf die Steigerung der Produktivität der Montagebeschäftigten ab. Konkret sollen Fehler vermieden, die Qualität gesteigert und unproduktive Aufgaben reduziert werden. Der erste Schritt zur Einführung eines passgenauen digitalen Assistenzsystems ist die Analyse des Status-quo zur Identifikation der Bedarfe der betrachteten Unternehmen. Dem sozio-technischen Ansatz folgend wurden die Produktionsumgebungen der Verbundunternehmen aus Prozess-, Beschäftigten-, sowie organisationaler Sicht analysiert. Die angewandten Methoden wurden vorab zwischen den wissenschaftlichen Partnern aufeinander abgestimmt, um anschließend ein aussagekräftiges Gesamtbild zu erhalten.

**Prozess (Informationsbedarfsanalyse)** Für die zielorientierte Ausgestaltung eines digitalen Assistenzsystems ist die Berücksichtigung des zu unterstützenden Prozesses elementar. Um den Bedarf an Informationen für die produktiven Beschäftigten zu ermitteln, wurde von der TU Darmstadt die Informationsbedarfsanalyse entwickelt und bei den Unternehmenspartnern angewandt. Die Analyse von Informationsbedarfen legt den Grundbaustein für eine umfassende Informationsversorgung der Beschäftigten und somit auch zur Beherrschung komplexer Arbeitsaufgaben. Als Informationsbedarf wird die Art, Menge und Qualität der Informationen verstanden, die eine Person zur Aufgabenbewältigung zu einer bestimmten Zeit benötigt [9]. Bei der Analyse eines komplexen Produktionssystems ist eine möglichst umfangreiche Erfassung der vorhandenen Daten anzustreben. Die Reihenfolge der Anwendung sowie die direkten Zusammenhänge zwischen den Methoden im Rahmen der wertstromorientierten Informationsbedarfsanalyse sind in Abb. 5.4 dargestellt.



**Abb. 5.4** Vorgehensweise bei der wertstromorientierten Informationsbedarfsanalyse. (Eigene Darstellung PTW)

In fünf aufeinanderfolgenden Schritten werden Verschwendungen, die Arbeitsaufgabe, das Ist-Informationsangebot sowie das Soll-Informationsangebot erfasst, um daraus den Handlungsbedarf abzuleiten. Durch das strukturierte, chronologische Erfassen der Tätigkeiten der Beschäftigten im Rahmen der Arbeitsaufgabe lassen sich diesen auch die identifizierten Informationsbedarfe zuordnen.

**Schritt 1**, die betriebliche Datenerfassung (datentechnische Analyse und Organisationsanalyse), lässt sich anhand der am PTW entwickelten Methode „Wertstromanalyse 4.0 (WSA 4.0)“ durchführen [11]. Die Methode kombiniert die Analyse von Produkt- und Informationsflüssen mit der Analyse organisatorischer und strategischer Aspekte des Wertstroms einer Produktgruppe. Sie besteht aus sechs Schritten und erfasst neben den klassischen Arten der Verschwendung auch informationslogistische Verschwendungen. Somit wird die ganzheitliche Betrachtung von Wertstrom und Informationslogistik in der Produktion ermöglicht. Der Beobachter befindet sich zur Durchführung der Methode am Ort der Wertschöpfung und bewegt sich entlang der einzelnen Prozessschritte, wodurch er ein Verständnis des Gesamtprozesses sowie der Zusammenhänge zwischen einzelnen Tätigkeiten entwickelt. Im Rahmen der WSA 4.0 werden die Verschwendungen (in Form von nummerierten Kaizen-Blitzen) sowie das Ist-Informationsangebot dokumentiert. Zudem erhält der Beobachter ein klares Verständnis der Arbeitsaufgabe.

**Schritt 2** umfasst die Dokumentenanalyse sowie gleichzeitig geführte Interviews mit den Aufgabenträgern, um die aktuell vorhandenen Informationen am Arbeitsplatz sowie den Zugriff der Beschäftigten auf diese Informationen zu erfassen. Bei der Dokumentenanalyse werden die aktuellen Informationsquellen, welche dem Aufgabenträger zur Verfügung stehen, analysiert [5]. Die Analyse der Dokumente wird idealerweise gemeinsam mit den Beschäftigten durchgeführt, indem diese zu den Dokumenten und Arbeitsabläufen interviewt werden. Da Schritt 2 im Anschluss an die Wertstromanalyse 4.0 durchgeführt wird und der Beobachter somit bereits ein umfassendes Prozessverständnis erworben hat, kann zu diesem Zeitpunkt bereits ein Zusammenhang zwischen Informationsangebot und -nachfrage hergestellt werden. Diese Kenntnis fließt in Schritt 3 zur Definition des Soll-Zustandes ein.

Die deduktiv-logische Analyse in **Schritt 3** überführt die Arbeitsaufgabe der Beschäftigten, ausgehend von deren Aufgaben und Zielen, sukzessive in Teilaufgaben. Von diesen Teilaufgaben können notwendige Informationen abgeleitet werden, die sich aus der jeweiligen Entscheidungssituation ergeben [10]. Nachdem im Rahmen der bisherigen Vorgehensweise überwiegend vorhandene Informationen betrachtet wurden, wird in diesem Schritt der Fokus auf die für die Arbeitsaufgabe benötigten Informationen gelegt. Der Beobachter hat die Aufgabe, notwendige Informationen für die Prozessschritte abzuleiten. Anhaltspunkte für zusätzlich benötigte Informationen können auch die im Rahmen der Wertstromanalyse 4.0 identifizierten Verschwendungen geben.

Zu diesem Zeitpunkt sollten die vollständigen Listen der aktuell verfügbaren sowie der idealerweise benötigten Informationen je Prozessschritt vorliegen. Aus der Differenz des Soll- und Ist-Informationsangebots (**Schritt 4**) ergibt sich ein konkreter

Informationsbedarf. Dieser Bedarf kann eine zusätzlich benötigte Information, sowie die Korrektur von Inhalt (Art und Qualität), Quelle oder Bereitstellungszeitpunkt einer bereits vorhandenen Information sein.

Im **letzten Schritt** werden die Verschwendungen den identifizierten Informationsbedarfen zugeordnet. Dies erfolgt durch das Eintragen der Verschwendungen (nummerierte Kaizen-Blitze) in die letzte Spalte der Vorlage zur Dokumentation der Informationsbedarfe. Nicht jede im Rahmen der Wertstromanalyse identifizierte Verschwendung hat ihre Ursache in der Informationsversorgung. Andererseits führt die mangelnde Informationsversorgung fast immer zu Verschwendungen im Prozess. Durch die somit erfolgte Assoziation eines Informationsmangels mit einer negativen Auswirkung auf den Produktionsprozess kann eine qualitative Bewertung und Priorisierung der Informationsbedarfe vorgenommen werden.

Das Ergebnis der Informationsbedarfsanalyse ist anhand eines Beispiels in Abb. 5.6 dargestellt. Den Tätigkeiten in der entsprechenden Abfolge wird der Informationsbedarf in chronologischer Reihenfolge gegenübergestellt. Handlungsbedarfe werden mit einem Kaizen-Blitz sowie einer farblichen Hinterlegung gekennzeichnet, welche mögliche Verbesserungspotentiale darstellen. Beispielhaft werden in Abb. 5.6 zwei Kaizens aufgezeigt und entsprechend erläutert.

**Beschäftigte (Fragebogen+Motion-Capturing mit Eye-Tracking)** Für den Einsatz von digitalen Assistenzsystemen müssen in den Unternehmen Arbeitsmittel und Arbeitsbedingungen untersucht werden. Mithilfe des von der Universität Kassel – Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie (A&O) – eingesetzten Systems „cEYEberman“ wird eine objektive Erfassung von Körperhaltungen und Blickdynamik zur Analyse von Arbeitssystemen, Verhaltensprävention und ergonomischer Gestaltung ermöglicht [3]. Die Positionierung des digitalen Assistenzsystems kann dadurch überprüft und ggf. angepasst werden. Das System vereint Inertialsensoren (Gyroskope, Accelerometer, Magnetometer) und Blickbewegungserfassung in einem am Körper getragenen Anzug (Abb. 5.7.) Es wird eine Bewertung generiert, die den Anteil ungünstiger Körperhaltungen dokumentiert, welche durch ein Zusammenwirken zwischen dem digitalen Assistenzsystem und den Arbeitsstationen entstehen können. Somit kann die ergonomische Bewertung der Arbeitsstation mit dem digitalen Assistenzsystem durchgeführt werden [15]. Es werden vor allem die aufgenommenen Daten der Blickbewegung genutzt, um störende Unterbrechungen des Arbeitsflusses durch das digitale Assistenzsystem zu erkennen. Durch diese Unterbrechungen können psychische Belastungen auftreten, da sie im Konflikt mit der Zielerreichung stehen [12] & [14]. Um die Arbeitsbedingungen zu analysieren, sollten zwei unterschiedliche Erhebungsinstrumente verwendet werden. Zum einen der Fragebogen zur „Modularen Analyse von Belastungen in Organisationen“ (MABO) und zum anderen der Lernförderlichkeitsfragebogen (LFI). Der MABO erfasst die Einstellungen der Organisationsmitglieder zu den Themengebieten Organisationsklima, Führungsverhalten, Belastungen und der Mitarbeiterzufriedenheit. Angesichts aktueller Veränderungen in der Arbeitswelt werden die Themengebiete fortlaufend angepasst und weiterentwickelt [7].

Beim LFI handelt es sich um ein Beobachtungsinterview, mit dem systematisch Lernpotenziale von Arbeitstätigkeiten erfasst und ausgewertet werden [6]. Für den Grad der Lernförderlichkeit von Tätigkeiten, der zu einem maßgeblichen Wettbewerbsvorteil für Unternehmen wird [6], sind Merkmale wie z. B. Variabilität, Komplexität, Kommunikation/Kooperation, Feedback, Information, Partizipation und Selbstständigkeit maßgeblich. Beide Instrumente wurden am Fachgebiet A&O entwickelt und anhand von Gütekriterien überprüft. Die aufgeführten Instrumente wurden zum Zweck einer Prä-/ Post-Messung in den drei Verbundunternehmen eingesetzt und systematisch ausgewertet. Anschließend wurden die Ergebnisse in die jeweiligen Organisationen zurückgemeldet.

**Organisatorisch (Interviews)** Zur Erfassung der organisationalen Rahmenbedingungen wurden strukturierte Interviews eingesetzt. Fokus der Interviews war das Thema „Kultur und Führung“ mit den untergeordneten Themenfeldern Werte, Kommunikation, Beteiligung, Lernen/Qualifikation, Veränderung und Digitalisierung. Die Ergebnisse aller eingesetzten Analysemethoden wurden abschließend ausführlich mit Beschäftigten, Führungskräften und Arbeitnehmervetretern besprochen.

In den einzelnen Themenfeldern konnten im Hinblick auf die Organisation einige Anhaltspunkte zur Verbesserung bzw. zur notwendigen Veränderung identifiziert werden. Andererseits wurden Themenfelder identifiziert, die sich nicht verändern dürfen, wie z. B. große Handlungsspielräume und eigenverantwortliches Handeln, menschlich-familiäres Betriebsklima, Vertrauen und Offenheit.

Veränderungs- und Anpassungsbedarfe wurden im Unternehmen in der Kommunikation und den Kommunikationsmedien gesehen. Informelle Informations- und Kommunikationsformen haben an Bedeutung verloren; es wurden unterschiedliche Kommunikationsmedien verwendet, die aufgrund der teilweise vorliegenden Redundanz als störend empfunden wurden. Die Wünsche an das Assistenzsystem wurden klar formuliert: transparente Information, mehr Rückkopplungsschleifen zwischen den Abteilungen und mehr Vernetzung bei der Kommunikation.

Zusätzlich konnte herausgearbeitet werden, dass die Veränderungsprozesse vor allem im Bereich Prozesse und Strukturen weiter zu professionalisieren sind. Technische Innovationen und Veränderungen werden im Unternehmen akzeptiert, interne Veränderungen hinken dieser Akzeptanz hinterher. Bereits bekannte Herausforderungen, wie die fehlende Dokumentation von alten Prozessen, wurden weiter detailliert, um anschließend mögliche Lösungen zu finden.

**Kriterien für eine lernförderliche Arbeitsgestaltung** Ein zentraler Aspekt der Human- und Gestaltungskriterien guter Arbeit ist eine lernförderliche Arbeitsgestaltung. Lernförderlichkeit der Tätigkeit entscheidet darüber, ob die Kompetenz, die Motivation, die Gesundheit und die Persönlichkeit der Beschäftigten sich in der Arbeit negativ verändern, erhalten bleiben oder entwickeln können. Ob eine Tätigkeit mit digitalen Assistenzsystemen lernförderlich gestaltet ist, lässt sich nach den folgenden Kriterien beurteilen:

Zur Aufgabenfüllung	Montage				HSP				Orientiert							
	Auftrag annehmen	Stücklisten drucken	Kommissionieren	Platten umlöten	Montieren	Zubehör richten	Rückmeldung	Problembehandlung	Prüfung vorbereiten	Prüfen	Rückmeldung	Problembehandlung	Offen bestücken/leeren	Funktion prüfen	Rückmeldung	Problembehandlung
nötige Informationen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

IST-Informationen	
WAS	WANN (rechtzeitig am AP?)
Auftragsliste	fallabhängig
Werkstattauftrag	ja
Hinweiszettel	ja
Schaltplan	ja
Stückliste	nein
Begleitkarte	nein
Prüfanweisung	fallabhängig
Anleitungen	fallabhängig
Seriennummern	fallabhängig
Rücksprachen	fallabhängig

WIE		WO	
digital / Papier	am AP	PC / am AP	WO
digital	am AP	PC / am AP	WO
Papier	am AP	am AP	WO
Papier	am AP	in Auftragsunterlagen	WO
Papier	am AP	in Auftragsunterlagen	WO
digital	am AP	PC / am AP	WO
digital	am AP	PC	WO
Papier	am AP	am HSP-AP	WO
Papier	am AP	am AP	WO
Papier	am AP	auf Werkstück	WO
mündlich	am AP	MA / Vorgesetzter	WO

■ = Benötigte Information (WAS) je Arbeitsschritt

Beispiele für identifizierte Verbesserungspotenziale:

Nr.	Kaizen
1	Auftragsliste wird für einen längeren Zeitraum im Voraus von Montagemitarbeiter selbstständig ausgedruckt → keine Aktualität bei Änderungen
2	Auftragsdokumente sind in mehreren Ordnern im System abgelegt. Diese werden zum Erstellen der Auftragsunterlagen (Hinweiszettel, Schaltplan) ausgedruckt.

**Abb. 5.5** Ergebnis der Informationsbedarfsanalyse bei einem Unternehmenspartner. (Eigene Darstellung)

**Abb. 5.6** Messsystem cEYEberman. (Eigene Darstellung © A&O)



**Tätigkeitsgestaltung – Ganzheitlichkeit:** Ist die Tätigkeit vollständig? D. h. umfasst die Tätigkeit Planungs-, Vorbereitungs-, Ausführungs- und Kontrollanteile? Nicht immer sind diese vier Anteile in den einzelnen Tätigkeiten vorhanden. Eine Möglichkeit, diese Vorgabe zu erfüllen, besteht in einem Wechsel zwischen Tätigkeiten mit unterschiedlichen Anteilen der Vollständigkeit.

**Handlungsspielräume (Vorgehen) – Autonomie:** Wie hoch ist der Grad der Autonomie der Tätigkeit? Autonomie zielt in diesem Kontext auf die Handlungs- und Entscheidungsspielräume der Beschäftigten ab. Dabei steht der Begriff der Handlungsspielräume für die Möglichkeit, die Abarbeitung der Arbeitsaufträge zu variieren und kleinere Störungen selbst zu beheben. Entscheidungsspielräume beschreiben die Möglichkeit der Mitsprache bei der Verteilung von Arbeitsaufgaben sowie der Auswahl/Beschaffung von Arbeitsmitteln.

**Handlungsspielräume (zeitlich) – Arbeitsintensität:** Lernen erfordert Zeit. Lernförderlichkeit ist dann gegeben, wenn eine geforderte Arbeitsmenge termin- und qualitätsgerecht erbracht werden kann und darüber hinaus die fachlichen und zeitlichen Ressourcen im erforderlichen Umfang zur Verfügung stehen.

**Mitsprache – Mitwirkung:** Diese beiden Kategorien adressieren sowohl die fachliche als auch die soziale Unterstützung bei der Ausführung schwieriger oder neuer Aufgaben durch die Führungskräfte und/oder Kollegen und die Frage, ob technisch-organisatorische Hilfsmittel zur Aufgabenerfüllung im erforderlichen Maße zur Verfügung stehen.

**Transparenz – arbeitsbezogene Informationen:** Beschäftigte brauchen zur Ausführung ihrer Tätigkeiten aktuelle Informationen über das Ziel und die Bedeutung ihrer Tätigkeit. Dieser Informationsbedarf bezieht sich sowohl auf die Bedeutung des

Produktes für das Unternehmen allgemein als auch für den Kunden. Diese Informationen machen den Prozess als solches sicher und verbessern die Problemlösungs- und Innovationsmöglichkeiten der Beschäftigten.

**Soziale Beziehungen – Interaktion** stärkt die lernförderliche Arbeitsgestaltung. Sie kann Bestandteil der Tätigkeit sein (z. B. in der Zusammenarbeit mit Kollegen/ Kolleginnen, Führungskräften) oder durch organisatorische Maßnahmen (z. B. Qualitäts-/Gesundheitszirkel, systematischer Erfahrungsaustausch) realisiert werden. Genauso kann ein gezielter, gesteuerter Wechsel der Beschäftigten zwischen unterschiedlichen Arbeitsplätzen diesen Zweck erfüllen.

**Lernen und Entwickeln – Qualifizierung:** Neben dem impliziten Lernen im Prozess der Arbeit sind Angebote und Zugänge zu formalen Lernformen (Seminare, Kurse, Lehrgänge, Workshops, Zusatzausbildungen) wichtig. Hierdurch lassen sich fachliche und hierarchische Entwicklungswege gestalten und fachliche Sackgassen, die z. B. durch hochgradige Spezialisierung entstehen können, vermeiden.

Die nachfolgende Tab. 5.1 zeigt exemplarisch die positiven und negativen Wirkungen von Gestaltung digitaler Assistenzsysteme auf die Beschäftigten.

**Entwicklung der Lösungen** Die Ergebnisse der Analyse wurden in den Unternehmen mit allen Beteiligten strukturiert, geclustert und zu „Top-Themen“ zusammengefasst. So konnte die Gesamtaufgabe, Entwicklung und Einführung eines digitalen Assistenzsystems, in einzelnen Arbeitspaketen mit organisationalen oder technischen Schwerpunkten von den jeweiligen Experten bearbeitet werden.

Die identifizierten „Top-Themen“ sollen bei der Gestaltung, Einführung und Nutzung des zu entwickelnden digitalen Assistenzsystems adressiert werden. In den Unternehmen werden jeweils Arbeitsgruppen gebildet, um identifizierte Arbeitspakete zu bearbeiten. Die identifizierten „Top-Themen“ unternehmensübergreifend sind:

- Verantwortlichkeiten und Rollen,
- Beschäftigtenintegration bei Veränderungsprozessen,
- Informations- und Kommunikationsroutinen,
- Verfügbarkeit relevanter Informationen und Informationsbereitstellung
- und die Evaluation.

Das Ziel ist die Ausarbeitung konkreter Umsetzungskonzepte. Nach der Fertigstellung der Konzepte zu den spezifischen Themen in den einzelnen Unternehmen startet die Umsetzungsphase. Beispielhaft für ein Resultat der Konzeptphase ist in Abb. 5.8 das Ergebnis einer Informationsbedarfsanalyse sowie das daraus abgeleitete Mockup für das digitale Assistenzsystem dargestellt, welches als Diskussionsgrundlage zur Weiterentwicklung in Click-Dummys überführt werden kann. Diese von den

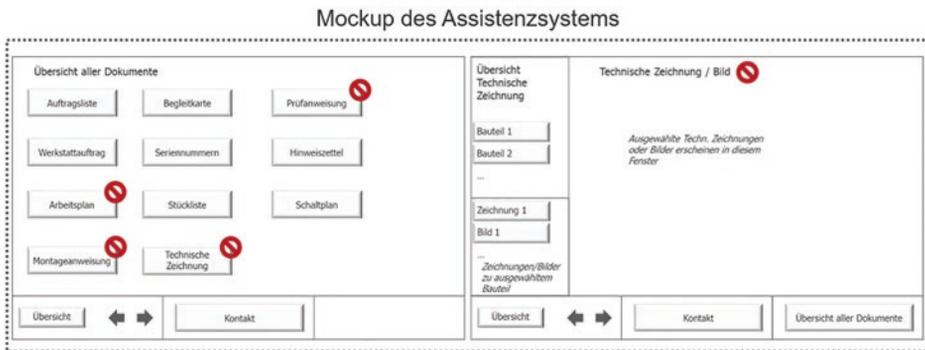
**Tab. 5.1** Überblick: Wirkungen digitaler Assistenzsysteme. (Quelle: [2])

Kriterium	Stellgröße	Positive Wirkung	Negative Wirkung
Tätigkeitsgestaltung – Ganzheitlichkeit	Komplettfertigung, mehrere Arbeitsstationen, ...	Chance für bessere Tätigkeitsgestaltung: Vielfalt, Abwechslung, Anreicherung	Arbeitsinhalte werden reduziert, Monotonie steigt
Handlungsspielräume (Vor- gehen) – Autonomie	Werkerunterstützung statt Werkerführung	Arbeitsschritte selbst festlegen, kann Unterstützung abrufen	Arbeitsschritte sind kleinteilig vorgegeben, Verantwortlichkeit für den Prozess sinkt
Handlungsspielräume (zeitlich) – Arbeitsintensität	Leistungsvorgabe, Taktung, Teilepuffer, Zeit für Einarbeitung	Zeitsouveränität für arbeitsintegriertes Lernen, kann Unterstützung nutzen	Eingeschränkte Möglichkeiten für arbeitsintegriertes Lernen, Stresserleben steigt
Mitsprache -Mitwirkung	Rückmeldung im System & Shop-Floor-Management, KVP	Verbesserungsvorschläge direkt einbringen können	Geringes Interesse für Lernen & Veränderung
Transparenz – arbeitsbezogene Informationen	Vollständige, aktuelle und gut aufbereitete Informationen	Stressfreies Arbeiten, mehr Zeit für Lernen	Störungen, Behinderungen und Fehlerquote steigen
Soziale Beziehungen – Interaktion	Direkter Kontakt zu Führungskräften und Kollegen/innen sowie Kommunikation mit vor- und nachgelagerten Bereichen	Eigene Initiative bei Störungen möglich, kontinuierlicher Erfahrungs- und Wissensaustausch	Ausfallzeiten steigen
Lernen und Entwickeln – Qualifizierung	Positive Lernkultur, Qualität der Medien, differenzierte Unterstützung nach Vorkenntnissen	Lernunterstützung am Arbeitsplatz, Hinweis auf fehlerkritische Vorgänge	Über- oder Unterforderung, keine oder eingeschränkte Lernmöglichkeiten am Arbeitsplatz, höhere Fehlerquote

**Maßnahmenliste aus der Informationsbedarfsanalyse**

		Montage				HSP		Ofentest	
		☺	1	☺	1	☺	1	☺	1
Zur Aufgabenerfüllung nötige Informationen	Auftrag annehmen								
	Kommissionieren								
	Montieren								
	Zubehör richten								
	Rückmeldung								
	Problembehandlung								
	Prüfung vorbereiten								
	Prüfen								
	Rückmeldung								
	Problembehandlung								
Offenbestückentleeren									
Funktion prüfen									
Rückmeldung									
		Auftragsliste	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Werkstattauftrag	Papier	ja	am AP				
		Hinweiszettel	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Schaltplan	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Stückliste	Papier	ja	in Auftragsunterlagen				
		Begleikarte	Papier	ja	in Auftragsunterlagen				
		Prüfanweisung	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Seriennummern	Papier	ja	auf Werkstück				
		Rücksprachen	Mündlich/telefonisch/digital	ja	MA / Vorgesetzter / Assistenzsystem				
		Arbeitsplan	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Montageanweisung	digital	ja	im Assistenzsystem				
		Technische Zeichnung	digital	ja	im Assistenzsystem				
		WAS	WIE	WANN (rechtzeitig am AP?)	WO				
		SOLL-Informationen							

Maßnahmen



**Abb. 5.7** Ableiten der Mockups aus den Ergebnissen der Informationsbedarfsanalyse. (Eigene Darstellung PTW)

Unternehmensvertretern bewerteten Prototypen des digitalen Assistenzsystems dienen als Grundlage zur Programmierung der Software.

Die Entwicklung des digitalen Assistenzsystems, das im Wesentlichen aus Software besteht, erfolgt entsprechend dem Branchenstandard iterativ in Sprints, indem der Zwischenstand in regelmäßigen Abständen von den Verbundunternehmen sowie dem beteiligten Software Unternehmen diskutiert wird. Als Grundlage für die effiziente Nutzung eines digitalen abteilungsübergreifenden Assistenzsystems sind klar definierte Prozesse und eindeutige Verantwortlichkeiten notwendig. Im Rahmen der Projektarbeit wurden diese Voraussetzungen gemeinsam mit den Unternehmen berücksichtigt.

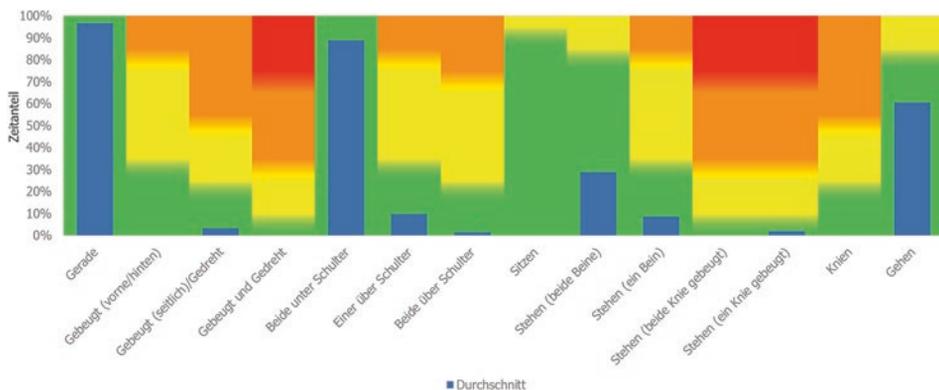
## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Motion Capturing und MABO-Fragebogen

Beim Motion Capturing des cEYEBerman konnten, bezogen auf die Körperhaltung, keine Überschreitungen der Grenzwerte (Y-Achse 0–100 %) identifiziert werden. Die aufgenommenen Durchschnittswerte der Bewegungen des Beschäftigten bei einem der Verbundunternehmen sind in Abb. 5.8 dargestellt.

Innerhalb der Fragebögen wurde bei einem Verbundunternehmen deutlich, dass 80 % der Beschäftigten in der Freizeit ein Smartphone und 88 % andere digitale Medien nutzen. Bei der Post-Messung im März 2019 war die Smartphonennutzung auf 95 % und die Nutzung der allgemeinen Medien auf 94 % gestiegen. Die Affinität zur Digitalisierung ist besonders für die Einführung des digitalen Assistenzsystems von hoher Bedeutung und muss entsprechend berücksichtigt werden. Zudem konnten in Bezug auf die Einführung und Nutzung digitaler Assistenzsysteme auch kritische Punkte bei den Beschäftigten identifiziert werden.

So haben diese angegeben, dass sie eine zu starke Kontrolle befürchteten und sich dadurch belastet fühlen. Auch Störungen und Unterbrechungen des Arbeitsablaufes wurde als Belastung benannt. Je mehr Störungen die Beschäftigten an ihrem Arbeitsplatz haben, desto negativer wird die Höhe der Bezahlung eingestuft und auch die Arbeitsbedingungen wurden kritischer bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einführung eines digitalen Assistenzsystems gut durchdacht werden sollte, da kurz- und langfristige negative Effekte bei den Beschäftigten auftreten und auch die Zufriedenheit mit dem eingeführten Assistenzsystem beeinträchtigt werden kann. Aber auch positive Zusammenhänge wurden nach Einführung des digitalen Assistenzsystems in der Post-Messung



**Abb. 5.8** Motion-Capturing der Arbeitspositionen. (Eigene Darstellung © A&O)

deutlich. Die Beschäftigten betrachten Ihre Arbeit mit dem Assistenzsystem weiterhin als etwas Ganzes, Abgeschlossenes. Darüber hinaus wurden die Arbeitsinhalte als interessant und abwechslungsreich bewertet. Die ermittelten Informationen sind für grundlegende Aspekte der Funktionalität des Assistenzsystems relevant und können aufgrund der Befragungen bei den drei Verbundunternehmen berücksichtigt werden.

### 5.3.2 Human- und Gestaltungskriterien für gute digitale Arbeit in der Montage

Das beschriebene Verbundunternehmen (wie viele andere Unternehmen auch) stand vor der Herausforderung, die Digitalisierung in der Fertigung zu gestalten. Die Gründe für die Einführung eines digitalen Assistenzsystems waren:

- Hohe Komplexität in der Fertigung durch eine hohe Anzahl von Varianten
- Verkürzung der Lebenszyklen auf Baureihenebene
- Besserer Service durch Einbringen von Seriennummern in den Produkten
- Steigerung der Qualität und Senkung der Fertigungskosten
- Einführung neuer Geschäftsmodelle
- Aufwertung der Montagetätigkeit

Um die Auswirkungen des digitalen Assistenzsystems auf die Tätigkeitsgestaltung zu erfassen, wurden in dem Unternehmen die Einstellungen der Organisationsmitglieder zu den Themen Organisationsklima, Führungsverhalten, Belastungen und der Mitarbeiterzufriedenheit sowie den Lernpotenzialen der Beschäftigten mit zwei standardisierten Befragungsinstrumenten erfasst (vgl. Abschn. 5.2: Vorgehensweise zur Zielerreichung). Nach der Einführung des digitalen Assistenzsystems wurden durch Workshops mit Beschäftigten und Interviews mit betrieblichen Akteuren der Prozess und die Ergebnisse evaluiert. Gradmesser dieser Bewertung ist die menschengerechte Gestaltung von Arbeit (§ 2 Arbeitsschutzgesetz, ArbSchG) mit den Merkmalen der lern- und gesundheitsförderlichen Arbeitsgestaltung [6]. Darüber hinaus wurden die digital ausgestatteten Arbeitsplätze mit dem Lernförderlichkeitsfragebogen (LFI) (vgl. ebenfalls Abschn. 5.2) analysiert.

**Digitale Assistenzsysteme und Lernförderlichkeit** Vor der Einführung des digitalen Assistenzsystems gab es z. T. manifeste Vorbehalte bei den Beschäftigten:

- Entgeltstruktur verschlechtert sich
- Qualifizierung wird vernachlässigt
- Soziales Miteinander wird eingeschränkt („Teams fliegen auseinander“)
- Datenschutz wird vernachlässigt und die Leistungskontrolle nimmt zu („gläserner MA“)

Andererseits waren Hoffnungen mit der Einführung des digitalen Assistenzsystems verbunden:

- Selbstbestimmteres Arbeiten
- Weniger Störungen
- Beschäftigungssicherheit steigt
- Die Arbeit wird aufgewertet (z. B. durch den Umgang „...mit modernen Arbeitsmitteln“)

Die Evaluation hat gezeigt, dass sich die meisten Befürchtungen der Beschäftigten nicht bestätigt haben. Gründe hierfür liegen in der Arbeitsgestaltung mit den Aspekten der Lernförderlichkeit als zentralem Bestandteil der Human- und Gestaltungskriterien guter digitaler Arbeit, die nachfolgend exemplarisch reflektiert werden.

Der LFI wurde vor und nach der Einführung des digitalen Assistenzsystems eingesetzt. Hier wurde deutlich, dass die Selbstständigkeit vor Einführung des digitalen Assistenzsystems niedriger eingestuft wurde. Eine mögliche Erklärung könnte z. B. der Umgang mit Störungen sein. Die Beschäftigten können nach Einführung eines digitalen Assistenzsystems direkt im System nach Lösungsvorschlägen suchen, bevor der Einrichter oder Meister verständigt werden muss. Auch unbekannte Montageschritte können selbstständig nachgeschlagen und erlernt werden.

Tätigkeitsgestaltung: Lernförderliche Tätigkeiten sind in der Regel komplexer und erfordern daher erweiterte Kompetenzen, Informationen und Hilfsmittel. Digitale Assistenzsysteme können eine lernförderliche Tätigkeitsgestaltung unterstützen, wenn durch ihren Einsatz

- tätigkeitsspezifische Handlungsspielräume der Beschäftigten erweitert, zumindest aber erhalten werden,
- alle wesentlichen Arbeitsinformationen in geeigneter Weise am Arbeitsplatz zur Verfügung stehen,
- Informationen und Lerninhalte nutzerspezifisch aufbereitet werden,
- unterschiedliche Arbeitsniveaus (differentielle Arbeitsgestaltung) unterstützt werden,
- die Nutzung und der Aufbau von individuellem und organisationalem Erfahrungswissen gefördert wird sowie
- eine Verknüpfung zum betrieblichen KVP-Prozess hergestellt wird.

Das digitale Assistenzsystem hat an der durchzuführenden Tätigkeit nichts geändert („Wir montieren nach wie vor“); allerdings ist mit der Einführung eine Tätigkeit hinzugekommen: Scannen. Die Montage erfolgt nach wie vor in verschiedenen Arbeitsschritten, die mit der Einführung des digitalen Assistenzsystems stärker standardisiert worden sind. Aus Sicht der Beschäftigten haben sich aber keine veränderten körperlichen Anforderungen bzw. eine Über-/Unterforderung ergeben.

Bezüglich der Handlungsspielräume dominiert bei den Beschäftigten die Wahrnehmung „Man fühlt sich selbstständiger, weil man selbst entscheiden kann und mehr Infos hat. Man muss nicht mehr die Einrichter fragen“. Die Leistungsvorgaben wurden im Zusammenhang mit der Einführung der digitalen Assistenz nicht angehoben, auch können die Arbeitsschritte nicht selbst festgelegt werden. Die Arbeit erscheint nun unabhängiger von anderen betrieblichen Akteuren (hier von den Einrichtern), denn das digitale Assistenzsystem erlaubt den Montierern den problemlosen Abruf von unterstützenden Funktionen. Gleichzeitig hat jedoch die Kommunikation mit den Einrichtern abgenommen.

**Mitwirkung/Kommunikation:** Mitwirkung und Kommunikation sind Aspekte, die unabhängig von digitalen Assistenzsystemen in der Unternehmenskultur verankert sein müssen. Im Verbundunternehmen war sowohl im Vorfeld der Einführung als auch in der Einführungsphase des Assistenzsystems der entscheidende Erfolgsfaktor die frühzeitige und sich regelmäßig wiederholende Kommunikation. Diese begann frühzeitig, war umfassend und kontinuierlich und wurde dialogorientiert geführt. Gab es im Vorfeld der Einführung manifeste Befürchtungen bei den Beschäftigten („Wenn ich nicht mehr mitkomme, bleibe ich auf der Strecke“), konnten diese Befürchtungen dadurch abgemildert werden.

Im Verbundunternehmen wurde darauf geachtet, dass die Ideen und Vorschläge der Beschäftigten und der beteiligten operativen Führungskräfte mit in die Ausgestaltung des digitalen Assistenzsystems einfließen konnten. Regelmäßig gab es Rückmelderunden und die Möglichkeit für die Beschäftigten, eigene Ideen in den Prozess mit einzubringen.

**Arbeitsbezogene Information:** Das digitale Assistenzsystem bietet den Beschäftigten mehr Informationen direkt am Arbeitsplatz („mehr Informationen vor Ort – weniger Wege“). Durch das digitale Assistenzsystem sind Informationen direkt am Arbeitsplatz abrufbar: So können Montageanleitungen direkt über die EDV auf den Bildschirm abgerufen werden und müssen nicht mehr den Umweg über einen papiergebundenen Ausdruck nehmen, was für die Beschäftigten eine zeitliche Entlastung darstellt.

**Lernmedien:** Die Einführung des digitalen Assistenzsystems hatte erhebliche Auswirkungen auf die Qualifikation der Beschäftigten. Zwar sind nur im stark begrenzten Umfang Tätigkeitsinhalte weggefallen (die in erster Linie mit papiergebundenen Arbeiten im Zusammenhang standen), aber es sind neue hinzugekommen. Die Qualifizierungs- und Einarbeitungsphase fand in kleinen Gruppen in regelmäßigen Abständen statt. So früh wie möglich wurde mit dem System gearbeitet. Dabei wurde von den Beschäftigten besonders die Kompetenz und Geduld der Einarbeitenden hervorgehoben („Gut und immer wieder erklärt“). Allerdings gibt es auch Hinweise darauf, dass ein Teil der Beschäftigten trotz der Schulungen Schwierigkeiten mit der digitalen Technik hatte.

Das digitale Assistenzsystem wurde im laufenden Montageprozess mit den damit verbundenen Herausforderungen eingeführt. Eine dieser Herausforderungen für die Beschäftigten war das Nachvollziehen der Änderungen am System. Regelmäßig und z. T. kurzzyklisch wurden Änderungen/Umstellungen am System vorgenommen. Dies

im laufenden Montageprozess nachzuvollziehen, gelang den Beschäftigten nicht immer. Gleichwohl wird in der Summe das digitale Assistenzsystem überwiegend positiv beurteilt:

- „Arbeit abwechslungsreicher“
- „Mehr Flexibilität – mehr Sicherheit“
- „Ideen werden schneller umgesetzt“
- „Mitwirkung bei der Optimierung“

**Digitale Assistenzsysteme, Mitbestimmung und Partizipation** Die Einführung, Nutzung und Optimierung von digitalen Assistenzsystemen muss durch einschlägige betriebliche Regelungen flankiert werden, in denen mindestens folgende Themen aufgegriffen werden müssen:

- Lern-, gesundheits- und persönlichkeitsförderliche Gestaltung der Arbeit
- Sicherheit im Wandel (z. B. Beschäftigung, Entgelt)
- Persönlichkeitsschutz (Datenschutz, Leistung und Kontrolle)

Darüber hinaus sollten Beschäftigte bei der Entwicklung, Erprobung, Nutzung und Weiterentwicklung des digitalen Assistenzsystems als Experten ihrer Arbeit einbezogen und ihre Vorschläge soweit wie möglich berücksichtigt werden.

Um die Wirkung von digitalen Assistenzsystemen auf die Arbeit zu bewerten bzw. digitale Assistenzsysteme zur Arbeitsgestaltung zu nutzen, stellt das Arbeitsschutzgesetz die Grundlage. Eine lernförderliche Arbeitsgestaltung ist eine explizite Maßgabe aus dem Arbeitsschutzgesetz inkl. Verordnungen/Betriebssicherheitsverordnung. Hierbei geht es auf der einen Seite um die Vermeidung von Fehlbeanspruchungen (Schutzfunktion) und auf der anderen Seite um eine lern-, gesundheits- und persönlichkeitsfördernde Arbeitsgestaltung (Präventionsfunktion).

**Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz** Das Arbeitsschutzgesetz grenzt Gefährdungen deutlich von Gefahren ab: Gefährdung wird hier als ein Zustand oder eine Situation definiert, in der die Möglichkeit des Eintritts eines Gesundheitsschadens besteht. Nach dem Arbeitsschutzgesetz

- müssen alle mit der Arbeit verbundenen Gefährdungen ermittelt werden (§ 5).
- Dabei ist der Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen (§ 4).
- Gefahren sind an der Quelle zu bekämpfen und individuelle Schutzmaßnahmen sind nachrangig zu anderen Maßnahmen (§ 4).
- Maßnahmen sind mit dem Ziel zu planen, Technik, Arbeitsorganisation, sonstige Arbeitsbedingungen, soziale Beziehungen und Einfluss der Umwelt auf den Arbeitsplatz sachgerecht zu verknüpfen.

Dabei beinhaltet diese Beurteilung einen vollständigen Handlungszyklus, der aus der Analyse, der Maßnahmenentwicklung und der Umsetzung, der Wirksamkeitskontrolle und der Optimierung des Vorgehens besteht. Alle Schritte müssen zudem dokumentiert werden.

Diese Gefährdungsbeurteilung muss in regelmäßigen Abständen wiederholt sowie bei technischen/organisatorischen Veränderungen neu durchgeführt werden.

In Verbindung mit dem Betriebsverfassungsgesetz hat die Arbeitnehmervertretung umfassende Mitbestimmungsrechte bei der Gefährdungsbeurteilung.

**Leistungsüberwachung und Datenschutz** Grundsätzlich hat der Arbeitgeber das Recht, seine Beschäftigten zu kontrollieren, denn er hat ein berechtigtes Interesse daran zu überprüfen, ob sich seine Beschäftigten an ihre arbeitsvertraglichen Pflichten halten. Dieses Kontrollrecht darf der Arbeitgeber allerdings nicht uneingeschränkt ausüben; er muss dabei folgende Grenzen beachten:

- Angemessenheit der Kontrollmaßnahme
- Persönlichkeitsrechte der Beschäftigten müssen beachtet werden (Grundgesetz)
- Grenzen durch den Datenschutz (DSGVO)

Nach § 80 Abs. 1 Nr. 1 Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) hat in Unternehmen mit Betriebsrat dieser auf die Einhaltung der datenschutzrechtlichen Vorgaben zu achten. Er muss ebenfalls einbezogen werden, wenn Leistungsdaten erhoben werden. Dabei ist es unerheblich, ob diese Daten mittels technischer Hilfsmittel erhoben werden oder nicht; entscheidend ist die Speicherung und/oder Auswertung mittels EDV.

### 5.3.3 Produktivität in der Produktion

Um den Einfluss digitaler Assistenzsysteme auf die Produktivität eines Produktionssystems zu bestimmen, müssen zunächst konkrete und messbare Zielgrößen abgeleitet werden. Produktivität definiert sich in der Betriebswirtschaftslehre nach dem Verhältnis von Output- zu Inputmenge. Messbar ist die Produktivität als Quotient des Ertrages und des Faktoreinsatzes [17]. Abhängig von den betrachteten Input- und Outputfaktoren lassen sich unterschiedliche Kennzahlen errechnen, wie beispielsweise die Maschinen- oder die Flächenproduktivität.

Da der Einfluss digitaler Assistenzsysteme bewertet werden soll, ist ausschließlich die Betrachtung der Arbeitsproduktivität (auch als Arbeitseinsatz bezeichnet) auf betriebswirtschaftlicher Ebene sinnvoll. Diese ist definiert als „die pro eingesetzter Einheit des Faktors Arbeit erzielte Produktionsmenge“ [16].

$$\text{Arbeitsproduktivität} = \frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Arbeitseinsatzmenge}} \quad (\text{Gl. 5.1})$$

Die Arbeitsproduktivität wird beeinflusst durch einen Verfügbarkeitsaspekt (ist das Arbeitssystem technisch einsatzbereit, sind Bediener bzw. Werker vorhanden, usw.), einen Leistungsaspekt (welche Normalleistung ist zu erwarten und wird diese Normalleistung gegenwärtig erreicht) sowie die Qualität der geleisteten Arbeit (sind die abgelieferten Teile/Produkte fehlerfrei oder fällt Ausschuss an bzw. ist Nacharbeit nötig). Insbesondere bei manueller Arbeit hängen sowohl die Leistung aber auch die Qualität vom Werker und damit die Produktivität als Ganzes ab.

Soll nun der Einfluss (oder auch Nutzen) digitaler Assistenzsysteme auf die Arbeitsproduktivität ermittelt werden, ist die Auswahl unmittelbar messbarer Kennzahlen notwendig. Diese Kennzahlen sollten möglichst nur durch das Assistenzsystem selbst und nicht durch Randeffekte beeinflusst werden. Zudem sollten ausgewählte Kennzahlen und die dafür benötigten Daten und Informationen kurzfristig und mit vertretbarem Aufwand aufgezeichnet werden können. So wird die praktikable Nutzung sowohl im Unternehmensalltag als auch zu Forschungszwecken gewährleistet. Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass keine Redundanzen bei aufzuzeichnenden Daten bzw. der Aussagekraft verschiedener Kennzahlen entstehen.

Diese Anforderungen werden erfüllt, indem die Arbeitsproduktivität auf Grundlage von konkreten und einfach messbaren Kennzahlen errechnet wird. In einem Umfeld mit Produkten, deren Arbeitsinhalte identisch oder ähnlich sind (meist hohe Stückzahlen und niedrige Typenvielfalt) lässt sich die Produktivität wie folgt messen:

$$\text{Stundenleistung} \left[ \frac{\text{Stück}}{h} \right] = \frac{\text{Stückzahl Gutteile}}{\text{Anwesenheitszeit MA}} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

Bei hoher Varianz der Arbeitsinhalte von Produkten, die über das gleiche Produktionssystem laufen, ist ein Vergleich von Produktivität auf der Basis produzierter Einheiten nicht aussagekräftig. Dies gilt v. a., da der Produktmix pro betrachteter Zeiteinheit variiert. Hier kann auf der Basis standardisierter Zeitvorgaben für jedes abgelieferte Stück (i. d. R. die Vorgabezeit aus der Arbeitsvorbereitung) auf den Anteil der produktiv verwendeten Anwesenheitszeit („rückgemeldete Gutzeit“) ausgewichen werden:

$$\text{Produktivzeitanteil}[\%] = \frac{\text{Produktivzeit MA}}{\text{Anwesenheitszeit MA}} 100 \% \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Um möglichst valide Ergebnisse zu erhalten, ist Gl. 5.2 also vor allem für hohe Stückzahlen mit geringer Varianz und somit gleichbleibender Bearbeitungszeit geeignet, während hingegen Gl. 5.3 für niedrigere Stückzahlen mit hoher Varianz und häufig wechselnder Bearbeitungszeit verwendet werden kann.

Der Zähler in Gl. 5.2 errechnet sich aus der ermittelten Gesamtstückzahl abzüglich Ausschuss. Der Nenner erfasst die gesamte Anwesenheitszeit des Mitarbeiters. In Gl. 5.3 beschreibt die Produktivzeit die Zeit, in welcher die eigentliche Arbeitsaufgabe erledigt wird und der Mitarbeiter wertschöpfend tätig ist. Zeitaufwände für ungeplante Nacharbeiten, Stillstände/Störungen, Kommunikation oder das Informationshandling gelten als nicht wertschöpfend und werden gemeinsam mit der produktiven Zeit in der

Anwesenheitszeit erfasst. Beide Formeln eignen sich, um den Produktivitätszuwachs an einem Arbeitsplatz durch den Einsatz eines digitalen Assistenzsystems zu ermitteln.

Neben dem Potenzial für die Arbeitsproduktivität kann durch den Einsatz digitaler Assistenz eine Steigerung der Flexibilität der Beschäftigten und damit des Produktionsprozesses erreicht werden. Flexibilität ist ein zentrales Anforderungskriterium der industriellen Produktion. Für eine variantenreiche Produktion wird eine reaktions-schnelle und flexible Anpassung an externe und interne Gegebenheiten benötigt. Zudem bewirken gestiegene Kundenanforderungen und die Verstärkung des Wettbewerbs schwankende Mengenbedarfe. Diese Anforderungen erfordern eine arbeitsorganisatorische Umverteilung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten zwischen den Beschäftigtengruppen. Ungelernte Arbeitskräfte können mittels digitaler Assistenz flexibler eingesetzt werden und Fachkräfte können zu einem größeren Zeitanteil Tätigkeiten mit höheren Anforderungen nachgehen. Dies wird mithilfe des Assistenzsystems durch eine bedarfsorientierte Informationsbereitstellung abhängig vom Ausbildungsgrad und dem Kenntnisstand der Beschäftigten ermöglicht. Letztendlich werden so Verschwendungen, Fehler und auch die benötigte Montagezeit im Arbeitsprozess reduziert und die Qualität erhöht.

**Einflussmöglichkeiten digitaler Assistenz** Da digitale Assistenz im Zusammenspiel mit dem Beschäftigten auf viele unterschiedliche Arten wirkt, ist der Einfluss auf die Produktivität schwer zu erfassen. Dennoch können verschiedene Einflussmöglichkeiten des Assistenzsystems aufgezeigt werden. Durch die Verfügbarkeit von leicht zugänglichen, verständlichen und korrekten Informationen am Arbeitsplatz lässt sich beispielsweise die Häufigkeit von Fehlern reduzieren. Zudem bieten Assistenzsysteme die Möglichkeit, Fehler durch den Einsatz von Sensoren besser zu erkennen. Mithilfe eines durch das System verbesserten Wissensmanagements ist der Beschäftigte so in der Lage, mehr Fehler zu beheben. In Summe lässt sich damit die Prozessqualität erhöhen. Weiterhin kann die Informationsversorgung zu einem reduzierten Aufwand (und damit einer Zeitersparnis) beim Informationshandling oder der Kommunikation führen, was den Zeitaufwand beim Ausführen der Tätigkeit, Kommissionieren, Transport, Rüsten oder Einarbeiten verringert. Werden diese Ziele erreicht, ist von einer geringeren Bearbeitungsdauer je Auftrag zu rechnen. Entscheidend ist jedoch eine auf den Anwendungsfall passende Ausgestaltung des Assistenzsystems. Weiterhin ist durch die Bereitstellung verständlicher Informationen eine Reduzierung der für die Arbeitsaufgabe benötigten Kompetenzen erreichbar. Somit ist eine größere Anzahl der Beschäftigten in der Lage, bestimmte Tätigkeiten auszuführen, was die Flexibilität des Arbeitssystems erhöht. Die beschriebenen Effekte beeinflussen die Produktivität des Arbeitssystems und sind somit relevant, um den Einfluss digitaler Assistenz zu erfassen.

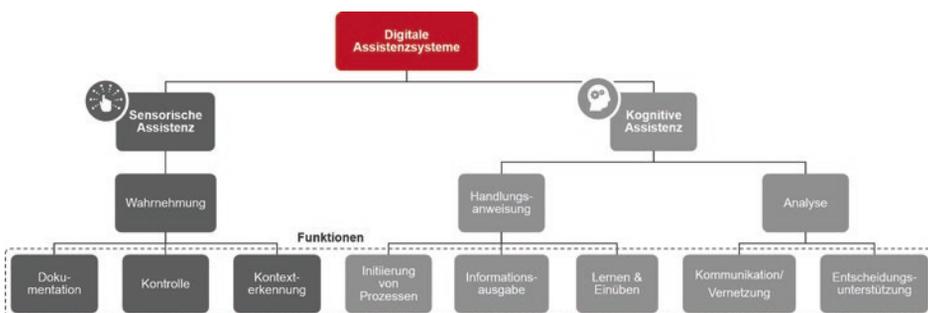
Um die Auswirkungen digitaler Assistenz auf die Produktivität eines Produktionssystems messen zu können, ist neben der Definition der Zielgröße Arbeitsproduktivität zudem das digitale Assistenzsystem genauer zu definieren. Dies ist notwendig, um das betrachtete System beschreiben zu können. Zudem ist eine Abgrenzung zwischen unter-

schiedlichen Systemen elementar, da sonst unterschiedliche Parameter miteinander verglichen werden. Mithilfe digitaler Assistenzsysteme ist eine sensorische und kognitive Unterstützung realisierbar. Innerhalb dieser beiden Kategorien lassen sich konkrete Funktionen abgrenzen, um Assistenzsysteme unterscheidbar zu machen. Die im Rahmen des Forschungsprojektes IntAKom definierten Funktionen sind in Abb. 5.9 dargestellt.

Auf Basis der beschriebenen Formeln für die Arbeitsproduktivität und der Funktionen digitaler Assistenz ist eine Quantifizierung der Produktivitätssteigerung grundsätzlich möglich. Durch das Überprüfen der Wirkung mit Prä-/Post-Messungen lassen sich korrelative Zusammenhänge zwischen einzelnen Funktionen und Zielgrößen messen, um somit neben der übergeordneten Forschungsfrage – Welchen quantifizierbaren Nutzen hat ein digitales Assistenzsystem auf die Leistungsfähigkeit von Montage-Beschäftigten? – auch untergeordnete Fragestellungen, wie beispielsweise nach der Höhe des Einflusses bzw. die gegenseitige Beeinflussung einzelner Funktionen, beantworten zu können.

Allerdings wird die Produktivität von weiteren Rahmenbedingungen beeinflusst. So ist zu erwarten, dass die Prozesseigenschaften (vor Allem das Produkt), das eingesetzte digitale Assistenzsystem sowie der Beschäftigte jeweils einen Einfluss auf die gemessene Produktivität haben. Bei der Durchführung von Prä-/Post-Messungen sind, abhängig von den beobachteten Beschäftigten und der Arbeitsaufgabe, sehr unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten. Vereinfacht ist es möglich, Beschäftigte in zwei Gruppen zu unterteilen: Auf der einen Seite Personen, die bereits in der Lage sind, das betrachtete Produkt zu montieren (prozess erfahren), und auf der anderen Seite Personen, die die Montage zum ersten Mal durchführen sollen (prozess unerfahren). Die Arbeitsaufgabe (Montage des Produktes) ist – ebenso vereinfacht – in wenig, mittel und hochkomplexe Aufgaben unterteilt.

Die unterschiedlichen relevanten Einflüsse auf die beobachtete Produktivitätssteigerung durch den Einsatz digitaler Assistenz führen zu hohen Anforderungen an die Versuchsdurchführung. So sind verschiedene Versuchsgruppen, Arbeitsaufgaben (Produkte) und ein gezieltes Ein- und Ausschalten einzelner Funktionen des digitalen Assistenzsystems erforderlich. Zudem ist für aussagekräftige und statistisch relevante Ergebnisse eine hohe Anzahl an Wiederholungen erforderlich, was zu einem erheb-



**Abb. 5.9** Funktionen digitaler Assistenzsysteme. (Eigene Darstellung PTW)

lichen Aufwand führt. Diese Umstände erschweren die quantitative Bewertung des Einflusses digitaler Assistenz im laufenden Betrieb. Zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Beitrages ist es im Rahmen des Forschungsprojektes noch nicht gelungen, valide quantitative Ergebnisse in der Praxis zu ermitteln. Daher soll im Folgenden auf die qualitativ erfassten Auswirkungen digitaler Assistenz eingegangen werden. So konnten innerhalb des Projekts Auswirkungen sowohl auf den Produktionsprozess als auch auf die Informationsversorgung ermittelt werden, die als Bewertungsgrundlage dienen.

**Qualitative Bewertung der Auswirkungen auf den Produktionsprozess** Im Rahmen eines Workshops bei einem Projektpartner mit Beschäftigten, welche regelmäßig mit dem neu eingeführten digitalen Assistenzsystem arbeiten, wurden einige Vor- und Nachteile des Systems gesammelt und dokumentiert. Produktivitätsrelevante Vorteile sind im Folgenden aufgeführt:

- Bessere Verfügbarkeit technischer Informationen am Arbeitsplatz
- Optimierung des Gesamtprozesses durch eine automatische Programmierung der Steuerung am Arbeitsplatz
- Rückgang der Reklamationsquote
- Reduzierter Aufwand beim Handling von Daten
- Vereinfachte Nachbestellung von Material
- Vereinfachte Bearbeitung von Reklamationen
- Zeitersparnis beim Rüsten

An den Ergebnissen des Workshops wird deutlich, dass das eingeführte System den erwünschten Nutzen aus Sicht der Beschäftigten in vielen Punkten erfüllt. Bedingt durch die Einführung eines neuen Systems gibt es jedoch auch negative Effekte, die von den Beschäftigten angesprochen wurden. Diese Nachteile zeigen die empfundenen negativen Auswirkungen auf die Produktivität bei der Arbeit mit dem neuen System auf:

- Zeitlicher Aufwand bei der Bedienung des digitalen Assistenzsystems
- Flexibilitätseinbuße in der gesamten Montage während der Einführungsphase
- Überforderung einiger Beschäftigter aufgrund der umfangreichen Funktionen des Systems

Hier wird deutlich, dass ein wesentlicher Bestandteil eines neuen Systems die Einführungsphase ist. Für Unternehmen und deren Beschäftigte ist es daher besonders wichtig, einen transparenten Einführungsprozess zu gewährleisten, die Beschäftigten bei Entscheidungen mit einzubeziehen und ihr Feedback entsprechend wertzuschätzen. So können die genannten negativen Auswirkungen minimiert werden. Weiterhin wurden Vor- und Nachteile ohne einen direkten Bezug zur Produktivität des Montagesystems erfasst:

- Organisatorische Vorteile
- Papierlose Montage
- Vereinfachte (untertägige) Kapazitätsplanung für die Meister
- Verbesserte Transparenz durch Auswertung von Daten
- Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle (Verknüpfung von Serialnummern mit der Software der einzelnen Produkte – Traceability)
- Stärkere Abhängigkeit von der IT
- (Noch) Fehlende Schnittstellen zu anderen IT-Systemen

Mithilfe dieses Inputs kann das Unternehmen weitere Schritte in Richtung einer optimalen Einführung und stetigen Verbesserung eines digitalen Assistenzsystems gehen. Allerdings sind diese Punkte nicht relevant für die Betrachtung der Produktivität, welche hier im Fokus steht.

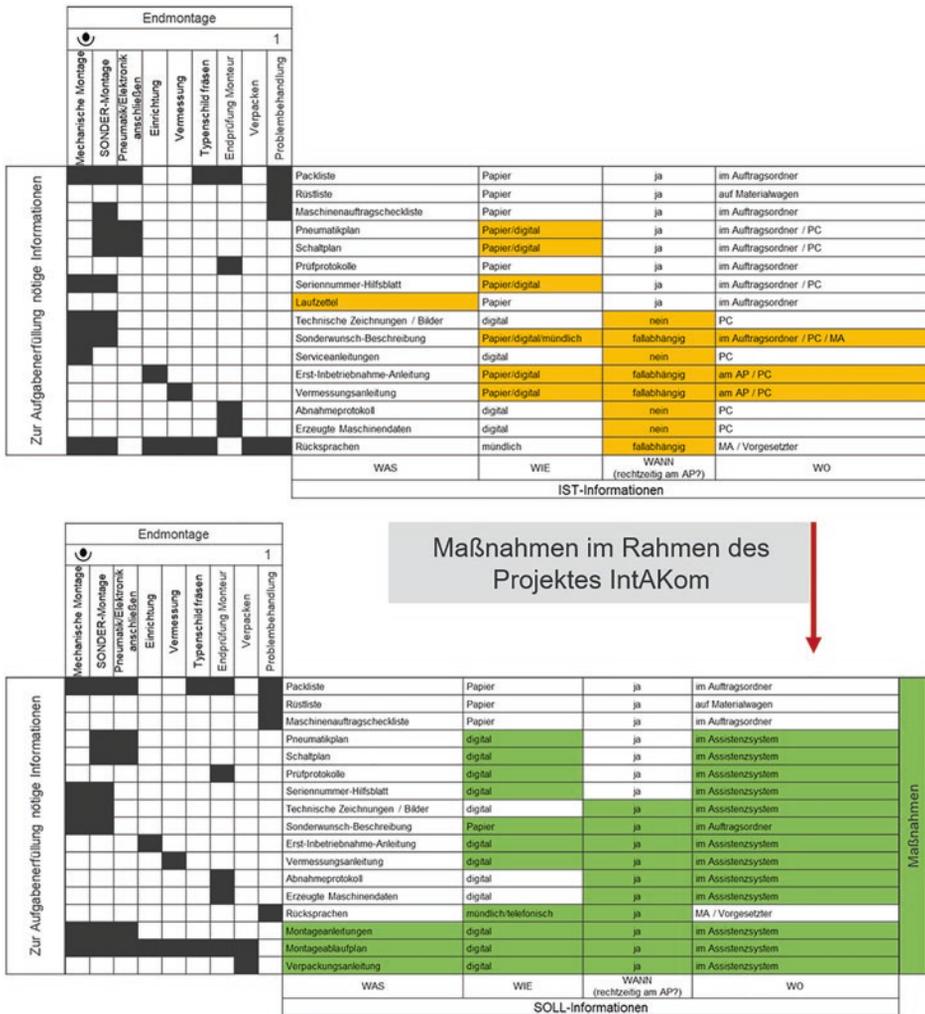
**Qualitative Bewertung der Informationsversorgung** Zudem bietet sich im Rahmen des Forschungsprojektes die Möglichkeit, die Informationsversorgung vor und nach dem Einsatz des neu entwickelten digitalen Assistenzsystems zu vergleichen. Anhand dieser Gegenüberstellung lässt sich eine deutliche Verbesserung der Informationsversorgung der Montagebeschäftigten erkennen (siehe Abb. 5.10). In der Gegenüberstellung ist gut zu erkennen, dass viele Informationen für die Beschäftigten der Montage vor Einführung des Assistenzsystems nicht oder nur schwer zu erhalten waren. Durch die gebündelte und einfache Bereitstellung der relevanten Informationen am Arbeitsplatz werden die Arbeitsbedingungen entschieden verbessert. Dies führt durch eine bedarfsorientierte Ausgestaltung bei den Projektpartnern zu den bereits aufgezeigten Einflussmöglichkeiten des digitalen Assistenzsystems.

### 5.3.4 Beitrag zu übergeordneten Zielen

Das Programm „Zukunft der Arbeit“ bildet eine von drei Säulen des Dachprogramms „Innovation für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“. Das Dachprogramm verbindet im Rahmen der neuen Hightech-Strategie die Teilbereiche Produktion, Dienstleistung und Arbeit in zukünftigen digitalisierten Umgebungen.

Mit der Digitalisierung von Herstellungsverfahren ändern sich auch in industriellen Produktionsumgebungen die Arbeitsinhalte und das Arbeitsumfeld der Beschäftigten. Gegenwärtige Konzepte autonomer Produktionssysteme, die auf eine weitgehende Automatisierung abzielen, orientieren sich vorrangig an wirtschaftlichen oder technologischen Kriterien. Merkmale einer lern- und gesundheitsförderlichen Arbeitsgestaltung spielen darin oft eine untergeordnete Rolle. Deshalb sind neue Ansätze der Gestaltung menschlicher Arbeit im Sinne der Beschäftigten erforderlich.

Im Projekt wurde Produktion in den Verbundunternehmen als sozio-technisches System begriffen, um die technischen, personellen, organisatorischen und strategischen



**Abb. 5.10** Auswirkung digitaler Assistenz auf die Informationsversorgung. (Eigene Darstellung PTW)

Zusammenhänge zu analysieren und zu gestalten. Dieser Ansatz bezieht sich auf unterschiedliche Aspekte der drei thematischen Forschungs- und Entwicklungsbereiche, wobei der Schwerpunkt auf der „Ergonomischen und gesundheitsförderlichen Arbeitssystemgestaltung im digitalen Zeitalter“ liegt.

Hier sind auch die Ziele des Projektverbundes und die Teilziele der Projektpartner verortet. Seitens der Ziele der beteiligten Institute geht es um die

- Methode zur Definition von Einsatzmöglichkeiten, Überprüfung der technischen Umsetzbarkeit sowie einer systematischen Nutzenbewertung von Kommunikationstechnologien entlang des Wertstroms,
- Arbeits- und Tätigkeitsgestaltung, Kompetenzentwicklung und Lernen im Prozess der Arbeit auf Mitarbeiterebene, Auswirkungen von technologischen, organisatorischen und regulativen Veränderungen auf den Menschen und Unterstützung der Veränderungsprozesse,
- Analyse und Gestaltung von Arbeits- und Organisationskulturen bei der Aufwertung und lernförderlichen Ausgestaltung von Arbeit in der Montage mithilfe digitaler Informations- und Kommunikationsmittel.

Die komplementären Ziele der drei beteiligten Unternehmen im Verbund waren

- der systematische Ansatz zur Aufwertung teilautomatisierter oder manueller Arbeitsabläufe für das Arbeitssystem hinsichtlich ihrer Lernförderlichkeit und dessen Validierung als Pilotanwender für den Dienstleistungssektor im Bereich industrieller Produktion,
- die systematische Aufwertung teilautomatisierter oder manueller Arbeitsabläufe für das Arbeitssystem hinsichtlich ihrer Lernförderlichkeit und dessen Validierung als Pilotanwender in der variantenreichen Serienproduktion,
- die Entwicklung von systematischen Ansätzen zur Interaktion von Mensch und Maschine in den Lebenszyklusphasen Montage, Inbetriebnahme und Bedienung sowie bei der Fehleranalyse und – behebung mit dem Ziel der Unterstützung bei der Bedienung und des Lernprozesses.

Daneben ging es in einem kleineren Teil im Bereich „Digitalisierung der Arbeit als soziale Innovationschance“ um die Frage, wie eine Balance zwischen betrieblichen und auftragsbezogenen Zeit- und Leistungserwartungen in Einklang gebracht werden kann mit den Ansprüchen an Arbeit der Beschäftigten.

Die entwickelten Lösungen wurden in den drei Anwenderunternehmen implementiert. Abschließend fließen die im Rahmen des Projektes validierte Methodik sowie die implementierten Good-Practice-Lösungen in ein Referenzmodell und eine übertragbare Vorgehensweise ein.

---

## 5.4 Lessons learned

Als Erfolgsfaktoren für die Einführung eines digitalen Assistenzsystems haben sich während der Projektlaufzeit eine Reihe von Aspekten herausgestellt, die nachfolgend näher beschrieben werden.

## **Vor Einführung eines digitalen Assistenzsystems**

### **Klare Zielsetzung und Anforderungen an das digitale Assistenzsystem**

Vor Projektbeginn haben die Verbundunternehmen klare Ziele an das digitale Assistenzsystem definiert, die sich während der Laufzeit anpassen bzw. erweitern lassen. In den durchgeführten Workshops haben sich folgenden Zielstellungen an das digitale Assistenzsystem als Kernpunkte herausgestellt: Erhöhung der Produktivität, Unterstützung der Beschäftigten, lernförderliche Arbeit, Kundenwünsche realisieren, bessere Anpassung an neue Produkte, Qualifikation der Beschäftigten, Fehlerreduzierung, papierlose Produktion, weniger Reklamationen, mehr Daten, schnelleres Arbeiten, Qualitätsverbesserung und Überwachung, Minimierung von Störungen, selbstbestimmtes Arbeiten sowie Aufwertung der Arbeit und Umgang mit moderneren Arbeitsmitteln. Auch eine Kombination aus mehreren Zielen ist dabei denkbar. Im weiteren Verlauf des Projektes wurden die Ziele von den Unternehmensvertretern priorisiert und zur Fokussierung in eine Auswahl an „Top-Themen“ überführt. Anschließend wurde der Status-quo sowie der Zielzustand formuliert.

### **Zusammensetzung der Arbeitsgruppe für die Umsetzung des digitalen Assistenzsystems**

Von einer zuvor bestimmten Arbeitsgruppe sollte geklärt werden, inwieweit das digitale Assistenzsystem intern oder extern programmiert wird. In dieser Arbeitsgruppe sollten nicht nur Führungskräfte, Abteilungsleiter oder andere Vertreter des mittleren Managements vertreten sein, sondern auch der Betriebsrat und eine Beschäftigtengruppe, die später mit den Assistenzsystemen arbeiten würde. Gerade der Betriebsrat sollte die bevorstehenden Veränderungen positiv nach Außen kommunizieren und den laufenden Prozess mitgestalten, um die Akzeptanz aller Beschäftigten zu erhöhen. Wichtig sind hierbei eine klare Aufgabenverteilung im Rahmen der Einführung und die Freistellung von Kapazitäten bei den betroffenen Beschäftigten. Während des Einführungsprozesses spielt die Führung der Arbeitsgruppe eine entscheidende Rolle.

### **Information und Partizipation der Beschäftigten vor und während der Einführung eines digitalen Assistenzsystems**

Während aller Prozesse werden die Beschäftigten über die bevorstehenden Veränderungen informiert. So können frühzeitig Ängste genommen und die Beschäftigten auf die bevorstehenden digitalen Veränderungen vorbereitet werden. Der Mehrwert des digitalen Assistenzsystems muss den Beschäftigten aufgezeigt werden. In den Mitarbeiterbefragungen und Beschäftigteninterviews in den Verbundunternehmen wurde deutlich, dass sich die Beschäftigten mehr Partizipation und Mitsprache, Abwechslung, Verantwortung und Selbstständigkeit bei der Arbeit wünschen. Die Möglichkeit neue Dinge zu lernen, regelmäßig Informationen zu bekommen und gleichzeitig den Zusammenhalt und die Zusammenarbeit positiv zu fördern, wurde ebenfalls gewünscht. Schon bei der Funktionalität des Assistenzsystems sollten daher die Beschäftigten ein-

bezogen werden. Sie kennen die alltäglichen Anforderungen (Spezialisten für die eigenen Arbeitsplätze) und können sehr hilfreiche Anregungen mit einfließen lassen. In dem Verbundunternehmen hat sich gezeigt, dass es erfolgsversprechend ist, das digitale Assistenzsystem während der einzelnen Entwicklungsphasen an einem Pilotarbeitsplatz zu testen und einen gezielten Schulungsplan zu entwickeln.

### **Während der Einführung eines digitalen Assistenzsystems**

#### **Einarbeitung mittels Schulungsplan**

Erst nach der erfolgreichen Testphase werden die digitalen Assistenzsysteme an den einzelnen Arbeitsplätzen eingesetzt die Beschäftigten eingearbeitet und mittels Schulungsplan gezielt geschult. Dabei sollte die Einarbeitung der Beschäftigten direkt an den Arbeitsplätzen erfolgen. Für den laufenden Prozess können sogenannte Key-User ausgebildet werden, die bei aufkommenden Fragen oder Störungen Abhilfe leisten können. So wird nicht permanent die Führungskraft bei Rückfragen zum System benötigt. Die klare Definition von Rollen und Ansprechpartnern ist daher als weiterer Erfolgsfaktor anzubringen.

#### **Ergonomie**

Die grundsätzliche ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze darf bei der Einführung von digitalen Assistenzsystemen nicht außer Acht gelassen werden. In welchem Bereich des Arbeitsplatzes werden z. B. die Bildschirme angebracht. Auch die Zugänglichkeit für alle Beschäftigten muss gewährleistet werden.

### **Nach Einführung eines digitalen Assistenzsystems**

#### **Veränderungen des digitalen Assistenzsystems nach einem bestimmten Zeitraum**

Veränderungen an dem implementierten Assistenzsystem sollten über einen gewissen Zeitraum gesammelt und zu vereinbarten Terminen eingepflegt werden, um die Beschäftigten nicht zu verwirren und Frustrationen zu vermeiden. Das digitale Assistenzsystem sollte für den laufenden Prozess bereits ein fortgeschrittenes Stadium erreicht haben.

#### **Klare Entgeltvereinbarungen**

Fehlen Vereinbarungen zwischen den betrieblichen Sozialpartnern über die Rahmenbedingungen der digitalen Assistenzsysteme allgemein und/oder über die Einführung, wie z. B. Qualifizierung oder Entgelt, führt dies zwangsläufig zu Irritationen bei den Beschäftigten.

## Literatur

1. acatech (Hrsg) (2016) Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. <https://www.acatech.de/publikation/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-4-0-erste-ergebnisse-und-schlussfolgerungen/>. Zugegriffen: 10. Juli 2019
2. Anlauff W, Habenicht T (2018) Arbeit 4.0 – Ein Plädoyer für Weiterbildung und Arbeitsgestaltung. In: ffw GmbH (Hrsg) Zukunftsfähiges Kompetenzmanagement – prospektiv, lebensphasenorientiert und regional flankiert. Eigenverlag, Nürnberg, S 20–29
3. Arenius M, Klippert J, Ott A, & Sträter O (2013) Ceyberman: Ein Messsystem zur Ermittlung der Arbeitsbelastung [Ceyberman: A System for Measuring Physical and Cognitive Workload], EI – Der Eisenbahningenieur 64(7):36–39
4. Bauernhansl T (2014) Die Vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Vieweg, Wiesbaden, S 31
5. Becker J, Winkelmann A (2014) Entwicklung einer Controlling- Konzeption. In: Becker J und Winkelmann A (Hrsg) Handelscontrolling. Springer, Berlin, Heidelberg, S 59–61
6. Bigalk D (2006) Lernförderlichkeit von Arbeitsplätzen – Spiegelbild der Organisation? Eine vergleichende Analyse (Englisch, 2018) von Unternehmen mit hoch und gering lernförderlichen Arbeitsplätzen. Zugl.: Kassel, Univ., Diss. Schriftenreihe Personal- und Organisationsentwicklung: Bd. 3. Kassel Univ. Press, Kassel
7. Englisch F (2018) MABO – Ein ganzheitliches Verfahren zur Gefährdungsanalyse von psychischer Belastung am Arbeitsplatz. In: Trimpop R, Kampe J, & Bald M (Hrsg), 20. Workshop Psychologie der Arbeitssicherheit und Gesundheit: Voneinander lernen und miteinander die Zukunft gestalten!, S 725–728
8. Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (2015) Digitalisierung industrieller Arbeit. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, S 15
9. Jung R (2006) Architekturen zur Datenintegration. Gestaltungsempfehlungen auf der Basis fachkonzeptueller Anforderungen. Deutscher Universitäts-Verlag (Wirtschaftsinformatik), Wiesbaden, S 51
10. Jung R (2006) Architekturen zur Datenintegration. Gestaltungsempfehlungen auf der Basis fachkonzeptueller Anforderungen. Deutscher Universitäts-Verlag (Wirtschaftsinformatik), Wiesbaden, S 105
11. Meudt T, Metternich J, Abele E (2017) Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. CIRP Annals – Manufacturing Technology 66:413–416
12. [13] Oesterreich R, Leitner K, Resch M (2000) Analyse psychischer Anforderungen und Belastungen in der Produktionsarbeit: Das Verfahren RHIA/VERA-Produktion. Hogrefe, Göttingen
13. Reinhart G, Bengler K, Dollinger Ch, Intra C, Lock Ch, Popova-Dlugosch S, Rimpau Ch, Schmidler J, Teubner S, Vernim S (2017) Der Mensch in der Produktion von Morgen. Das Konzept Mensch – Technik – Organisation (MTO). In: Reinhart, G (Hrsg) Handbuch Industrie 4.0. Carl Hanser Verlag, München, S 55
14. Steffgen G (2004) Betriebliche Gesundheitsförderung: Problembezogene psychologische Interventionen. Psychologie für das Personalmanagement: Vol. 23. Hogrefe, Göttingen
15. Straeter O, Schmidt S, Stache S, Saki M, Wakula J, Bruder R, Glitsch U, Ditschen D (2018) Forschungsvorhaben „U-Linien-Montagesysteme“ U-Linien-Montagesysteme – Instrumente zur Gefährdungsbeurteilung und arbeitswissenschaftliche Gestaltungsempfehlungen zur Prävention.: Abschlussbericht BGHM

16. Wirtschaftslexikon Arbeitsproduktivität. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/arbeitsproduktivitaet-30245/version-253833>. Zugegriffen: 30. Juli 2019
17. Wirtschaftslexikon Produktivität. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/produktivitaet-46151/version-269437>. Zugegriffen: 31. Juli 2019

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Informatorische Assistenzsysteme in der variantenreichen manuellen Montage

# 6

Ein Beitrag zur Steigerung von Montageproduktivität bei gleichzeitiger Reduktion von kognitiver Beanspruchung

Dominic Bläsing, Manfred Bornewasser, Sven Bendzioch, Sven Hinrichsen, Alexander Nikolenko und Philip Sehr

## Zusammenfassung

Die zunehmende Komplexität von manuellen Montageprozessen wirft in Unternehmen die Frage auf, wie die damit verbundenen Anforderungen an die Verarbeitung größerer Informationsmengen und die damit einhergehenden Zuwächse an kognitiven Beanspruchungen infolge zunehmender Unsicherheit seitens der Beschäftigten zu bewältigen sind. Eine Antwort hierauf liegt in der Integration von informatorischen Assistenzsystemen in bestehende Montagesysteme. Erklärtes Ziel solcher Assistenzsysteme ist die informatorische Unterstützung der Beschäftigten in der Form, dass in der Summe eine kognitive Entlastung erfolgt, die zu weniger Zeitverlusten und Montagefehlern und damit zu einer höheren Produktqualität führt. Dies setzt voraus, dass informatorische Assistenzsysteme nach kognitiv-ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet sind und ihr Einsatz durch eine möglichst objektive Erfassung von kognitiven Beanspruchungen vor Ort am konkreten Arbeitsplatz begleitet wird.

---

D. Bläsing (✉) · M. Bornewasser  
Institut für Psychologie, Universität Greifswald, Greifswald, Deutschland  
E-Mail: [dominic.blaesing@uni-greifswald.de](mailto:dominic.blaesing@uni-greifswald.de); [bornewas@uni-greifswald.de](mailto:bornewas@uni-greifswald.de)

S. Bendzioch · S. Hinrichsen · A. Nikolenko  
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe,  
Lemgo, Deutschland  
E-Mail: [sven.bendzioch@th-owl.de](mailto:sven.bendzioch@th-owl.de); [sven.hinrichsen@th-owl.de](mailto:sven.hinrichsen@th-owl.de);  
[alexander.nikolenko@th-owl.de](mailto:alexander.nikolenko@th-owl.de)

P. Sehr  
Institut für industrielle Informationstechnik,  
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Deutschland  
E-Mail: [philip.sehr@th-owl.de](mailto:philip.sehr@th-owl.de)

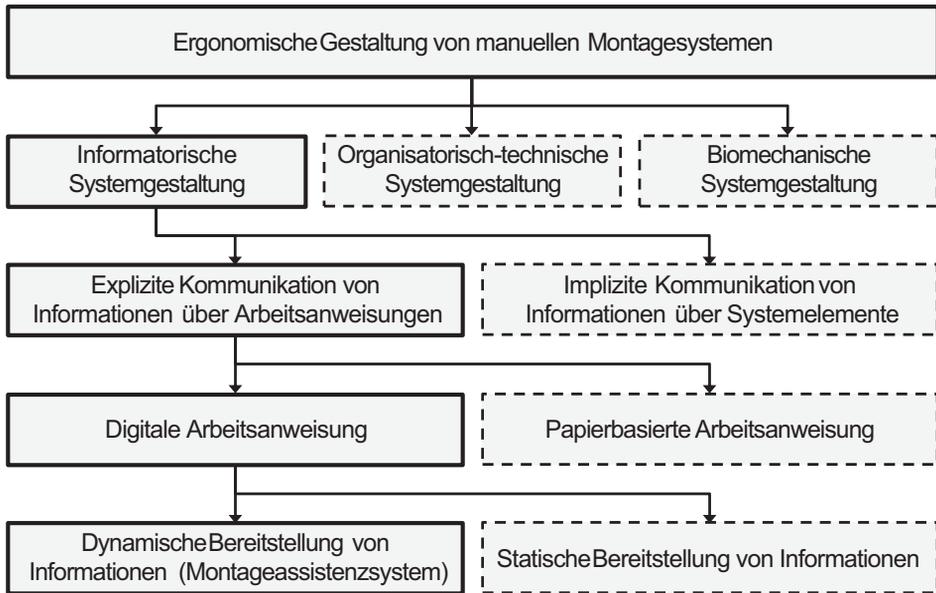
## 6.1 Ausgangssituation

Je größer die Komplexität der manuellen Montageaufgabe aus Sicht der Beschäftigten ist, desto stärker ist der Fokus auf die informatorische Gestaltung des Montagesystems zu legen. Komplexität resultiert dabei aus einer hohen Anzahl an Produkt- bzw. Teilevarianten, aus kleinen Losgrößen und aus einer hohen Dynamik von Produktänderungen und -weiterentwicklungen [44]. Neben dem Trend zur Mehrproduktmontage [10] lassen sich weitere Entwicklungen beobachten, die zu einer steigenden Komplexität führen. Zu diesen zählt die Integration zusätzlicher Funktionen in Produkte, wodurch die Anzahl zu montierender Komponenten ansteigt [7]. Zudem werden mehr und mehr mechatronische Produkte entwickelt, sodass in der Montage zusätzliche Vorschriften, etwa zum ESD-Schutz, zu beachten sind. Zusätzlich sind diese Produkte vielfach mit einer Firmware zu versehen oder umfangreichen Funktionsprüfungen zu unterziehen [5].

Empirische Untersuchungen zur Informationsbereitstellung in der manuellen Montage zeigen, dass – in Ergänzung zu Hollnagel [26] – fünf Defizitkategorien unterschieden werden können [24]: 1) Benötigte Informationen fehlen im Montagesystem. 2) Es werden unnötige Informationen dargestellt. 3) Informationen werden zum falschen Zeitpunkt und in der falschen Menge bereitgestellt. 4) Informationen sind nicht aktuell und/oder 5) nicht so aufbereitet, dass diese einfach vom Beschäftigten aufgenommen und verarbeitet werden können. Konsequenzen sind beispielsweise Aufgabenunterbrechungen, Suchvorgänge, Rücksprachen mit Konstrukteuren oder Nacharbeiten, die zu einer geringen Akzeptanz des Informationsmanagements führen. Diese Defizite in Verbindung mit neuen technologischen Möglichkeiten haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren unterschiedliche Assistenzsystemtechnologien für die Montage entwickelt und implementiert wurden.

Die informatorische Gestaltung eines manuellen Montagesystems ist gemäß Abb. 6.1 ein Teilgebiet der ergonomischen Montagesystemgestaltung [32]. In diesem Teilgebiet wird der Frage nachgegangen, wie Informationen darzustellen sind, damit die sensorische Aufnahme und Verarbeitung dieser Informationen effektiv und effizient erfolgen können. Effizienz bedeutet, dass der Prozess der Informationsaufnahme und -verarbeitung durch den Menschen eine möglichst kurze Zeit in Anspruch nehmen soll. Unter Effektivität wird verstanden, dass die aus der Informationsverarbeitung folgenden Montagehandlungen zu dem gewünschten Ergebnis, dem fehlerfrei montierten Produkt, führen. Zugleich soll die mentale Beanspruchung der Mitarbeiter, die infolge des Trends zu einer steigenden Komplexität zugenommen hat, auf ein angemessenes Maß reduziert werden [25].

Die informatorische Montagesystemgestaltung kann gemäß Abb. 6.1 explizit über Arbeitsanweisungen oder implizit über die Gestaltung von Montagesystemelementen erfolgen [25]. Eine implizite Gestaltung liegt etwa vor, wenn Teilebehälter, Werkzeuge



**Abb. 6.1** Einordnung von Assistenzsystemen in die ergonomische Montagesystemgestaltung [25]

und Vorrichtungen mit Farbcodes versehen werden [45]. Diese Farbcodes signalisieren dem Beschäftigten beispielsweise, dass die mit einer Farbe gekennzeichneten Objekte einem Bausatz oder Produkttyp zuzuordnen sind. Auch können über die Produktgestaltung informatrische Aspekte Berücksichtigung finden. Zum Beispiel kann das Risiko einer Verwechslung von Teilen, die in ihrer Geometrie sehr ähnlich sind, während der Montage reduziert werden, indem bei der Produktgestaltung besondere taktile oder optische Merkmale berücksichtigt werden [32].

Die explizite Informationsübermittlung kann über Arbeitspapiere [46] oder in digitaler Form vorgenommen werden. Die digitale Informationsbereitstellung wiederum kann im Hinblick auf die Menge an Informationen und den Zeitpunkt der Bereitstellung einzelner Informationen statisch oder dynamisch erfolgen [25]. Eine statische Informationsbereitstellung liegt vor, wenn zu einem Produkt eine Montageanleitung – zum Beispiel in Form eines PDF-Dokuments – existiert und diese in ihrer Gesamtheit – zum Beispiel an einem Bildschirm – ausgegeben wird. Eine dynamische Informationsbereitstellung liegt vor, wenn Informationen bedarfs- und situationsgerecht dem Beschäftigten übermittelt werden. Ein technisches System zur dynamischen Bereitstellung von Informationen wird als Assistenzsystem bezeichnet. Assistenzsysteme nehmen Daten über Sensoren und Eingaben auf und verarbeiten diese, um den

Beschäftigten die richtigen Informationen („what“) zur richtigen Zeit („when“) in der gewünschten Form („how“) bereitzustellen [10, 22, 26].

Während die Automation darauf abzielt, menschliche Tätigkeiten durch Maschinen vollständig zu substituieren, kombinieren Assistenzsysteme die besonderen Fähigkeiten des Menschen mit den positiven Eigenschaften von technischen Systemen. Montageassistenzsysteme können dabei helfen, funktionale Einschränkungen des Menschen auszugleichen (Kompensation), die Gesundheit des Menschen zu erhalten (Prävention) und Lernprozesse des Menschen zu unterstützen (Befähigung) [1]. Darüber hinaus tragen informatorische Assistenzsysteme dazu bei, die Anlernzeiten von neuen Beschäftigten zu verkürzen, die Arbeitsproduktivität zu steigern, Montagefehler zu vermeiden und damit die Produktqualität zu sichern [47]. Zudem leisten informatorische Assistenzsysteme einen entscheidenden Beitrag zur Schaffung durchgängiger digitaler Wertschöpfungsketten in Betrieben. Sie steigern daher auch die Produktivität in administrativen Bereichen, da die Gestaltung und Verwaltung von Montageanleitungen vereinfacht wird [23].

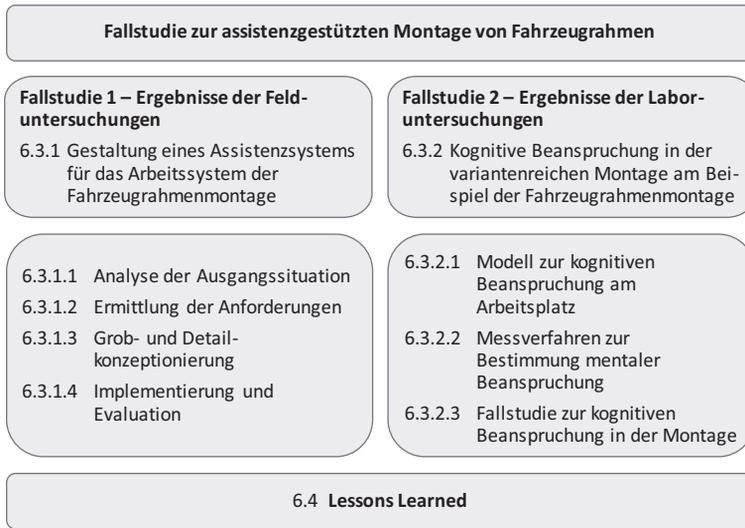
Das in diesem Beitrag dargestellte Fallbeispiel beinhaltet die Montage von LKW-Aufbauten. Diese erfolgt sequenziell an einer Reihe von Arbeitsstationen. An einer Arbeitsstation sind zumeist jeweils ein oder zwei Beschäftigte tätig, die vielfach mehr als eine Stunde benötigen, um die Montageverrichtungen für ein Fahrzeug an der Station durchzuführen. Nachfolgend werden die Ergebnisse von Labor- und Felduntersuchungen zur Arbeitsstation Rahmenmontage dargestellt. Ein Rahmen besteht aus zwei Längsträgern und zumeist mehr als zehn Querträgern. Auf diesem Rahmen erfolgt an nachfolgenden Arbeitsstationen die Montage des LKW-Aufbaus.

---

## 6.2 Vorgehensweise zur Zielerreichung

Dieser Beitrag beinhaltet die Ergebnisse von Feld- und Laborstudien zur Arbeitsstation der Rahmenmontage eines Herstellers von LKW-Aufbauten. Eine Übersicht zur Struktur des Kapitels wird in Abb. 6.2 dargestellt. Im Rahmen der Feldstudie wird der Einführungs- und Gestaltungsprozess eines Montageassistenzsystems anhand des Fallbeispiels der Rahmenmontage aufgezeigt (Abschn. 6.3.1). Dieser Prozess orientiert sich dabei am REFA Standardprogramm Arbeitssystemgestaltung [38]. In einer ersten Phase wird die Ausgangssituation analysiert (Abschn. 6.3.1.1). Aufbauend auf dieser Analyse werden in einer zweiten Phase Anforderungen an das Assistenzsystem formuliert (Abschn. 6.3.1.2). In einer dritten Phase erfolgen die Grob- und Detailkonzeptionierung des Assistenzsystems (Abschn. 6.3.1.3). In einer vierten Phase wird das entwickelte Assistenzsystem testweise implementiert und evaluiert (Abschn. 6.3.1.4). In dieser Phase werden in einem iterativen Prozess Probleme identifiziert und anschließend eliminiert, sodass am Ende der Phase ein anforderungsgerecht gestaltetes Assistenzsystem vorliegt.

Ein weiteres Ziel dieses Beitrages ist es, zu dem Fallbeispiel der Montage von Fahrzeugaufbauten Laborergebnisse zur mentalen Beanspruchung darzustellen und



**Abb. 6.2** Struktur dieses Beitrages

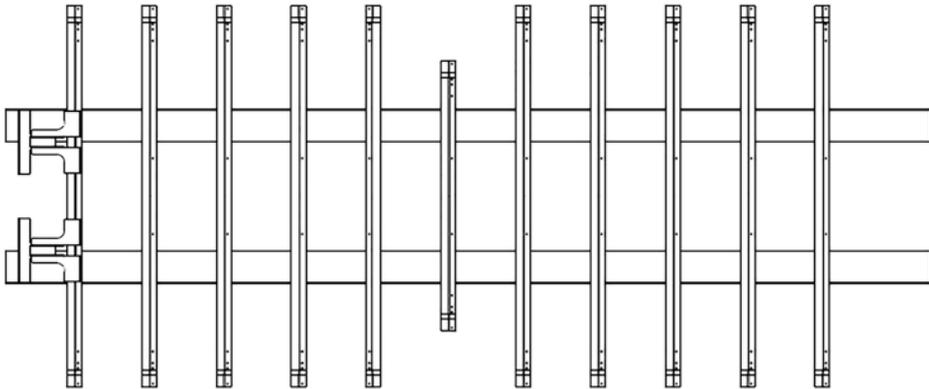
zu erörtern (Abschn. 6.3.2). Dabei geht es um die Frage, wie sich die informatrische Gestaltung der manuellen Montage auf die Beanspruchung der Beschäftigten auswirkt. Dazu wird zunächst kurz ein kognitionstheoretisch basiertes Modell zur mentalen Beanspruchung vorgestellt, bevor objektive Messverfahren erörtert werden. Aus den beiden Studien (Abschn. 6.3.1 und Abschn. 6.3.2) werden abschließend Gestaltungsempfehlungen für informatrische Assistenzsysteme abgeleitet (Abschn. 6.4).

## 6.3 Ergebnisse

### 6.3.1 Gestaltung eines Assistenzsystems für das Arbeitssystem der Fahrzeugrahmenmontage

#### 6.3.1.1 Analyse der Ausgangssituation

Um die Einsatzpotenziale eines Assistenzsystems zu ermitteln, wurden Arbeits- und Zeitstudien in dem Pilotbereich des Unternehmens durchgeführt [24]. Die Montage der Fahrzeugaufbauten erfolgt in dem Unternehmen sequenziell an mehreren Arbeitsstationen. In der Regel arbeiten ein oder zwei Mitarbeiter an einer Arbeitsstation, wobei die Montagearbeiten für ein Fahrzeug an einer Station oft mehr als eine Stunde dauern. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Arbeitsstudien zu der Arbeitsstation der Rahmenmontage vorgestellt. Abb. 6.3 zeigt einen montierten Rahmen in der Draufsicht. Dieser besteht aus zwei Längsträgern und zumeist mehr als zehn Querträgern. Der Rahmen wird in einer sehr großen Anzahl an Varianten montiert. Auf Basis des montierten Rahmens erfolgt die Montage des LKW-Aufbaus an den weiteren Arbeitsstationen.



**Abb. 6.3** Beispiel eines Rahmens in der Draufsicht, bestehend aus zwei Längsträgern und elf Querträgern [36]

Der Arbeitsprozess der Rahmenmontage lässt sich grob in sechs Arbeitsschritte unterteilen [24]. Der erste Schritt ist die Auftragsvorbereitung. Zunächst erkundigt sich der Mitarbeiter bei seinen Kollegen von der nachfolgenden Arbeitsstation, welcher Fertigungsauftrag als nächstes bearbeitet werden soll. Anschließend sucht er die entsprechenden Auftragspapiere heraus. Der Auftrag wird im ERP-System registriert, indem der auf den Auftragspapieren aufgedruckte Barcode gescannt wird. Der Mitarbeiter erhält dann einen Überblick über den Auftrag, indem er sich die Stücklisteninformationen auf den Auftragspapieren ansieht. Zusätzlich sucht der Mitarbeiter die entsprechende Konstruktionszeichnung aus dem Dokumentenverzeichnis auf dem Server. Er öffnet das entsprechende Dokument mit der Zeichnung, um die Abstände der einzelnen Querträger sowie weitere Auftragsinformationen (z. B. Anzahl und Lage der Befestigungswinkel, Anzahl und Position der Bohrungen) zu erhalten. Der Mitarbeiter notiert zunächst einzelne Informationen auf einem Blatt Papier. Im zweiten Schritt werden die Längsträger mit einem Plasmaschneider auf die vorgegebenen Längen gekürzt und nachbearbeitet. In einem dritten Schritt stellt der Mitarbeiter die Längsträger auf dem Montagetisch bereit und fixiert diese. In einem vierten Schritt werden mit einem Maßband und einem Stift die Befestigungspositionen der Querträger sowie die Positionen der Verstärkungsplatten und -winkel markiert. In einem fünften Schritt erfolgt die Montage durch Bereitstellen der Querträger und anderer Elemente. Die Querträger werden anhand der Markierungen ausgerichtet und mit den Längsträgern verschraubt. Im sechsten und letzten Schritt wird der fertige Rahmen zur nächsten Arbeitsstation bewegt und der Auftrag im ERP-System als „abgeschlossen“ gekennzeichnet.

Um das Potenzial für die Implementierung eines Assistenzsystems quantifizieren zu können, wurde eine Zeitstudie durchgeführt. Dazu wurde der gesamte Arbeitsablauf

in Ablaufabschnitte unterteilt. Die Ablaufabschnitte wurden dabei unterschiedlichen Ablaufarten zugeordnet. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Grundzeit durch eine Verbesserung des Informationsmanagements um bis zu 7 min (13 %) reduziert werden kann. Verbesserungspotenziale im Hinblick auf die Bereitstellung von Informationen bestehen vor allem zu den Arbeitsschritten 1 (Auftragsvorbereitung), 4 (Ermitteln und Markieren der Befestigungspositionen) und 6 (Fertigmelden des Auftrags am Terminal). In Schritt 1 besteht das Problem darin, dass nicht sofort ersichtlich ist, welcher Auftrag als nächstes zu bearbeiten ist, da die Aufträge nicht nach Priorität oder Fälligkeit sortiert sind. Ein weiteres Problem ist, dass die Konstruktionszeichnung Daten für die gesamte Konstruktion des LKW-Aufbaus enthält, sodass der Mitarbeiter aus dieser komplexen Gesamtkonstruktionszeichnung die relevanten Daten für seine Arbeitsstation auswählen muss. Weiterhin sind einige Längsträger zu kürzen, die Längenangaben sind aus der Zeichnung zu entnehmen. Die bereitgestellte Stückliste enthält zudem auch Teilepositionen, die an der nachfolgenden Arbeitsstation montiert werden, sodass an diesem Arbeitsplatz insgesamt deutlich mehr Informationen zur Verfügung stehen als benötigt werden. Die Darstellung von unnötigen Informationen führt zu Suchaufwand und einem erhöhten Fehlerrisiko. Darüber hinaus werden die benötigten Informationen vom Beschäftigten in der Regel auf einem Blatt Papier notiert, um ein wiederholtes Sichten der Zeichnung und der Stückliste während des Montageprozesses zu vermeiden. Bei Schritt 4 besteht das Problem, dass die Informationen aus dem Modell (CAD-Zeichnung) auf das reale Arbeitsobjekt übertragen werden müssen, indem Abstände gemessen und Markierungen per Stift vorgenommen werden. Schritt 6 beinhaltet Verbesserungspotenziale, da der Beschäftigte sich erneut am Terminal anmelden muss, um über mehrere Schritte im ERP-System den Auftrag fertig zu melden.

### 6.3.1.2 Ermittlung der Anforderungen

Auf Basis einer umfangreichen Analyse und Bewertung der Ausgangssituation mittels Arbeits- und Zeitstudien [24] wurden Anforderungen an das Assistenzsystem ermittelt [36]. Im Hinblick auf den Arbeitsschritt 1 (Auftragsvorbereitung) soll das Assistenzsystem die Aufträge automatisch nach ihrer Priorität sortieren. Darüber hinaus ist automatisch die passende Konstruktionszeichnung aufzurufen. Dabei sollen dem Montagemitarbeiter im Hinblick auf die nachfolgenden Arbeitsschritte nur noch die relevanten Informationen so angezeigt werden, dass er diese schnell erfassen kann. In diesem Zusammenhang soll auch der Bildschirm des Computer-Terminals durch einen deutlich größeren ersetzt werden, damit alle Informationen auch aus größerer Entfernung sichtbar sind. Dadurch ist es z. B. für den Beschäftigten möglich, Abmessungen direkt vom Bildschirm abzulesen und auf den Längsträger zu übertragen. Insgesamt soll das zu entwickelnde Assistenzsystem die wahrgenommene informatrische Komplexität der Montageaufgabe senken, sodass

- die daraus resultierende kognitive Beanspruchung des Beschäftigten reduziert wird,
- die Anlernzeiten für neue Beschäftigte verkürzt werden,
- die Anzahl der Montagefehler verringert wird,
- die Arbeitsproduktivität durch Verringerung der Anzahl der Entscheidungen und Verkürzung der Such- und Orientierungszeiten gesteigert wird.

Ferner soll eine durchgängige digitale Prozesskette realisiert werden, indem die benötigten Informationen automatisch aus den CAD-Zeichnungen ausgelesen und dem Beschäftigten angezeigt werden. Darüber hinaus soll den Bedürfnissen der Beschäftigten dahingehend Rechnung getragen werden, dass die Benutzeroberfläche der Software des Assistenzsystems individuell angepasst werden kann.

### 6.3.1.3 Grob- und Detailkonzeptionierung

Die Gestaltung des Assistenzsystems erfolgte unter Berücksichtigung eines benutzergerichten Entwicklungsprozesses, in dem die Bedürfnisse der Mitarbeiter der Rahmenmontage im Mittelpunkt stehen [36]. Das Konzept des Assistenzsystems besteht aus drei Ebenen, die in Abb. 6.4 dargestellt sind. Die Ebene, die in direktem Kontakt mit dem Benutzer steht, ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS). Über eine Benutzeroberfläche werden dem Beschäftigten alle relevanten Informationen zum Arbeitsauf-

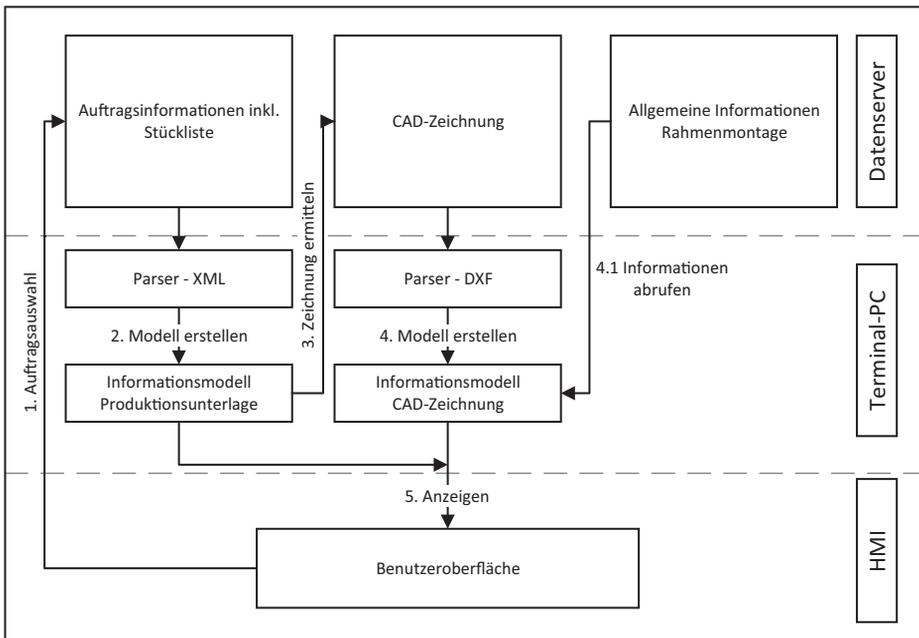


Abb. 6.4 Konzept des Assistenzsystems [36]

trag angezeigt. Auch kann der Benutzer spezielle Informationen abrufen. Die nächste Ebene ist das Back-End, in diesem Fall der Terminal-PC am Arbeitsplatz. Diese Ebene beinhaltet die eigentliche Umsetzung der Systemfunktionen. Dazu gehören alle Prozesse, die der Nutzer nicht direkt wahrnimmt, wie z. B. Netzwerkkommunikation oder Datenverarbeitung. Die dritte Ebene des Konzeptes wird als Datenebene bezeichnet. Dieses Ebene beinhaltet alle Daten, die für die Funktion des Assistenzsystems notwendig sind.

Die nummerierten Pfeile stellen die Reihenfolge der einzelnen Arbeitsschritte dar. Zunächst wählt der Mitarbeiter aus dem Dokumentenverzeichnis einen noch nicht bearbeiteten Auftrag aus (1. Auftragsauswahl). Die Informationen zu diesem Auftrag werden dann aus dem ERP-System heruntergeladen. Im ERP-System sind die Auftragsinformationen in einer XML-Datei hinterlegt, was die algorithmische Verarbeitung vereinfacht. Im zweiten Schritt wird ein Parser verwendet, um aus der XML-Datei ein Informationsmodell zu erstellen, das alle wichtigen Daten enthält. Ein Parser ist ein Programm, welches Daten analysiert, verarbeitet und in ein für die weitere Verwendung geeignetes Format umwandelt. Die Konstruktionszeichnung eines Auftrags kann aus den Daten der Auftragsinformation ermittelt und dann ebenfalls aus dem ERP-System heruntergeladen werden (3. Zeichnung ermitteln). Die Konstruktionszeichnung wird im DXF-Format bereitgestellt. Dieses Format ermöglicht den Austausch von Zeichnungsdaten zwischen verschiedenen Plattformen. Für das Informationsmodell der Konstruktionszeichnung sind zusätzliche allgemeine Informationen über die Montage des Rahmens erforderlich. Um alle relevanten Teile aus der Zeichnung filtern zu können, muss bekannt sein, welche Teile für die Rahmenmontage relevant sind. Diese Zusatzinformationen werden in Schritt 4.1 abgerufen. Aus den Zusatzinformationen und der Konstruktionszeichnung wird anschließend mittels eines Parsers ein weiteres Informationsmodell erstellt (4. Modell erstellen). Sobald beide Informationsmodelle verfügbar sind, werden sie in der Benutzeroberfläche angezeigt.

Die Benutzeroberfläche ist in zwei Bereiche gegliedert: Auftragsinformationen (A) und Konstruktionsinformationen (B). Beide Bereiche sind für verschiedene Arbeitsschritte im Montageprozess ausgelegt. Teil A ermöglicht es, die Auftragsinformationen einzusehen und den nächsten Auftrag auszuwählen. Bei diesem Schritt befindet sich der Mitarbeiter direkt am Bildschirm. Teil B besteht aus zwei Teilen und zeigt eine Ansicht des Rahmens von der Seite und von oben, mit entsprechenden Informationen, wie in Abb. 6.5 dargestellt. Im Original der Konstruktionszeichnung ist ein Rahmen immer in der Seiten- und Draufsicht dargestellt. Diese Darstellung ist den Mitarbeitern vertraut und wird daher übernommen.

Bei der Markierung der Abmessungen am Längsträger muss sich der Mitarbeiter vom Bildschirm entfernen. Für diesen Fall wird dem Mitarbeiter ein erweitertes Menü angezeigt, in dem er unter anderem den in der Konstruktionszeichnung angezeigten Detaillierungsgrad und/oder die Schriftgröße der Abmessungen individuell anpassen kann. Um den Informationsdarstellungsbereich zu vergrößern, kann das Menü nach der Konfiguration ausgeblendet werden. Darüber hinaus wurde der bisherige 15"-Bildschirm durch einen 40"-Bildschirm ersetzt.

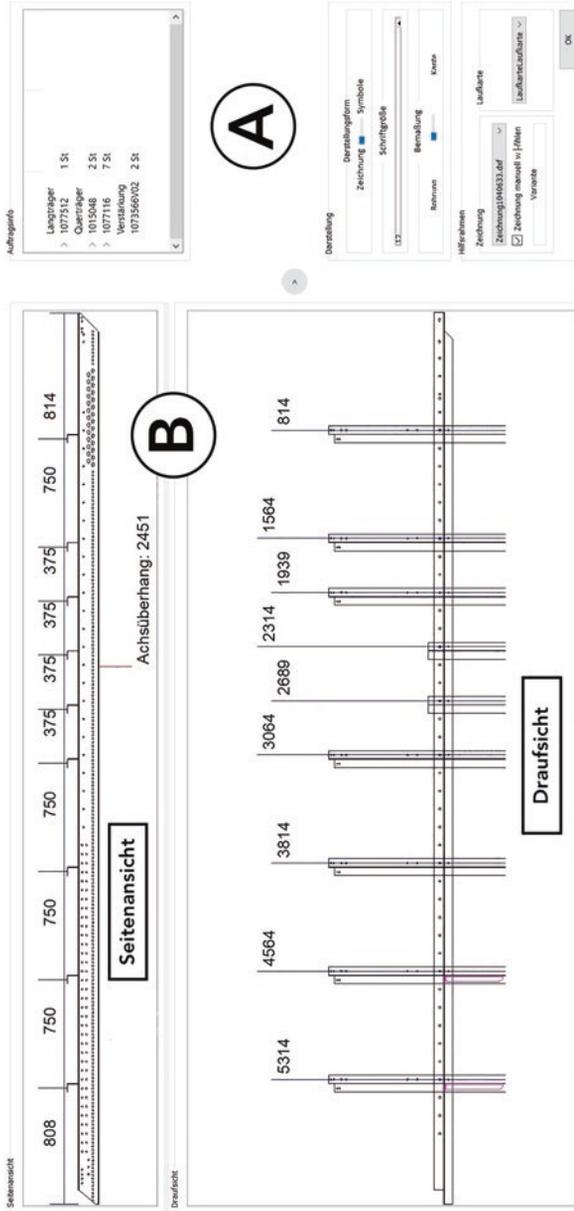
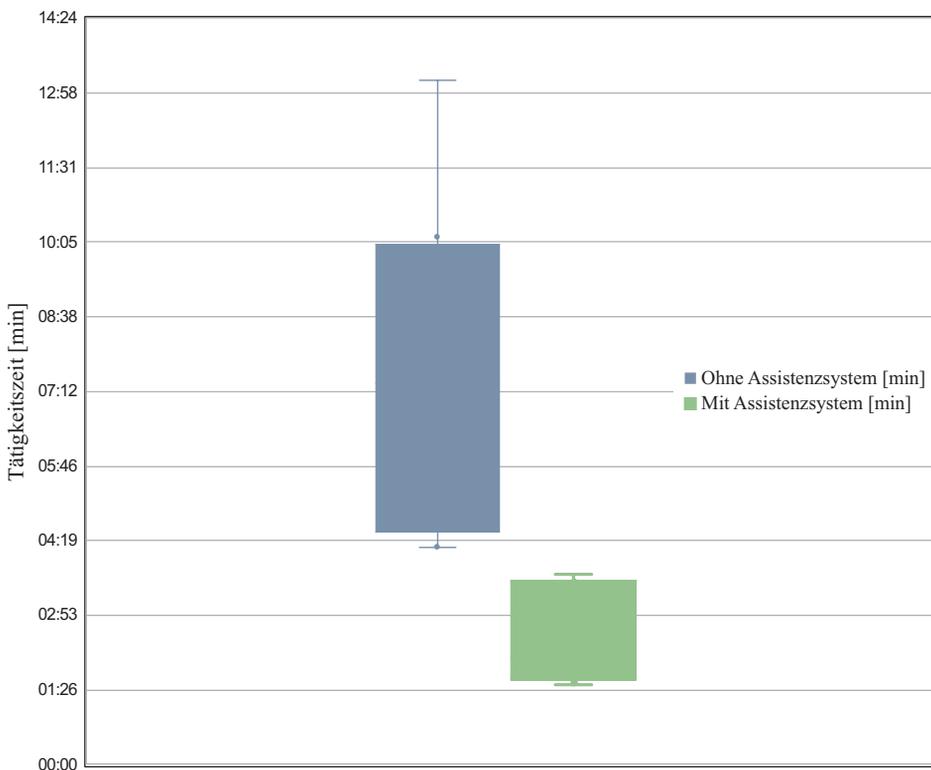


Abb. 6.5 Informationsmodell bestehend aus der Seitenansicht, Draufsicht und den Auftragsinformationen [36]

### 6.3.1.4 Implementierung und Evaluation

Nach der Einführung des Assistenzsystems zu Testzwecken wurde erneut eine Zeitstudie durchgeführt [36]. Gegenstand der Zeitstudie war wiederum die Montage von zehn Rahmen. Die Ergebnisse der Zeitstudien sind in Abb. 6.6 im Vergleich zu den Daten der Ausgangssituation dargestellt. Der Prototyp des Assistenzsystems wirkt sich bisher besonders positiv auf die Arbeitsschritte 1 und 4 aus. So entfallen mit der Einführung des Assistenzsystems beispielsweise die Zeiten für den ersten Schritt weitgehend. Es ist u. a. nicht mehr erforderlich, die Auftragsdaten und Zeichnungen manuell im System zu suchen sowie Maße auf einem Blatt Papier zu notieren. Die im sechsten Schritt bestehenden Probleme konnten bisher noch nicht mit dem Assistenzsystem gelöst werden. Deshalb wird der Schritt 6 im Folgenden nicht betrachtet. Mit Einsatz des Assistenzsystems konnte die durchschnittliche Montagezeit für den ersten und vierten Schritt von 7:32 min auf 2:26 min reduziert werden. Darüber hinaus konnte auch die Streuung der Zeiten verringert werden (Abb. 6.6). Das Beispiel zeigt, dass durch den Einsatz von Assistenzsystemen die Arbeitsproduktivität deutlich gesteigert werden kann.



**Abb. 6.6** Vergleich der Tätigkeitszeiten ohne Assistenzsystem (vorher) und mit Assistenzsystem (nachher) für die Arbeitsschritte 1 und 4 [36]

Allerdings ist kritisch anzumerken, dass der Aufwand zur Gestaltung und programmtechnischen Umsetzung des Assistenzsystems recht hoch war. In Zukunft bedarf es Lösungen, die sich einfach an die Anforderungen eines Arbeitssystems anpassen lassen, um ein besseres Verhältnis von Aufwand und Nutzen realisieren zu können.

Zur Evaluation der Benutzeroberfläche wurde die System Usability Scale (SUS) verwendet. Der Fragebogen besteht aus zehn Items, die Likert-skaliert sind. Die Skala gibt einen Überblick über subjektive Beurteilungen der Benutzerfreundlichkeit. Der SUS-Fragebogen wurde von den drei Mitarbeitern der Rahmenmontage ausgefüllt. Nach den Ergebnissen des Fragebogens ergab sich eine Usability von 77,5. Ein Richtwert für eine gute Gebrauchstauglichkeit liegt bei 68 oder höher. Somit ist die Usability der Benutzeroberfläche dieses ersten Prototyps als gut einzustufen. Daher kann festgestellt werden, dass mit dem realisierten Assistenzsystem aus Sicht der Beschäftigten bereits positive Effekte im Hinblick auf die Arbeitsgestaltung umgesetzt werden konnten. Im weiteren Verlauf des Projektes ist die Lösung weiter zu verbessern. Als Zwischenfazit des Projektes kann festgehalten werden, dass Assistenzsysteme einen wichtigen Baustein zur Digitalisierung der Produktion darstellen und sich bei richtiger Gestaltung der Systeme sowohl positive Effekte für die Beschäftigten als auch für den Betrieb ergeben.

### **6.3.2 Kognitive Beanspruchung in der variantenreichen Montage am Beispiel der Fahrzeugrahmenmontage**

#### **6.3.2.1 Modell zur kognitiven Beanspruchung am Arbeitsplatz**

Durch die immer höhere Anzahl an Bauteilen und Produktvarianten erhöht sich die Komplexität in der Montage und damit auch die zu bewältigenden Herausforderungen bei der Arbeitssystemgestaltung (Abschn. 6.1). In diesem Zusammenhang werden die Montagetätigkeiten trotz der fortschrittlichen Automatisierungslösungen zunehmend in kleinen Losen oder kundenindividuell unter Ausnutzung der motorischen und kognitiven Ressourcen der Beschäftigten montiert [52]. Für das Unternehmen kann dies Einbußen an Produktivität bedeuten, wenn in zunehmendem Ausmaß Zeit benötigt, Fehler erzeugt und mehr Kosten für die Fehlerbeseitigung eingeplant werden müssen. Für den einzelnen Beschäftigten führt diese Entwicklung in Summe zu einer höheren kognitiven Beanspruchung, die es unter dem Aspekt der Humanorientierung von Arbeit hinsichtlich gesundheitlicher Aspekte zu beachten gilt [6]. Als Reaktion auf die zunehmende kognitive Beanspruchung, die durch verschiedene Messverfahren aufzuzeigen ist, wird die Einführung von informatorischen Assistenzsystemen empfohlen. Sie können zur Entlastung der Werker beitragen, sofern sie auf den Bedarf der Werker zugeschnitten sind. Es wird kurz ein kognitionstheoretisch basiertes Modell zur mentalen Beanspruchung vorgestellt, bevor objektive Messverfahren erörtert werden. Vor diesem Hintergrund wird eine Einzelfallstudie zur Fahrzeugrahmenmontage unter Einsatz eines Assistenzsystems präsentiert und diskutiert. Aus dieser Diskussion werden abschließend Gestaltungsempfehlungen für informatorische Assistenzsysteme abgeleitet.

Arbeitssysteme in der Montage dienen der Bearbeitung von Montageaufträgen und stellen somit Anforderungen an Beschäftigte. Diese müssen sich auf der Grundlage ihrer eigenen Ressourcen mit diesen Anforderungen auseinandersetzen. Dadurch ist ein Wechselverhältnis von externen Belastungen und internen Beanspruchungen thematisiert, welches ausführlich im Auftrags-Auseinandersetzungskonzept [20] behandelt wird und auch der revidierten Fassung der DIN EN ISO 10075-1:2018 [14] zugrunde liegt. Diese Fassung berücksichtigt stärker als die ältere Fassung aus dem Jahr 2000 insbesondere die psychischen und damit auch die mentalen Belastungen und Beanspruchungen.

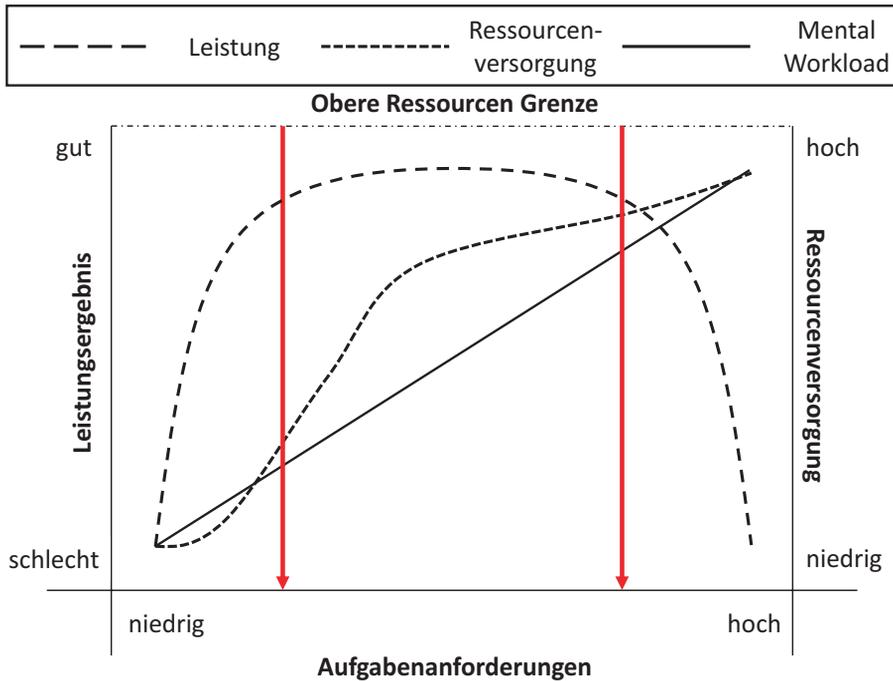
Anforderungen rufen Orientierung und Beanspruchungen körperlicher und kognitiver Art seitens der Beschäftigten hervor, die diese über verschiedene Stufen der Perception, der Kognition und der Performanz hinweg verarbeiten, um sie letztlich in wertschöpfende Arbeitsleistung umzusetzen. In der angelsächsischen Literatur wird dabei auf sog. Demands und Resources verwiesen, die je nach Ausmaß der Nachfrage und der Nutzung von Ressourcen die sog. Workload oder die Inanspruchnahme der körperlichen, vor allem aber der kognitiven Ressourcen bestimmen, der ein Beschäftigter ausgesetzt ist [49, 51]. Die resultierende Workload nimmt zu, d. h. der Zugriff auf mentale Ressourcen wird stärker, wenn die Nachfrage steigt, wenn z. B. in festgelegter Zeit der zu verarbeitende Informationsumfang zunimmt, der im Arbeitsgedächtnis gespeichert und dann in performatives Handeln umgesetzt werden muss. In diesem Sinne muss sich etwa der Montagewerker merken, dass er Typ A (und nicht B oder C) montieren soll, dass bei Typ A die spezifischen Teile X, Y und Z an spezifischen Orten K, L und M des Montageobjekts mithilfe der Werkzeuge F und G anzubringen sind. Die Workload könnte weiter gesteigert werden, wenn z. B. die eingebauten Teile auch noch speziellen Einbauregeln unterworfen wären (z. B. wenn Teile in unterschiedlichen Winkeln anzubringen sind oder die Körperhaltung von Teil zu Teil variiert werden muss, um das Teil anforderungsgerecht anbringen zu können). Zudem wird jede Beanspruchung auch vom Umfang der eigenen Kompetenzen und Erfahrungen geprägt.

Umgekehrt kann die Workload gesenkt werden, wenn zusätzliche Information vermittelt wird, die die Ressourcen des Arbeitsspeichers entlasten. Das ist der Fall, wenn informatrische Assistenzsysteme etwa bei Auswahlentscheidungen zwischen verschiedenen Teilen oder Werkzeugen durch Lichtsignale (pick-by-light) Unterstützung leisten [5]. Die Anforderung an den Werker nimmt hier ab, weil er ganz gezielt z. B. die Information (durch Licht, durch Text, durch Bild mit Symbolen, durch verbale Ansprache) erhält, dass er die Teile X, Y und Z aus Behältern entnehmen muss und sie an den angezeigten Orten K, L und M montieren soll. In diesem Fall braucht der Werker kein komplexes operatives Abbild des Montageprozesses, das er dann abarbeitet, sondern er erhält zur rechten Zeit in dosierter Form die jeweilig erforderlichen Montageinstruktionen. Die bewusste Planung entfällt. So entsteht eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und der einbezogenen Informationskanäle (visuell oder auditiv), zudem kann auch die Zahl der Fehler infolge von falschen Vorstellungen, Vergessen oder Irrtum reduziert werden.

Wickens [49] hat viele dieser Überlegungen in einem umfassenden theoretischen Modell zusammengefasst. Dieses Modell postuliert zunächst, dass die Informationsaufnahme und -weiterbearbeitung kapazitativ limitiert sind, was über kurz oder lang zu einem Flaschenhals in der Informationsverarbeitung führt. Hohe Workload heißt dann, dass die vorhandene Ressourcenkapazität weitgehend ausgelastet ist, was zu längerer Verarbeitungszeit und zunehmenden Reaktionszeiten führt. Jede solche mentale Beanspruchung könnte damit als Folge eines aktuellen Mehr- oder gar Überangebots an zu verarbeitender Information betrachtet werden, wodurch die kognitiven Ressourcen (z. B. zum Erkennen und Differenzieren von Reizen, zum Nachdenken darüber, wie vorzugehen ist oder zur Entscheidungsfindung) zunehmend beansprucht oder sogar überbeansprucht werden. Als gut belegt gilt die Annahme, dass mit zunehmender Komplexität von Anforderungen zunächst der kognitive Ressourcenverbrauch dynamisch ansteigt, um dann in ein gestrecktes Plateau überzugehen, welches bei weiterem Anstieg rasch mit deutlichen Leistungsabfällen einhergeht [51].

In diesem Kapazitätsmodell der Informationsverarbeitung – genauer im 4-D Multiple Resources Model – unterscheidet Wickens vier Dimensionen der Informationsverarbeitung. Differenziert wird zwischen Ressourcen und Reaktionen auf der Ebene der Verarbeitung von Information (Wahrnehmung, Verarbeitung, Reaktion), auf den Dimensionen der Art der Informationspräsentation (räumlich, verbal/linguistisch) und hinsichtlich von Wahrnehmungskanälen (auditiv, visuell). Eine letzte Dimension betrifft die visuelle Wahrnehmung, die noch einmal in fokales und ambientes oder peripheres Wahrnehmen gegliedert wird. Dabei geht Wickens davon aus, dass es nicht eine Gesamtressourcenkapazität, sondern multiple Kapazitäten je nach Art der einfließenden und genutzten Wege der zu verarbeiteten Information gibt. Bildlich gesehen bedeutet dies, dass mehrere, weitgehend unabhängige Wege in die kognitive Verarbeitung und die Performanz führen und z. B. eine Kapazitätsüberlastung im Bereich des räumlichen Wahrnehmens umgangen werden kann, wenn ein Teil der Information auf dem Weg des Sprechens und Hörens vermittelt wird. Abb. 6.7 gibt die Zusammenhänge von Anforderungen, Ressourcen und Performanz wieder: Die Workload nimmt stetig zu. Dort wo die Anforderungen die Ressourcen übersteigen, wird die Grenze der Beanspruchbarkeit überschritten und es kommt zum Abfall der Leistung. Dieser Punkt ist durch eine sog. Redline gekennzeichnet, also eine Linie, die nicht überschritten werden sollte. Eine parallel verlaufende Redline zeigt den Punkt der zu vermeidenden Unterauslastung der vorhandenen Ressourcenkapazitäten an.

Basierend auf diesem Modell können Ansätze zur Verbesserung der Informationsgestaltung am Arbeitsplatz abgeleitet werden, um die mentale Beanspruchung möglichst gering zu halten. So kann beispielsweise das Anforderungsniveau durch Variantenreduzierung, durch den Import von montagerelevanten Informationen über digitale Endgeräte oder durch die situationsgerechte Präsentation von Informationen über verschiedene Informationskanäle reduziert werden, um so eine bessere Verteilung auf unterschiedliche Ressourcen zu gewährleisten und eine Überschreitung der Kapazitätsgrenzen im Sinne einer Überauslastung zu vermeiden. Dabei sollte jedoch auch ein



**Abb. 6.7** Redlines-Modell nach Young et al. [51]

Unterschreiten im Sinne einer Unterforderung oder Unterauslastung vermieden werden. Bei Überforderung werden die Gründe oftmals in Ablenkung, geteilter Aufmerksamkeit und mangelnder Zeit für adäquate Informationsverarbeitung gesehen, bei Unterforderung hingegen liegen die Ursachen eher in zu geringer Aufmerksamkeit und mangelnder Wachsamkeit [8].

Die Komplexität der variantenreichen Montage äußert sich auf der Seite des Systems vor allem in einer höheren Informationsdichte, d. h. jedes ankommende Montageobjekt in einem Mixed-Model Assembly System [10] stellt ganz unterschiedliche Anforderungen an den Werker. Sie wirkt sich für den Beschäftigten somit in mehr Unsicherheit über die auf ihn zukommenden Anforderungen, damit verbunden in einer stärkeren Aufmerksamkeit und sodann in zahlreichen Auswahlentscheidungen und korrespondierenden Tätigkeitsdifferenzierungen aus [41, 53]. Der Werker muss somit immer wieder mit unterschiedlichen Mustern an Anforderungen rechnen und dann diverse Auswahlentscheidungen treffen, angefangen beim Entnehmen von Teilen aus verschiedenen Behältern bis hin zur Befestigung eines Teils oder einer Komponente an unterschiedlichen Orten des Montageobjekts. Jegliches Greifen, Handhaben und Fügen ist folglich immer ein Auswählen aus gegebenen Alternativen (Montagetyp A ist mit acht Teilen von 22 möglichen Teilen zu bestücken, die mit vier von sechs möglichen Werkzeugen zu verbauen sind). Entlastende kognitive Automatismen im Sinne von stereo-

typen Verarbeitungen (ohne dass neue Information zu verarbeiten oder Konzentration auf einzelne Schritte erforderlich wäre) entfallen zunehmend und werden durch bewusst kontrollierte Denk- und Entscheidungsprozesse sowie Ergebnisüberprüfungen ersetzt.

Die komplexe Variantenmontage fordert von daher mehr kognitive Ressourcen ab. Dies impliziert, dass dieser Montagetypp einmal im quantitativen Sinn stärker beanspruchend ist als die traditionelle Einproduktmontage und dass es zum Zweiten im qualitativen Sinn eine Verschiebung weg von mehr energetischen hin zu mehr informatorischen Belastungen und entsprechenden Beanspruchungen gibt. Der Mehrprodukt-Montagearbeitsplatz kann damit wie jeder Arbeitsplatz zwar als Konglomerat verschiedener Belastungsformen gelten [29], jedoch gehen die physisch-energetischen Anforderungen in der Tendenz zurück, während mental-informatorische Anteile zunehmen. Dabei gilt für beide Formen, dass je nach verfügbaren Ressourcen – als kognitive Ressourcen gelten vor allen Dingen Wissen, Intelligenz, Kompetenzen, Erfahrungen, Bewältigungsstrategien – die resultierenden Beanspruchungen ganz unterschiedlich hoch ausfallen. Wer über viel Ressourcen, Kompetenzen und Erfahrung verfügt, kann auch die zunehmende informatorische Belastung besser bewältigen und ist weniger beansprucht [34]. Die Bewältigung von Informationen kann aber auch durch organisatorische Faktoren wie Zeitdruck, Arbeitsunterbrechungen, ungünstige Arbeitsplatzgestaltungen wie große Distanzen zu Behältern oder viele Fehlteile, häufige Wechsel und Änderungen an den zu montierenden Produkten oder geringe Unterscheidbarkeit von Teilen oder Werkzeugen erschwert werden [30].

### 6.3.2.2 Messverfahren zur Bestimmung mentaler Beanspruchung

Die kognitive Workload beschreibt den inneren Zustand eines humanen Systems, das durch die Aufnahme von Information, die Verarbeitung dieser Information und die Initiierung von kontrollierten Handlungen geprägt ist. In diesem Sinne stehen Workload oder Cognitive Load für ein multidimensionales Konstrukt, „representing the load imposed on the working memory during performance of a cognitive task“ [9]. Diese knappe Beschreibung verdeutlicht drei Aspekte: Es ist ein Konstrukt, es hat verschiedene Dimensionen und es entsteht durch eine Inanspruchnahme der kognitiven Ressourcen bei der Durchführung einer Aufgabe.

- **Konstrukt:** Konstrukte sind gedankliche, modellhafte Vorstellungen von nicht beobachtbaren Prozessen oder Mechanismen z. B. im Inneren eines Systems. Man kann sie nicht als eine konkrete Substanz z. B. im Gehirn identifizieren oder als konkreten Prozess empirisch beobachten, man kann auch nicht exakt feststellen, was in einen solchen Verarbeitungsmechanismus hineinfließt und nach interner Bearbeitung wieder hinauskommt.
- **Multidimensional:** Workload stellt keine in sich abgeschlossene Einheit dar. Workload gilt vielmehr als multidimensionales Konstrukt oder ein Komplex von verschiedenen Aspekten, die einzeln oder im Verbund betrachtet werden können. So könnte man Workload als die Summe aller kognitiven Anstrengungen und Leistungen von der

sensorischen Rezeption bis hin zur Auslösung von motorischen Reaktionen der Muskeln bezogen auf eine spezifische Anforderung beschreiben.

- Kognitive Ressourcen bei der Durchführung kognitiver Aufgaben: Ressourcen gelten in der Regel als knappe und nur begrenzt verfügbare Mittel, um Ziele zu erreichen oder Aufgaben zu bewältigen. Dies gilt auch für kognitive Ressourcen: Wissen, Intelligenz und Kompetenz sind begrenzt, die Aufnahme von Information und die Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis gelten als begrenzt. Leichte Aufgaben binden wenig Ressourcen, komplexe Aufgaben viele Ressourcen. Es gilt, die Workload im Kontext von Arbeit so zu gestalten, dass die Ressourcen eingebracht werden können, dabei aber Underload und Overload vermieden werden.

Damit ist auch klar, dass mentale Leistung und Beanspruchung, die zu einem Zustand kognitiver Beanspruchung oder Load führt, nicht direkt beobachtbar und messbar ist. Wir können diesen Zustand nicht mit einem einfach zu handhabenden Instrument messen und ihn mit einer einfachen Zahl kennzeichnen, sondern müssen uns auf die Suche nach verschiedenen geeigneten Indikatoren machen. Die kognitive Beanspruchung muss ähnlich wie die Kompetenz aus beobachtbaren Indikatoren erschlossen werden [9, 37]. Dabei reicht oftmals auch nicht nur ein Indikator [18, 33].

Operationalisiert und gemessen werden Indikatoren der mentalen Beanspruchung meist über leistungsbezogene Indizes (z. B. über die Reaktionsgeschwindigkeit, die totale oder partielle Montagezeit und verschiedene Qualitätsparameter wie die Genauigkeit der Verarbeitung), über physiologische Parameter (z. B. Herzfrequenzvariabilität), über subjektive Einschätzungen (z. B. mittels Fragebögen zum selbst erlebten Maß an Beanspruchung) oder über verhaltensbezogene Parameter (z. B. Anzahl von Interaktionen mit Assistenzsystemen, die Kopf- und Augenbewegungen oder das Maus- und Tastaturtracking).

Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass leistungsbezogene Maße eine hohe Validität für sich beanspruchen können. Mit zunehmender Anzahl an Handlungsalternativen (und damit der Erhöhung des Informationsgehalts eines Stimulus) steigen die Reaktionszeiten und die Montagezeiten, was bedeutet, dass mehr Informationen verarbeitet werden müssen und mehr Ressourcen benötigt werden. Vergleichbare Befunde berichtet Liu [31] für die Informationsverarbeitung in Netzwerken. Parallel dazu nehmen aber auch Verhaltensmaße wie die Fehlerzahl und damit zusammenhängend die Qualitätskosten zu [41]. Kritisch zu sehen sind bei diesen Verfahren, dass gerade vor Ort in Betrieben solche Daten nicht unmittelbar vorliegen, dass sie zumeist aus einer spezifischen Strategie heraus erfasst und auch wieder von Personen ausgewertet werden, die spezifische Interessen verfolgen.

Fragebogenverfahren wie der NASA-TLX mit seinen sechs Beanspruchungsdimensionen [21] erfreuen sich aufgrund der einfachen Erfassungsmöglichkeit großer Beliebtheit. Mit ihnen erzielte Befunde korrelieren in der Regel auch mit leistungsbezogenen Maßen und sind in der Lage, zwischen unterschiedlichen Ausprägungen mentaler Beanspruchung zu differenzieren [4]. Je nach Fragestellung bietet es sich an,

mehrere Verfahren gleichzeitig anzuwenden [40]. Belastbare Richtwerte für Unter- oder Überlastung existieren dabei in der Regel nicht, sodass eine gewisse Subjektivität bei der Bewertung nicht auszuschließen ist. Colle und Reid [11] konnten so für den SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) in Labor und Feld einen Grenzwert in Höhe von 40 ( $\pm 10$ ) Punkten für Überlastung auf einer Skala mit maximal 100 Punkten bestimmen. Auch aufwendige Verfahren wie das European Assembly Workload Sheet [42] liefern letztlich eher subjektiv geprägte Werte. Kritisch hinsichtlich subjektiver Verfahren wird auch immer wieder die relativ geringe Interrater-Übereinstimmung, die Gefahr der sozial erwünschten Darstellung der Beanspruchung durch die Betroffenen selbst sowie die Verzerrung durch eine nur nachträgliche Erfassung diskutiert [6].

Objektive physiologische Messverfahren bieten die Möglichkeit der non-invasiven Messung verschiedener Beanspruchungsparameter direkt am Individuum und am konkreten Arbeitsplatz während der Arbeit. Vorrangig wird hierbei versucht, die Aktivität des autonomen und zentralen Nervensystems zu quantifizieren, um Zustände hoher Workload zu identifizieren. Dabei eröffnen gerade die physiologischen Messverfahren die Möglichkeit der kontinuierlichen Messwerterfassung auch am Arbeitsort, wobei es eine Utopie wäre zu glauben, dass man Beanspruchung umfassend und situationübergreifend nur über einen Indikator erfassen kann. Nur Kombinationen liefern plausible Ausprägungsmuster von Beanspruchung [9, 33]. Die Möglichkeiten zur Messung vor Ort reichen über verschiedene mobile Verfahren wie EKG, EEG oder EMG, über die Messung der Augenaktivität bis hin zu bildgebenden Verfahren durch fNIRS-Instrumente (funktionelle Nahinfrarotspektroskopie) [39]. Kritisch zu sehen ist bei der Messung objektiver physiologischer Daten, dass es zu Überlagerungseffekten der mentalen Beanspruchung durch physische bzw. motorische Beanspruchung kommen kann [12]. Als problematisch gilt zudem, dass durch Arbeitsbewegungen der stabile Sitz der Messinstrumente gefährdet ist.

Die Messung mentaler Beanspruchung infolge zunehmender Komplexität erweist sich gerade in der Praxis generell als problematisch, zumal Komplexität etwa im Sinne der von Samy und ElMaraghy [41] betonten Kriterien z. B. in der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie [17] keine Erwähnung findet. Komplexität ist damit noch gar nicht als eigenständiger Belastungsfaktor erkannt. Dies dürfte seinen zentralen Grund darin haben, dass Arbeit immer noch vornehmlich im Kontext energetischer Belastung konzipiert wird. So wird etwa von Metz und Rothe [35] der Belastungsfaktor „Arbeitsinhalt“ mit den Merkmalen der Vollständigkeit, der Variabilität oder des Handlungsspielraums immer nur danach bewertet, ob neben der körperlichen Arbeit auch z. B. planende, denkende oder selbstbestimmende Elemente gegeben sind. Diese Elemente implizieren dann sehr wohl mentale Leistungen oder „Arbeitsbelastungen des Gehirns oder Geistes“ [39], es werden aber keine Aussagen zu Form und Umfang dieser Leistung oder gar zur Überschreitung von möglichen Leistungsgrenzen gemacht. Grenzen zur informatorischen Überbeanspruchung etwa in der Variantenmontage existieren noch nicht. Betriebliche Gefährdungsbeurteilungen reichen von daher oftmals auch nicht an mentale Beanspruchungen bei komplexer inhaltlicher Tätigkeit heran. Vielmehr sind

sie allein auf die bekannten, aus der Logistik stammenden Aspekte des Informationsmanagements beschränkt (so erwähnt die GDA nur Merkmale wie vollständig, zeitgerecht, sicher wahrnehmbar und relevant, liefert aber keine expliziten Hinweise auf zu verarbeitende Informationsmengen oder die Anzahl der zu treffenden Entscheidungen zwischen unterschiedlichen Varianten).

### **6.3.2.3 Fallstudie zur kognitiven Beanspruchung in der Fahrzeugrahmen**

Komplexität als Belastungsfaktor wird in der Praxis vornehmlich über subjektive Einschätzungen mittels Fragebogen erfasst. Erst in jüngster Zeit wird vermehrt der Versuch unternommen, physiologische Indikatoren der Beanspruchung – etwa die Herzfrequenzvariabilität (HRV) oder die Pupillendilatation – auch in Unternehmen näher ins Auge zu fassen [9]. Das hat vornehmlich mit dem Aufkommen mobiler und tragbarer Messarrangements zu tun, die auch kontinuierlich am konkreten Arbeitsplatz zum Einsatz kommen können. Auf diese Weise lassen sich z. B. anforderungsbezogene Beanspruchungsspitzen in Montageprozessen erfassen, Verteilungen der Beanspruchung über unterschiedliche Varianten ermitteln oder die Häufigkeit der Orientierung an Informationsvorgaben aufzeichnen. Durch die Messung z. B. neurophysiologischer oder kardiovaskulärer Prozesse lassen sich Wahrnehmung und Informationsverarbeitung relativ direkt erfassen, wodurch Verzerrungen infolge von subjektiven Einschätzungen oder erst nachträglichen Beurteilungen vermieden werden. Im Forschungsprojekt Montexas4.0 werden neben physiologischen (HRV) und okulomotorischen Maßen (Pupillendilatation) zusätzlich auch Skalen zur subjektiven Einschätzung von Beanspruchungen eingesetzt (NASA-TLX).

In einem ersten Schritt wurden in einer Feldstudie – sie wurde in Abschn. 6.3.2 hinsichtlich der Einführung von Assistenzsystem näher beschrieben – auf der Basis der dargestellten Annahmen zur variantenreichen Montage die mentalen Beanspruchungen im Bereich der sog. Rahmenmontage analysiert und ein Aktivitätenprofil erstellt. Parallel dazu erfolgte eine Erfassung physiologischer Parameter der Herzaktivität – speziell der HRV, also der Abstände zwischen einzelnen Schlägen, die durch die sog. R-Zacken symbolisiert werden – mittels dreier Elektroden mit einer Abtastrate von 256 Hz. Ferner wurden Bewegungsparameter über Inertialsensoren erfasst. Die Auswertung der aufgezeigten Herzaktivitäten erfolgte mittels des sog. rrHRV-Maßes, welches die prozentualen zeitlichen Unterschiede aufeinander folgender RR-Intervalle beschreibt [2, 48]. Im Ergebnis deuteten sich auffällige Differenzen in den physiologischen Parametern hinsichtlich einzelner Montageaktivitäten an.

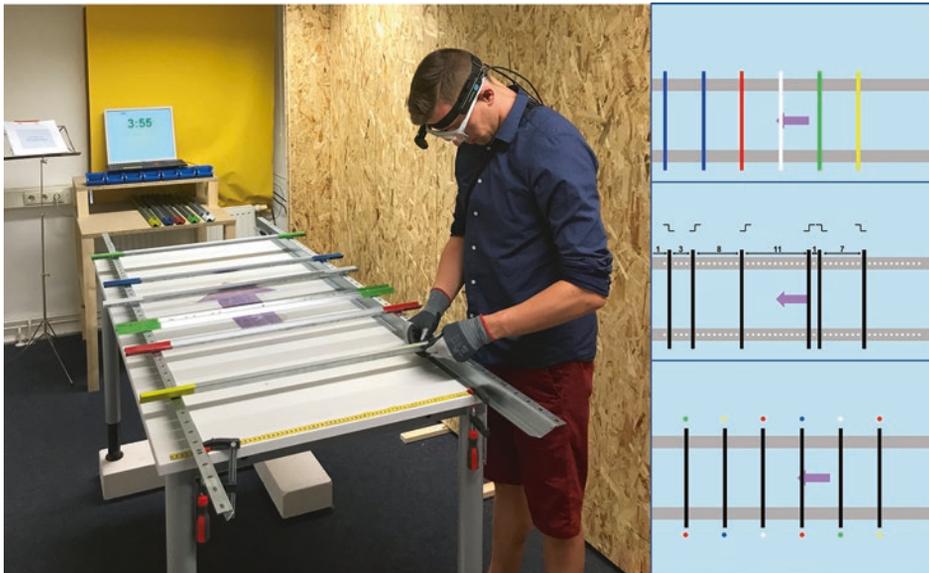
Die konkreten Durchführungsbedingungen im Feld erwiesen sich jedoch als unzureichend, um verallgemeinerbare Aussagen machen und entsprechende Annahmen prüfen zu können. Dies lag vor allem an einer zu geringen Stichprobengröße, internen Abläufen, die eine Manipulation unterschiedlicher Komplexitätsarten unmöglich machten und an vielfältigen Problemen bei der Vermeidung von Störgrößen wie Lärm, Unterbrechungen durch Kollegen und fehlenden Instruktionen vor Ort. Von daher wurde

im Labor eine Rekonstruktion der Montageaufbauten im Maßstab von ca. 1:4 installiert. In einer ersten Laborstudie wurden Probanden mit vergleichbaren Montageaufgaben konfrontiert (Anordnen von Querträgern, Vermessen von Abständen, Auswahl von Werkzeugen, Auswahl von Schrauben, etc.), bei denen je nach aufsteigendem Komplexitätsgrad unterschiedlich viele Auswahlentscheidungen hinsichtlich verschiedener Merkmale der zu montierenden Träger, ihrer Anordnung und ihrer Befestigung an einem vorgegebenen Rahmen unter Zeitdruck zu treffen sind. Angenommen wird, dass die Workload entsprechend des Komplexitätsgrades zunimmt, dass die Herzfrequenzvariabilität abnimmt – dies gilt als Zeichen zunehmender Beanspruchung – und die Zeitdauer der Montage ansteigt. Die Workload wurde zusätzlich mittels des Parameters der Pupillendilatation erfasst. Dieser Parameter bringt zum Ausdruck, wie sehr sich die Pupille angesichts schwerer und damit beanspruchender kognitiver Aufgaben erweitert.

Zudem wurden am Arbeitsplatz drei verschiedene informatorische Assistenzsysteme zum Einsatz gebracht, die inhaltlich vergleichbare Instruktionen an die Probanden in der Rahmenmontage vermittelten: Als Instruktionsmedien kamen dabei Papier, Tablet-Computer und eine AR-Brille (Vuzix M300 mit Software der AMA Xpert Eye GmbH) zum Einsatz. Es wurde erwartet, dass zwischen den Assistenzsystemen Unterschiede bei der Reduktion der Workload auftreten, dass sich diese aber insbesondere bei hochkomplexen Anforderungen zeigen.

Laboruntersuchungen eignen sich zwar perfekt dazu, Störgrößen auszuschließen und systematisch verschiedene Variablen wie Komplexität des zu montierenden Produktes oder das verwendete Assistenzsystem variieren zu lassen, allerdings steht man gerade im Bereich der Montage vor dem Problem, dass man in der Regel mit ungelerten studentischen Probanden arbeitet, die eine solche Aufgabe zum ersten Mal erledigen. Für diese stellt eine Rahmenmontage „völliges Neuland“ dar. Angesichts dieses Umstands erfolgte eine deutliche Umgestaltung der Arbeitsinstruktionen, die diesem Umstand Rechnung trug. Dabei wurden alle für die Montage relevanten Informationen nicht länger nur in einer Abbildung angezeigt, sondern über vier Instruktionsschritte verteilt. Im ersten Schritt wurden die unterschiedlichen Farben der Querträger, im zweiten Schritt die beiden Ausrichtungsarten der Querträger, im dritten Schritt die möglichen Abstände der Querträger zueinander und im vierten Schritt die Farbe der zu verbauenden Schrauben expliziert (siehe Abb. 6.8 rechts). Insgesamt mussten die Probanden sechs Modelle in aufsteigender Komplexität montieren. Der Anstieg der Komplexität wurde durch eine systematische Steigerung der bei der Montage zu verarbeitenden Informationen erreicht. Operationalisiert wurde dies durch die Erhöhung der zu beachtenden Varianten- und Farbvielfalt bei Ausrichtung und Gestaltung von Abständen der Querträgern und der zu berücksichtigenden Farbgebung der Schrauben.

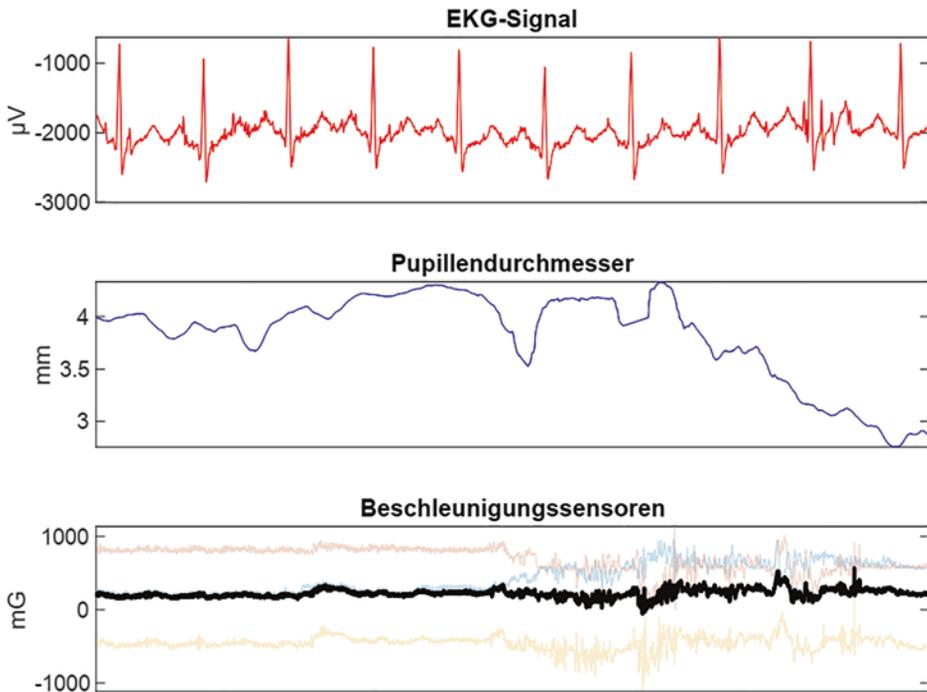
Um ein Gefühl von Arbeitsdruck zu erzeugen, wurde zeitgleich versucht, eine zusätzliche Belastungsquelle zu eröffnen. Zu diesem Zweck wurde jedem Probanden seine aktuelle Bauzeit eingeblendet und die damit verbundene Position in einer fiktiven Rangordnung auf einem sog. Leaderboard angezeigt. Für die ersten zehn Plätze wurden Lose in Aussicht gestellt, mit denen der Proband an einer Tombola zum Gewinn von Gutscheinen



**Abb. 6.8** Blick ins Labor und Darstellung der bildlichen Anleitung zur Montage eines Hilfsrahmens mit Querträgern in unterschiedlichen Farben, Ausrichtungen, Abständen und zugeordneten Schrauben

in verschiedener Höhe teilnehmen konnte. Das Absinken innerhalb des Leaderboards wurde durch ein akkustisches Signal angezeigt. In Vorversuchen zeigte sich, dass diese Manipulation tatsächlich zu mehr Motivation bei der Montagearbeit beitrug.

Im Zentrum der Messung von objektiven physiologischen Indikatoren zur Feststellung körperlicher und kognitiver Beanspruchung stand die Messung mittels EKG und Eye Tracking mit den daraus abgeleiteten Maßen der Herzfrequenz (HR) und der Herzfrequenzvariabilität (HRV) sowie der Pupillendilatation und der Fixationsdauer. Beanspruchungen führen zu einer Steigerung der Herzfrequenz und zu einem Absinken der Herzfrequenzvariabilität. Im Eye-Tracking zeigen sich deutliche Erweiterungen der Pupille sowie in der Regel auch längere Fixationsdauern. Ergänzend dazu zeichnete das verwendete Holter-EKG System (eMotion Faros 180°) Bewegungsaktivitäten der Probanden auf, welche ebenfalls in die Analyse mit einbezogen wurden. Abb. 6.9 zeigt typische Rohdatenverläufe: EKG-Signale mit deutlich zu identifizierenden R-Zacken und variierenden Abständen zwischen den R-Zacken, einen Kurvenverlauf mit den Pupillendurchmessern über einen Zeitverlauf, wobei größere Werte höhere kognitive Beanspruchungen anzeigen, sowie Bewegungsdaten, die körperliche Veränderungen im Raum wiedergeben. Die Bewegungsdaten können wichtige Hinweise liefern, ob Veränderungen im EKG-Signal eher auf mentale oder auf körperliche Beanspruchungen zurückgehen. Zwischen beiden besteht häufig ein Maskierungsverhältnis, d. h. die auf-



**Abb. 6.9** Rohdaten der verwendeten Messinstrumente

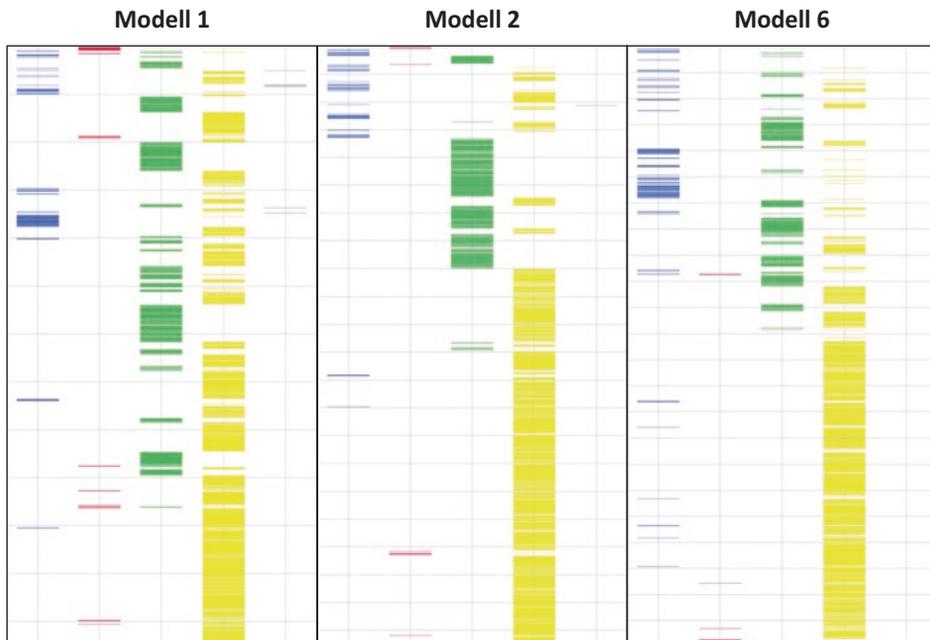
gezeigten körperlichen Beanspruchungen verdecken die eingebetteten kognitiven Beanspruchungen [12]. Dies hängt auch damit zusammen, dass beide einbezogenen organischen Systeme, Auge und Herz, durch das autonome Nervensystem gesteuert werden.

Die Entscheidung für die Erfassung der Beanspruchung als Kombination von EKG, Eye Tracking und Bewegung erfolgte dabei unter Berücksichtigung der zu erwartenden Abläufe im Versuch. Die Montagedurchführung verlangte von den Probanden eine hohe Dynamik. Daher war eine Veränderung der Herzschlagfrequenz allein auf Grundlage physischer Bewegung nicht zu vermeiden. Durch die parallele Erfassung der Bewegungsintensität auf allen drei Raumachsen (in Abb. 6.9 bunt im Hintergrund und als gemittelter Wert im Vordergrund) kann zumindest versucht werden, solche Maskierungen besser zu entdecken. Schwankungen des Pupillendurchmessers und der Fixationszeiten hingegen können eindeutiger dem Bereich der kognitiven Beanspruchung zugeordnet werden.

Während bei steigender Beanspruchung eine vermehrte Aktivierung des sympathischen bei gleichzeitiger Unterdrückung des parasympathischen Parts des autonomen Nervensystems zu beobachten ist, erfolgt bei sinkender Beanspruchung ein gegenteiliger Effekt.

Durch Veränderungen der Balance von Sympathikus und Parasympathikus kommt es schließlich zu einem Anstieg der Herzschlagfrequenz und einem zeitgleichen Absinken der HRV, d. h. die Abstände zwischen den R-Zacken werden immer ähnlicher, wodurch statistisch gesehen die Varianz der Abstände abnimmt. Der von uns verwendete Indikator  $rrHRV$  [48] zählt zur Kategorie der zeitbasierten HRV-Indikatoren und nimmt den mittleren euklidischen Abstand aufeinanderfolgender RR-Intervalle zum gemeinsamen Zentrum als Berechnungsgrundlage. Je größere dieser Wert wird, desto geringer ist die Gesamtbeanspruchung des Probanden.

Für die kognitiven Bestandteile der Beanspruchung ist die Vermessung des Blickverhaltens ein immer wieder eingesetzter Indikator. Zwar können auch mit Positionswechseln verbundene Änderungen des Lichtes eine Veränderung des Pupillendurchmessers auslösen, weshalb eine gleichmäßig helle Beleuchtung des Arbeitsplatzes sichergestellt wurde. Bei steigender kognitiver Beanspruchung dehnt sich die Pupille stärker aus. Die Fixationsdauer kann unterschiedlich interpretiert werden. Eine verlängerte Fixationsdauer wird i. d. R. mit einer erhöhten Beanspruchung durch ein mehr an Informationsaufnahme assoziiert (man schaut länger hin), eine verkürzte Fixationsdauer gilt als ein Zeichen von akutem Stress verbunden mit einer Steigerung des Orientierungsverhaltens (man schaut kurz hin und verschafft sich einen Überblick).



**Abb. 6.10** Zeitlicher Verlauf des Blickverhaltens für die Modelle 1, 2 und 6: blau = Assistenzsystem, rot = Zeitangabe auf Monitor, grün = Werkbank, gelb = Werkstück

Einige exemplarische Ergebnisse und Auffälligkeiten aus den Laboruntersuchungen sollen im Folgenden am Beispiel eines Probanden beschrieben werden, der die Aufgaben mittels einer AR-Brille bestreiten musste. Betrachtet man die Bauzeiten des Probanden, so fällt auf, dass es einen signifikanten Abfall von Modell 1 zu Modell 2 gibt (10:25 zu 07:12). Bis hin zu Modell 6 bleiben die Zeiten dann jedoch recht konstant zwischen 7:20 und 7:40 min. Das mag dem Umstand geschuldet sein, dass die Probanden bereits nach dem ersten Modell dazu neigten, sich Strategien zur schnelleren Montage zu überlegen und diese mit der Zeit zu verfeinern. Der Anstieg der in die Aufgaben eingebauten Komplexität konnte diese zeitliche Verbesserung offensichtlich nicht aufhalten.

Nimmt man das Blickverhalten des Probanden als Grundlage für eine Analyse seines Arbeitsverhaltens (Abb. 6.10), so fällt auf, dass bereits von Modell 1 zu Modell 2 eine steigende Systematisierung des Verhaltens zu erkennen ist. Die Wechsel zwischen entfernter Werkbank als Teilereservoir (grün) und vor sich befindlichem Werkstück (gelb) werden geringer und einzelne Arbeitsphasen dauern länger an. Die Phase der finalen Befestigung der Querträger findet in den Modellen 2 und 6 fast ausschließlich mit Blick auf das Werkstück statt und benötigt keine weiteren Aktivitäten etwa zur Heranführung weiterer Teile von der Werkbank. Auf der Montageplatte werden schon frühzeitig sämtliche für die Montage benötigten Teile gelagert (Querträger, Unterlegscheiben, Steck-



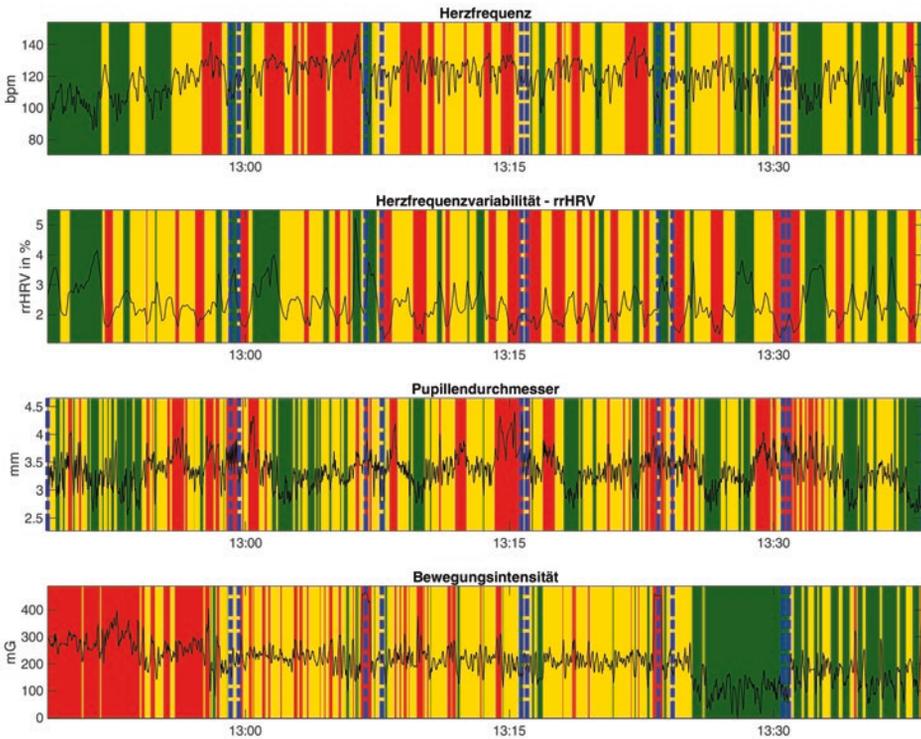
**Abb. 6.11** Verteilung der Fixationen über die sog. Areas of Interest während der Montage der Modelle 1, 2 und 6

muttern, Schrauben) und der Blick allein auf das Werkstück als relevanter „Area of Interest“ gerichtet. Zusätzlich fällt auf, dass die Zeitanzeige (rot) bei den Modellen 2 und 6 weniger relevant war und wenig genutzt wurde. Erst gegen Ende erfolgten vereinzelte Blicke auf den Monitor, höchstwahrscheinlich um sich zu orientieren, wie viel Zeit noch verbleibt oder unmittelbar nach Erklängen des akustischen Signales. Bei der Nutzung des Assistenzsystems (blau) fällt auf, dass bei der Montage des ersten Modells das System noch recht intensiv genutzt wurde, bei der Montage des zweiten Modells das System aber nur noch zu Beginn des Montagevorgangs länger ins Auge gefasst wurde. Erst bei steigender Informationsvielfalt und Komplexität (Modell 6) wurde das Assistenzsystem wieder häufiger in den Blick genommen. Die Informationen zur Befestigung der Querträger mit farbigen Schrauben wurden am intensivsten fixiert. Auch fällt auf, dass der Proband sich bei Modell 6 wiederholt durch Blicke auf das Assistenzsystem vergewisserte, ob alle Querträger mit den entsprechenden Schrauben richtig montiert wurden.

Anhand des Blickverhaltens kann sowohl der Anlernprozess (Vergleich 1 mit 2) als auch der Anstieg der Komplexität (Vergleich 2 mit 6) recht deutlich sichtbar gemacht werden. Während für Modell 1 die Anzahl der Fixationen auf dem Assistenzsystem noch bei  $n=91$  lag, so ging sie für Modell 2 bereits auf  $n=54$  zurück. Eine Erklärung dafür könnte darin liegen, dass der Proband bereits hinreichendes Wissen darüber hatte, wie die Informationen umzusetzen sind (und ihrer eigenen Strategie folgten). Ergänzend dazu ergab sich ein Rückgang der durchschnittlichen Fixationsdauer von 199,7 Millisekunden (ms) auf 179,2ms. Zum komplexeren Modell 6 hin stieg die Zahl der Fixationen wieder auf  $n=109$  an, wobei jede einzelne Fixation auch wieder länger andauerte (197,9ms). Abb. 6.11 gibt die Verhältnisse wieder.

Die Verwendung physiologischer Instrumente zur Messung von Beanspruchung bietet im Vergleich zur Nutzung von subjektiven Befragungsinstrumente den Vorteil, eine kontinuierliche Aufzeichnung und eine parallele Auswertung vornehmen zu können. Zur besser nachvollziehbaren Visualisierung der darzustellenden Verläufe wurde für die Bauzeit aller sechs Modelle ein Ampelschema, wie es aus der Ergonomie bestens bekannt ist [13], über alle Parameter gelegt. Rote Bereiche markieren Phasen mit vorab festgelegter, relativ hoher, gelbe mit mittlerer und grüne mit relativ geringer Beanspruchung (Abb. 6.12). Die blauen Trennlinien markieren Ende und Anfang und somit den Übergang zwischen den Modellen. Dargestellt sind die Herzfrequenz, die  $rrHRV$ , der Pupillendurchmesser und die Bewegungsintensität.

Der Ablauf des Montageprozesses blieb über alle Modelle gleich. Es wurden zunächst die farbigen Querträger ausgewählt und in entsprechende Ausrichtung und in Abstand zueinander gebracht, um dann am Ende mittels einer vorher erlernten Stecktechnik mit den entsprechend farbigen Schrauben mit den vorbereiteten Längsträgern verbunden zu werden. Dabei war zu beachten, dass die zu verwendenden Unterlegscheiben mit der helleren Seite zum Metall zeigen sollten. In der Anleitung erfolgte eine genaue Beschreibung der Handlungsschritte mit den Schwerpunkten Farbe der Querträger, Ausrichtung, Abstände und Farbe der Schrauben. Der Großteil der informatrischen Arbeits-



**Abb. 6.12** Verlauf über den Bau von sechs Modellen (getrennt durch blaue Linien)

anteile lag dabei am Anfang eines jeden Modells (Bestimmung der entsprechenden Querträger und deren Ausrichtung/Abstände). Im Verlauf der Montage gab es in jedem Fall eine Verschiebung hin zu eher motorisch-mechanisch Arbeitsschritten.

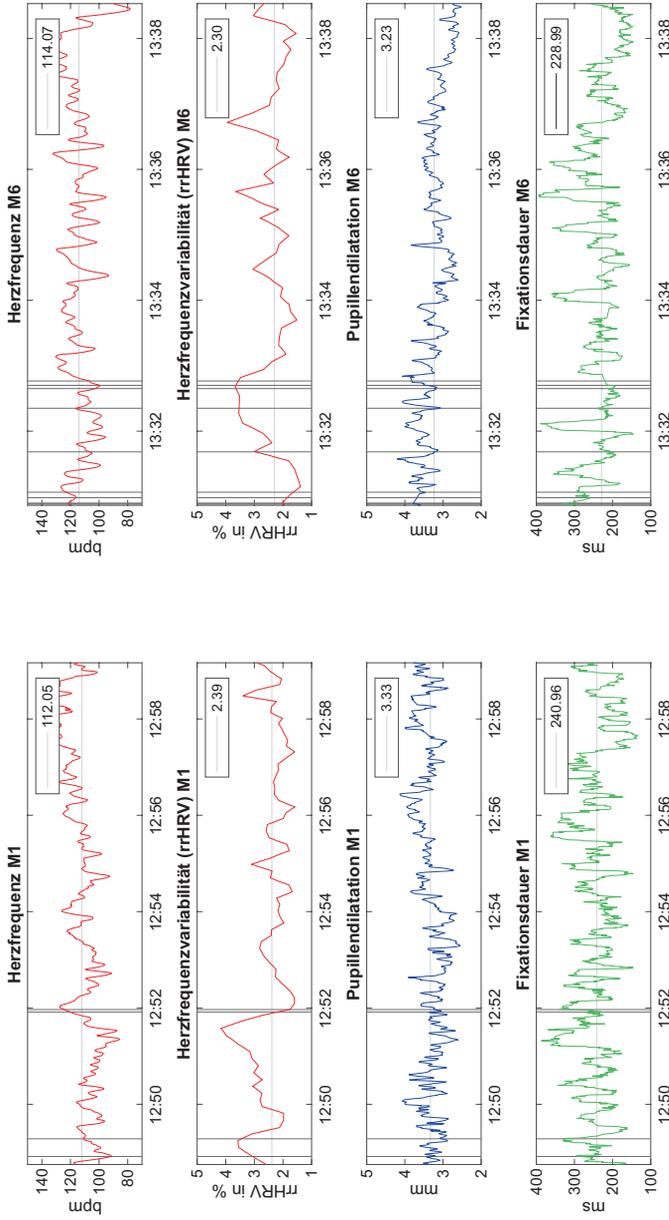
In den Verläufen der physiologischen Messreihen des Beispielprobanden können einige zentrale Tendenzen aufgezeigt werden. So fällt etwa auf, dass die Arbeitsanteile, die mit erhöhter Bewegung einhergehen, in den ersten drei Modellen deutlich höher sind als in den letzten drei Modellen. Diese Entwicklung spiegelt vermutlich die Kompetenzentwicklung des Probanden während der Arbeit wider: Unnötige Laufwege und Körperbewegungen werden zunehmend vermieden, Arbeitsschritte zusammengefasst und das eigene Montageverhalten im Prozess optimiert. So kann trotz steigender Komplexität und Zeitdruck die Arbeit effizienter erledigt werden. Dies fällt auch im Bereich der Herzfrequenz und der HRV auf, die relativ hoch bzw. erwartungsgemäß relativ gering ausfällt und Beanspruchung über alle Modelle hinweg anzeigt. Im Vergleich zur Ruhemessung des Probanden (86 bpm und rrHRV von 5,9) erfolgt ein deutlicher Anstieg (bzw. Abfall), der von starken Schwankungen begleitet wird. Diese Schwankungen sind sowohl natürlicher, hauptsächlich durch Bewegung innervierter Art, aber auch durch kognitive tätigkeitsbedingte Beanspruchungsdifferenzen ausgelöst. Eine genaue Differenzierung beider

Effekte ist hierbei nicht immer eindeutig möglich. Die Verläufe sind im Vergleich zur Bewegung weniger eindeutig, dennoch fällt auf, dass es immer zum Ende eines Modells einen Anstieg in der Herzfrequenz und einen Abfall der Herzratenvariabilität gibt. Auffällig ist, dass Modell 1 wenig beanspruchend im Bereich der EKG-Maße ausfällt, während das Bewegungsmaß einen hohen Grad an Aktionismus signalisiert. Zudem fällt auf, dass die Modelle 2, 3 und 4 beanspruchender zu sein scheinen als die Modelle 5 und 6. Auch dies könnte wiederum ein Zeichen des stetigen Kompetenzzuwachses des Probanden sein, der die Zunahme an Komplexität nicht nur kompensiert, sondern sogar überkompensiert (letztlich bleibt die Aufgabe doch relativ leicht). Dieser Befund zeigt die Bedeutsamkeit von Kompetenz und Erfahrung im Wechselspiel mit allen körperlichen und geistigen Belastungen auf.

Betrachtet man den Pupillendurchmesser im Verlauf, so zeigt sich, dass es für die meisten Modelle zwei Phasen zu geben scheint, in denen der Proband besonders weite Pupillen hatte, demnach vermehrt kognitiv gearbeitet hat. Zum einen sind die Anfangsbereiche eines jeden Modells mit mehreren kurzen roten Bereichen durchzogen. Hierbei sollte es sich um die Aufnahme der benötigten Montageinformationen handeln. Der Proband bereitete z. T. auch schon Schrauben vor und ließ sich alle Informationen innerhalb kurzer Zeit anzeigen. Im Folgenden waren dann nur vereinzelt Blicke auf das Assistenzsystem notwendig (siehe auch Abb. 6.10). Der zweite Zeitpunkt, der von eher geweiteten Pupillen geprägt ist, liegt am Ende der jeweiligen Modelle. Hier liegt eine Verschiebung in Richtung Stress durch Zeitdruck vor. Der Schwerpunkt der kognitiven Beanspruchung verschiebt sich dabei weg von der Informationsaufnahme hin zu durch das akustische Signal und dem Absinken im Leaderboard verbundener Anspannung mit dem Ziel, das Modell noch rechtzeitig abzuschließen, um ein weiteres Absinken zu vermeiden.

Betrachtet man einmal vergleichend die den Modellen 1 und 6 zuzuordnenden Parameterverläufe (Abb. 6.13), so fällt auf, dass beide Modelle im Mittel recht ähnliche Verläufe aufzeigen. Die senkrechten Linien verdeutlichen Zeitpunkte der Interaktion mit dem Assistenzsystem, hier der AR-Brille. Die Mittelwerte für Herzfrequenz ( $M_1 = 112,05$ ,  $M_6 = 114,07$ ),  $rrHRV$  ( $M_1 = 2,39$ ,  $M_6 = 2,30$ ) und Pupillenausdehnung ( $M_1 = 3,33$  mm  $M_6 = 3,23$  mm) unterschieden sich nicht gravierend. Auffallend sind aber die sich verändernden Verläufe für den Pupillendurchmesser. Während bei Modell 1 auch im verschraubenden Teil der Montage noch leicht geweitete Pupillen zu verzeichnen sind, sinkt der Durchmesser bei Modell 6 stetig ab. Dies kann dadurch bedingt sein, dass der Proband zu Anfang noch mehr kognitive Ressourcen auch für die Optimierung der Schraubvorgänge benötigte (alle Probanden mussten mit einer ihnen vorher nicht vertrauten Technik arbeiten), die dann bei Modell 6 nicht mehr erforderlich waren. Je vertrauter die Werker mit den Abläufen sind, desto weniger Information benötigen sie für die Bewältigung der Aufgabe.

Ebenso auffallend sind Anstiege der HR und Absinken der  $rrHRV$  nach den Interaktionen mit dem AR-Assistenzsystem. Hierbei handelt es sich jedoch vermutlich um einen kombinierten Effekt der mentalen Verarbeitung der neu gewonnenen Informationen und der körperlichen Beanspruchung durch den Beginn der Umsetzung



**Abb. 6.13** Vergleich von Modell 1 (10:25 min) und Modell 6 (7:40 min) – in senkrechte Linien markieren Interaktionen mit dem Assistenzsystem, horizontal in den Kästen sind die entsprechenden Mittelwerte vermerkt

der gewonnenen Informationen. Hier zeigt sich ein zentrales Problem der kontinuierlichen physiologischen Messung: Die Pupillendilatation erfolgt in kürzester Zeit, während das EKG erst mit erheblicher Latenz Veränderungen signalisiert.

Werden in diese Betrachtungen zusätzlich die aus Abb. 6.10 aufgezeigten Befunde einbezogen, so fällt einmal auf, dass die Zeiträume der Informationsverarbeitung in Verbindung mit den Instruktionen relativ kurz ausfallen. Sodann zeigt sich, dass die kognitiven Beanspruchungen bei der motorisch geprägten Umsetzung der Instruktionen weniger deutlich aus den Daten zu extrahieren sind. Das könnte seinen Grund darin haben, dass das EKG generell wesentlich stärker durch körperliche als durch mentale Aktivität geprägt ist. Erwartungskonform ist zudem, dass sinkende HRV-Werte häufig auch mit einem Anstieg der Fixationsdauer einhergehen, was für eine erhöhte informatrische Beanspruchung spricht.

In der Gesamtbetrachtung der aufgezeigten Daten ergeben sich zwei zentrale Tendenzen, die beide eine Verschiebung der Beanspruchung andeuten und mit der Kompetenzentwicklung des Probanden im Verlauf der Untersuchung in Beziehung stehen. Zum einen erfolgt eine Verlagerung der Beanspruchung vom rein motorischen Anlernen der Aufgabe hin zur gesteigerten Wahrnehmung des Zeitdruckes, was wiederum die Beanspruchung bzw. die Anstrengung des Probanden beeinflussen kann, die Aufgabe innerhalb einer möglichst guten Zeit zu beenden. Zum zweiten ist eine auf Beanspruchungsebene entgegengesetzte Wirkung der Komplexitätssteigerung und der Kompetenzentwicklung festzustellen. Rein aus Komplexitätssicht wäre eine Erhöhung der Beanspruchung zu erwarten. Die Probanden wurden nach jeweils zwei fertiggestellten Modellen befragt, wie komplex und schwer sie das letzte Modell im Vergleich zu vorangegangenen Modellen empfunden haben. Dabei zeigte sich ein deutlicher Anstieg in der wahrgenommenen Komplexität. Dieser spiegelt sich jedoch nicht in den physiologischen Daten wider. Auf kognitiv, informatrischer Ebene hat scheinbar eine Verschiebung vom Kompetenzerwerb hin zur gesteigerten Komplexität stattgefunden, der dazu führte, dass in der Summe die wahrgenommene und messbare Beanspruchung des Probanden nahezu gleichbleibt.

Im Verlauf von nur wenigen Montagevorgängen scheint es bereits zur Ausprägung kognitiver Automatismen [44] gekommen zu sein. Das Assistenzsystem wurde nur noch in den Momenten genutzt, in denen zusätzliche Informationen zu beachten waren, oder es darauf ankam, sich noch einmal rückzuversichern, dass die montierten Teile korrekt angebracht wurden. Dabei schien die Art des Assistenzsystems weniger eine Rolle zu spielen als vielmehr die Art und Weise der Aufbereitung der Informationen. Sind diese klar strukturiert und werden sie in der richtigen Granularität dargeboten, so kann der Kompetenzerwerb zügig erfolgen. Unzureichende Instruktionen erschweren den Kompetenzerwerb, führen aber nicht zu einer stärkeren Nutzung des Assistenzsystems. Generell ergibt sich daraus, dass Assistenzsysteme den vorgegebenen Arbeitsablauf nicht stören sollten und nur so viel Information liefern, wie angesichts bestehender Ressourcen erforderlich ist. Zunehmende Kompetenz bedeutet dabei, dass Redundanzen frühzeitig erkannt und entsprechend umgesetzt werden. Der erfahrene Werker verlässt damit vor-

zeitig den Monitor des Assistenzsystems, wo unerfahrene Werker sich noch länger mit der Instruktion auseinandersetzen müssen. Dabei haben AR-Brillen den Vorteil, dass Informationsaufnahme und körperliche Umsetzung parallel erfolgen können. Die Werker können in der Regel hands-free weiterarbeiten und die Informationen sind immer in unmittelbarer Reichweite, allerdings werden diese auch i. d. R. kleiner dargeboten, was wiederum anfänglich zusätzliche Anstrengungen erfordert. Zielführend könnte es längerfristig sein, stärker auf individualisierte, kompetenz- und/oder beanspruchungsgesteuerte Assistenzsysteme zu setzen [3].

---

## 6.4 Lessons Learned

Die in Abschn. 6.3.2 kurz dargestellten Befunde sind zwar lediglich Ergebnis einer Einzelfallstudie, sie geben jedoch bereits erste Einblicke in die Problematik informatorischer Assistenzsysteme in der variantenreichen Montage. Wie gezeigt werden konnte, spielen informatorische Assistenzsysteme eine Rolle bei der Bewältigung informationsreicher Montagevorgänge – als informationsreich gilt dabei generell die Mehrproduktmontage – jedoch geben die Untersuchungen auch zu erkennen, dass dies nicht durchgängig über alle Modelle hinweg der Fall ist. Nur etwa 30s (von 7:40min, das entspricht etwa 7 % der Zeit) wandte sich der Proband dem Assistenzsystem zu, um daraus alle relevanten Informationen zur Montage des Rahmens zu erhalten. Die kognitive Beanspruchung war von daher nicht sehr groß, zumal auch der wiederholte Blick in die AR-Brille weitgehend ausblieb. Der Proband war offensichtlich aufgrund der Instruktion in der Lage, den gesamten Montageprozess bereits zu antizipieren, ohne sich informatorisch vergewissern zu müssen. Wenn dennoch eine höhere Beanspruchung zu registrieren war, so resultierte sie – abweichend gegenüber einer ursprünglich gemessenen Baseline – aus dem Hin- und Herlaufen entlang des Montagetisches, aus ruckartigen Bewegungen oder suboptimalem Montageverhalten, was sich im Verlauf der Zeit wieder verliert.

Zu Beginn der Untersuchung hatten die eingesetzten Assistenzsysteme und mit ihnen die vermittelte Bauinstruktion eine bedeutsame Funktion, um dem individuellen Montagehandeln Ausrichtung und Struktur zu geben, diese Funktion büßte das Assistenzsystem jedoch bereits nach kurzer Zeit und mit zunehmender Anzahl der Modelle ein. Die externe Information verlor an Bedeutung, die internen Informationen spielten von da an eine größere Bedeutung. Interne Information steht dabei für Wissen oder für den „gesunden Menschenverstand“, für Erfahrung und auch einen gewissen Grad an Kompetenz, selbst komplexere Modelle in relativ kurzer Zeit (etwa 8min) und mit wenigen Fehlern (etwa 1,5 Fehler pro Modell) zu bearbeiten. Diese Verschiebung hängt – so die Annahme – vor allem mit der ausgefeilten Instruktion zusammen, die den Probanden zu Beginn der Untersuchung erteilt wurde. Diese führte bereits sehr detailliert vor Augen, wie der Montageprozess zu gestalten ist. Solch ausgefeilte Instruktionen liegen in der Praxis oftmals nicht vor. Ohne sie wäre es jedoch im Experiment nicht möglich gewesen, die montageunerfahrenen Probanden die Aufgabe bewältigen zu

lassen. Diese ausführliche Instruktion und die Ähnlichkeit der Modelle schuf vermutlich ein hohes Maß an Redundanz, sodass trotz aller mehr oder weniger kniffligen Varianten die Aufgabe letztlich doch informationsärmer blieb als gedacht. Dies bedeutet gleichzeitig, dass der Komplexitätsgrad der Aufgabe geringer war als ursprünglich angenommen. D. h. die Komplexität wurde durch die ausführlichen Instruktionen vorab wieder reduziert. Dies lässt sich auch dahingehend interpretieren, dass dort, wo gute Instruktionen gegeben sind, die Komplexität schon sehr hoch sein muss, damit sie sich stark beanspruchend auswirken kann. Gute Instruktionen im Experiment – sie stehen für eine gute Arbeitseinweisung im Betrieb – erscheinen wie ein Gegenmittel zur Komplexität. Damit stellen sich die Fragen,

- a) unter welchen organisatorischen Arbeitsbedingungen informatrische Assistenzsysteme nützlich sein können (viel Komplexität, schlechte Instruktion, gute Datenbasis und systemtechnische Integration),
- b) unter welchen personenbezogenen Ressourcenbedingungen informatrische Assistenzsysteme hilfreich sein können (wenig Kompetenz/Erfahrung/Vertrautheit, wenig Routine, wenig kognitive Automatismen, hohe Beanspruchung),
- c) wie informatrische Assistenzsysteme gestaltet sein müssen, damit sie akzeptiert und genutzt werden (auf den Bedarf angepasst, konfigurierbar).

Auf der Basis des Modells von Wickens [49] liegt der zentrale Zweck der Einführung von informatrischen Assistenzsystemen darin, ein überbordendes Informationsangebot bewältigbar zu machen und so kognitive Überforderungen zu vermeiden. Es soll dadurch erreicht werden, die Komplexität des Gesamtvorgangs wieder ein Stück weit zu reduzieren, Unsicherheiten und hohe Aufmerksamkeit über längere Zeiträume hinweg zu vermeiden und dadurch den Ressourcenverbrauch bzw. die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses wieder zu verringern [16]. Wer ständig visuell und fokal konzentriert sein muss, steht unter hoher Anspannung und erlebt eine starke kognitive Beanspruchung. Um Entlastung zu erreichen, müssen – so paradox es klingen mag – zusätzliche externe Informationen in das Montagesystem eingespielt werden, die in jedem einzelnen Fall aber zu einem relativ stärkeren Abbau an Unsicherheit und einem Aufbau von Redundanz beitragen, ähnlich wie beim Erlass eines zusätzlichen Gesetzes, welches aber zur Abschaffung von zwei anderen Gesetzen führt. Diese externen Informationen betreffen drei zentrale Aspekte [10, 26, 43]:

- Der Aspekt „Was“ betrifft den Inhalt der Information: So soll dem Werker angezeigt werden, in welchem Behälter sich ein einzubauendes Teil befindet oder ihm soll anhand einer Konstruktionszeichnung der Einbauort einer Komponente vermittelt werden. Generell gilt für die Gestaltung von Displays: Aktuelle und möglichst keine irrelevanten Informationen sollten gegeben werden. Ferner sollte beachtet werden, dass Informationen nicht falsche Assoziationen z. B. über Farbgebungen hervorrufen (blauer Träger verleitet zur Nutzung des blauen Werkzeugs).

- Der Aspekt „Wie“ betrifft die Präsentation der Information: Es stellt sich die Frage, ob eine Einbauinstruktion in schriftlicher oder bildlicher Form gegeben werden soll oder ob sie für anzulernende Personen in bildlicher und für Experten z. B. in Form einer Konstruktionszeichnung gegeben werden soll. Generell gilt für die Gestaltung von Displays: Information sollte möglichst auf einen Blick erfassbar sein.
- Der Aspekt „Wann“ betrifft das Timing der Präsentation: Hier stellt sich einmal die Frage, wann der rechte Zeitpunkt für eine Information gegeben ist und ob dieser Zeitpunkt automatisch voreingestellt oder vom Werker in Eigenregie bestimmt werden kann. Generell gilt: Information sollte möglichst kurz gehalten werden müssen.

Aus diesen drei Aspekten ist abzuleiten, dass möglichst jedem Montagewerker in der komplexen variantenreichen Montage eine spezifische Konstellation von externen Informationen durch ein informatorisches Assistenzsystem zur Verfügung gestellt werden sollte. Ein Beispiel für eine solche Konstellation externer Information liefert das sog. OPDM (operational process dashboard of manufacturing) von Gröger et al. [19], welches auf unterschiedliche Weise auf Displays verschiedenster Assistenzsysteme realisiert werden kann. Das in Abschn. 6.3.1 erläuterte Fallbeispiel verdeutlicht, dass insbesondere das Eliminieren überflüssiger Informationen („Was“) und eine übersichtliche Darstellung der benötigten Informationen in bildlicher und textlicher Form („Wie“) bereits zu einer deutlichen Reduzierung der Tätigkeitszeiten führt. In Bezug auf den Aspekt „Wann“ war die Nutzeranforderung, möglichst alle relevanten Informationen für einen Montageauftrag über ein großes Display auf einmal – ohne ein Weiterschalten durch den Nutzer – zu erhalten. Der Vorteil dieser Art der Informationsausgabe ist, dass unterschiedliche Arbeitsmethoden bzw. Arbeitsweisen zur Anwendung kommen können, der Gesamtarbeitsablauf also nicht durch die sequenzielle Informationsausgabe (Schritt-für-Schritt-Anleitung) vorgegeben wird. Dafür muss der Nachteil in Kauf genommen werden, dass eine umfassende Informationsausgabe zwangsläufig zu kurzen, nicht-wertschöpfenden Orientierungszeiten führt.

Mit Überlegungen und Gestaltungsoptionen dieser Art befasst sich die sogenannte kognitive Ergonomie, die als Reaktion auf die Zunahme der Informationsmenge, auf veränderte Informationsstrukturen und die Menge und Geschwindigkeit von darauf basierenden Entscheidungen begründet wurde [28]. Sie bildet eine Teildisziplin der herkömmlichen Ergonomie, die sich vornehmlich auf körperliche Beanspruchungen und Gegenmaßnahmen konzentriert hat. Die kognitive Ergonomie zielt darauf ab, die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit mentaler Informationsverarbeitungsprozesse genauer zu analysieren und diese möglichst resilient zu gestalten. Ergonomische Gefährdungen resultieren dabei z. B. aus unklaren Handlungsanweisungen oder Arbeitsinstruktionen, unzureichender Anordnung von Anzeigemonitoren und Schaltbildern, zu starken Konzentrationserfordernissen auf selten auftretende Signale, schlechter visueller oder akustischer Gestaltung von Signalen oder unzureichender farblicher Differenzierung von Bauteilen. Hier sollen Assistenzsysteme helfen.

Dabei kann unterschieden werden zwischen solchen Assistenzsystemen, die automatisch Entscheidungen übernehmen und solchen Systemen, die lediglich Informationen

bereitstellen, aber Entscheidungen überwiegend bei den Beschäftigten belassen. Fast-Berglund et al. [15] stellen aufgrund betrieblicher Studien generell in Aussicht, dass längerfristig durch technische Unterstützung im Sinne einer „cognitive automation“ ein „decrease of workload“ zu erreichen ist, sofern – und hier kommt wieder das Ausgangsthema ins Spiel – die Dosierung der Information auf die Beschäftigten hinreichend abgestimmt ist. Damit ist jedoch nicht allein ein logistisches Problem angesprochen, sondern auch ein differentiell-psychologisches Problem: Wer braucht eigentlich welche Information? Da reicht es nicht aus, nur auf die Komplexität zu verweisen, sondern man muss auch wissen, welche Erfahrung bzw. Kompetenz ein Werker einbringt und vor allem wie stark er kognitiv beansprucht ist. Assistenzsysteme können Sicherheit und Zutrauen vermitteln und die Performanz und Erfahrungsbildung unterstützen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Assistenzsysteme benutzerzentriert und kontextsensitiv gestaltet sind [50], indem sich die Systeme z. B. über eine Benutzerverwaltung individuell konfigurieren lassen, möglichst eine multimodale Interaktion unterstützen und Informationen anforderungsgerecht – z. B. unter Berücksichtigung des Übungsgrades – darstellen [27]. So ist es z. B. unter Einsatz von AR-Brillen möglich, dass der Beschäftigte durch Gesten oder ein akustisches Signal („Weiter“) selbst die Geschwindigkeit der Informationspräsentation steuert. Auf vergleichbare Art kann er auch zusätzliche Information in einem markierten Bild oder gar einem kurzen Video eingespielt bekommen, wenn eine Variante eine besondere Montagemethode erforderlich macht oder die Ausführung als besonders fehleranfällig und damit qualitätskritisch gilt. Umgekehrt kann ein erfahrener Beschäftigter auch bei einzelnen ausgewählten Varianten gänzlich auf eine Unterstützung verzichten (das unterstützt Befunde von Fast-Berglund et al. [15], wonach in 60 % der Fälle auf Unterstützung durch Assistenzsysteme verzichtet und allein auf der Basis von Erfahrung montiert wurde). Die individuelle Konfiguration kann dann in der Benutzerverwaltung der Software vorgenommen oder automatisch erfolgen, sie kann aber auch je nach Lernfortschritt oder aktuellem Befinden ad hoc vom Beschäftigten selbst erledigt werden. Langfristig wird dabei zu prüfen sein, ob zwischen der individuellen Auswahl der Konstellation und den objektiven Ausgängen eine hohe oder geringe Übereinstimmung besteht. Später könnten diese Erfahrungen in ein automatisches Machine Learning übergehen, welches dann Empfehlungen abgibt, wie die jeweilige Konstellation an externen Informationen ausfallen sollte.

Mit Blick auf die Gestaltung von informatrischen Assistenzsystemen seien abschließend sechs zentrale Empfehlungen für die Gestaltung von informatrischen Assistenzsystemen gegeben [5]:

1. Das Assistenzsystem muss entlasten, es darf nicht zusätzlich belasten. Dies bedarf einer systematischen Überprüfung, denn jedes einmal eingerichtete Assistenzsystem verliert mit der Zeit – infolge einer Internalisierung von Wissen – an Funktionalität und kann damit zur Belastung werden. Bei einer hohen Dynamik am Arbeitsplatz (z. B. durch häufige Produktänderungen) kann dieser Effekt kompensiert werden, d. h. die Komplexität und damit die Funktionalität bleiben infolge der Dynamik erhalten.

2. Das Assistenzsystem muss stets auf die Strukturen interner Information der einzelnen Werker oder Werkertypen zugeschnitten sein. Einstellungen an der Assistenzsystemsoftware sollten vom Nutzer vorgenommen werden können, auch damit die Funktionalität des Systems im Zeitverlauf – also mit einer zunehmenden Internalisierung von Wissen – erhalten bleibt.
3. Jedes Assistenzsystem mit seinen unterschiedlichen Ausgabegeräten (z. B. Tablet, Projektion, Datenbrille) hat spezifische Vor- und Nachteile. Es gilt, ein Assistenzsystem so auszuwählen bzw. zu konfigurieren, dass es den Anforderungen des Arbeitsplatzes bzw. seiner Nutzer am besten entspricht.
4. Assistenzsysteme müssen die Grundsätze der Dialoggestaltung berücksichtigen und insbesondere Rückmeldung und Korrektur ermöglichen.
5. Assistenzsysteme dürfen keine Stand-Alone-Lösung sein. Die Assistenzsystemsoftware sollte in die bestehende IT-Infrastruktur integriert sein, sodass Auftragsdaten aus einem ERP-System oder Produktdaten aus einem PLM-System automatisch übermittelt werden können. Damit wird die Aktualität der Informationen gewährleistet und der administrative Aufwand in der Arbeitsvorbereitung reduziert.
6. Der Gestaltung eines Assistenzsystems sollten Phasen der Analyse der Ausgangssituation und der Anforderungsermittlung vorausgehen. Test- und Evaluationsphasen sollten mit der Gestaltungsphase einhergehen Abschn. 6.3.1

---

## Literatur

1. Apt W, Bovenschulte M, Priesack K, Weiß C, Hartmann EA (2018) Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Forschungsbericht 502 des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Berlin
2. Bläsing D (2017) Erfassung von individuellem Beanspruchungserleben am Arbeitsplatz über Herzratenvariabilität im Pflegebereich. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 71(4): 269–278 <https://doi.org/10.1007/s41449-017-0082-7>
3. Bläsing D, Bornewasser M (2019) A Strain Based Model for Adaptive Regulation of Cognitive Assistance Systems – Theoretical Framework and Practical Limitations. In Karwowski W, Ahram T (Hrsg.), Intelligent Human Systems Integration 2019. Springer, Cham, S. 10–16 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_2)
4. Bommer S C, Fendley M (2018) A theoretical framework for evaluating mental workload resources in human systems design for manufacturing operations. International Journal of Industrial Ergonomics, 63: 7–17 <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.10.007>
5. Bornewasser M, Bläsing D, Hinrichsen S (2018) Informatrische Montageassistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72(4): 264–275 <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0123-x>
6. Bornewasser M, Wegge J (2018) Moderne Stressdiagnostik am Arbeitsplatz – theoretische und methodische Fortschritte. Wirtschaftspsychologie 20(1): 3–11
7. Brecher C, Kolster D, Herfs W (2011) Innovative Benutzerschnittstellen für die Bedienpanels von Werkzeugmaschinen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106(7–8): 553–556

8. Brookhuis K A, de Waard D (2010) Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3): 898–903 <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.001>
9. Chen F, Zhou J, Wang Y, Yu K, Arshad SZ, Khawaji A, Conway D (Hrsg) (2016). *Robust Multimodal Cognitive Load Measurement*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland
10. Claeys A, Hoedt S, Soete N, van Landeghem H, Cottyn J (2015) Framework for evaluating cognitive support in mixed model assembly systems. *IFAC Papers On Line*, 48(3): 924–929 <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.201>
11. Colle H A, Reid G B (2005) Estimating a mental workload redline in a simulated air-to-ground combat mission. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15(4): 303–319 [http://dx.doi.org/10.1207/s15327108ijap1504\\_1](http://dx.doi.org/10.1207/s15327108ijap1504_1)
12. DiDomenico A, Nussbaum M A (2011) Effects of different physical workload parameters on mental workload and performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(3): 255–260 <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.008>
13. DIN EN 614-1 (2009) *Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Begriffe und Allgemeine Leitsätze*. Berlin: Beuth
14. DIN EN ISO 10075-1 (2018) *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Berlin: Beuth
15. Fast-Berglund A, Fässberg T, Hellmann T, Davidsson A, Stahre J (2013) Relations between complexity, quality, and cognitive automation in mixed-model-assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 32: 449–455 <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.04.011>
16. Frizelle G, Woodcock E (1995) Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (5): 26–39 <https://doi.org/10.1108/01443579510083640>
17. GDA (2017) *Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie: Empfehlungen zur Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung*. [https://www.gda-psyche.de/SharedDocs/Downloads/DE/empfehlungen-zur-umsetzung-der-gefaehrungsbeurteilung-psychischer-belastung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.gda-psyche.de/SharedDocs/Downloads/DE/empfehlungen-zur-umsetzung-der-gefaehrungsbeurteilung-psychischer-belastung.pdf?__blob=publicationFile&v=1). Zugegriffen: 03.09.2019
18. Grandt M (2004): *Zur Erfassung und Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels psychophysiologischer Messverfahren*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal
19. Gröger C, Hillmann M, Hahn F, Mitschang B, Westkämper E (2013) The operational process dashboard for manufacturing. *Procedia CIRP*, 7: 205–210 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.035>
20. Hacker W (1998) *Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber
21. Hart S G, Staveland L E (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: Hancock P A, Meshkati N (Hrsg.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press
22. Hinrichsen S, Riediger D, Unrau A (2016) Assistance Systems in Manual Assembly. In: Villmer FJ, Padoano E. (eds) *Production Engineering and Management. Proceedings of 6th International Conference*, 3–14
23. Hinrichsen S, Riediger D, Unrau A (2018) Montageassistenzsysteme – Begriff, Entwicklungstrends und Umsetzungsbeispiele. *Betriebspraxis & Arbeitsforschung*, 232, 24–27
24. Hinrichsen S, Bendzioch S (2019) How Digital Assistance Systems Improve Work Productivity in Assembly. In: Nunes I L (ed) *Advances in Human Factors and Systems Interaction. Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Human Factors and Systems Interaction*, July 21–25, 2018, Orlando, Springer, Cham 332–342 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94334-3\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94334-3_33)

25. Hinrichsen S, Bornewasser M (2019) How to Design Assembly Assistance Systems. In: Karwowski W, Ahram T (eds) *Intelligent Human Systems Integration 2019. IHSI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 903. Springer, Cham, 286–292 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_44)
26. Hollnagel E (1987) Information and Reasoning in Intelligent Decision Support Systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27(5): 665–678 [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(87\)80023-8](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(87)80023-8)
27. Kölz M, Bächler A, Kurtz P, Hörz T (2015) Entwicklung eines interaktiv, adaptiven Montageassistenzsystems. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): *Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. Bericht zum 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) vom 25.–27. Februar 2015 in Karlsruhe*. GfAPress, Dortmund
28. Kretschmer V, Spee D, Rinkenauer G (2017) Der Mensch im Fokus. Kognitive Ergonomie in der Intralogistik. In: Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (Hrsg.) *Jahresbericht 2016*. Hamm: Griebisch & Rochol: 60–61
29. Laurig W (1990) *Grundzüge der Ergonomie: Erkenntnisse und Prinzipien* (4. Aufl). Berlin: Beuth.
30. Lindblom J, Thorvald P (2014) Towards a framework for reducing cognitive load in manufacturing personnel. In: Stanney K, Hale K S (Hrsg.) *Advances in Cognitive Engineering and Neuroergonomics*: 233–244
31. Liu Y (1996) Queueing network modeling of elementary mental process. *Psychological Review*, 103(1), 116–136 <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.103.1.116>
32. Luczak H (1986) Manuelle Montagesysteme. In: Spur G, Stöferle T (Hrsg) *Handbuch der Fertigungstechnik*, Vol. 5: Fügen, Handhaben und Montieren. Hanser, München, Wien, 620–682
33. Luczak H (1987) Psychophysiologische Methoden zur Erfassung psycho-physischer Beanspruchungszustände. In *Enzyklopädie der Psychologie: D/III/I Arbeitspsychologie*. Göttingen Hogrefe, 185–259
34. Ma Q G, Shang Q, Fu H J, Chen F Z (2012) Mental Workload Analysis during the Production Process: EEG and GSR Activity. *Applied Mechanics and Materials*, 220–223: 193–197 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.193>
35. Metz A M, Rothe H-J (2017) *Screening psychischer Arbeitsbelastung. Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung*. Wiesbaden: Springer
36. Nikolenko A, Sehr P, Hinrichsen S, Bendzioch S (2020) Digital Assembly Assistance Systems – A Case Study. In: Nunes I (eds) *Advances in Human Factors and Systems Interaction. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 959. Springer, Cham, 24–33 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20040-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20040-4_3)
37. Parasuraman R (2011) Neuroergonomics: Brain, cognition, and performance at work. *Current directions in psychological science*, 20, 181–186 <https://doi.org/10.1177/0963721411409176>
38. REFA-Bundesverband e.V. (2014): *REFA-Grundausbildung 2.0 – Lehrunterlage zu Teil 2A: Ermittlung und Anwendung von Prozessdaten. Modul 2: Arbeitssystemgestaltung*. Darmstadt
39. Reiser J E, Pacharra M, Wascher E (2018) Neuropsychologische Methoden zur Erfassung von Arbeitsbeanspruchung – Ein Überblick und aktuelle Entwicklungen. *Wirtschaftspsychologie* 20 (1): 23–31
40. Rubio S, Diaz E, Martin J, Puente J M (2004) Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile. *Applied Psychology: An International Review*, 53(1): 61–86 <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x>
41. Samy S N, ElMaraghy H (2010) A model for measuring products assembly complexity. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 23(11): 1015–1027 <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.511652>

42. Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2013). The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14(6), 616–639 <https://doi.org/10.1080/1463922X.2012.678283>
43. Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) *Arbeitswissenschaft*. 4. Aufl. Berlin: Springer
44. Stork S, Schübo A (2010) Human cognition in manual assembly: Theories and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 24: 320–328 <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.05.010>
45. Takeda H (2006) LCIA – Low Cost Intelligent Automation. Produktivitätsvorteile durch Einfachautomatisierung. mi-Fachverlag, Landsberg am Lech
46. Thorvald P, Backstrand G, Hogberg D, De Vin LJ, Case K (2008) Information presentation in manual assembly: A cognitive ergonomics analysis. In: *Proceedings of 40th Annual Nordic Ergonomics Society Conference (NES 2008): ergonomics is a lifestyle*, Reykjavik, Iceland
47. Unrau A, Hinrichsen S, Riediger D (2016) Development of Projection Based Assistance System for Manual Assembly. In: *Ergonomics 2016 – Focus on Synergy*, 6th International Ergonomics Conference, Zadar, Croatia, 365–370
48. Vollmer M (2015) A robust, simple and reliable measure of heart rate variability using relative RR intervals. <https://marcusvollmer.github.io/HRV/files/paper.pdf>. Zugegriffen: 03. Sep. 2019
49. Wickens CD (2008) Multiple resources and mental workload. *Human factors*, 50(3): 449–455 <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
50. Wölflle M (2014) Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik. Dissertation, Technische Universität München
51. Young M S, Brookhuis K A, Wickens C D, Hancock P A (2015) State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1): 1–17 <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.956151>
52. Zaeh M F, Wiesbeck M, Stork, S, Schübo A (2009) A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations. *Production Engineering*, 3: 489–496 <https://doi.org/10.1007/s11740-009-0171-3>
53. Zhu X, Hu S J, Koren Y, Marin S P (2008) Modeling of manufacturing complexity in mixed-model assembly lines. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130(5), 051013 (10 Seiten) <https://doi.org/10.1115/1.2953076>

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Synchronisation von Digitalisierung, Qualitätssicherung und Assistenzsystemen an Arbeitsplätzen mit geringem Automatisierungsgrad

# 7

Tobias Rusch, Amelie Riegel, Michael Hueber, Florian Kerber, Lukas Merkel, Robin Sochor, Laura Merhar, Massimo Romanelli, Zhenqiang Guo, Hermann Klug und Benedikt Stelzle

## Zusammenfassung

Aufgrund variantenreicher Produktportfolios und steigender Kundenanforderungen im internationalen Wettbewerb stehen KMU vor besonderen Herausforderungen, die durch klassische Automatisierungstechnologien nicht zu lösen sind. Digital vernetzte Assistenzsysteme bieten die Möglichkeit, MitarbeiterInnen bei der Montage individueller Varianten kognitiv und physisch zu unterstützen. Im Projekt

---

T. Rusch (✉) · A. Riegel · M. Hueber · F. Kerber  
Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg,  
Nördlingen, Deutschland

E-Mail: [tobias.rusch@hs-augsburg.de](mailto:tobias.rusch@hs-augsburg.de); [amelie.riegel@hs-augsburg.de](mailto:amelie.riegel@hs-augsburg.de);  
[michael.hueber@hs-augsburg.de](mailto:michael.hueber@hs-augsburg.de); [florian.kerber@hs-augsburg.de](mailto:florian.kerber@hs-augsburg.de)

L. Merkel · R. Sochor · L. Merhar  
Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV,  
Augsburg, Deutschland

E-Mail: [lukas.merkel@igcv.fraunhofer.de](mailto:lukas.merkel@igcv.fraunhofer.de); [robin.sochor@igcv.fraunhofer.de](mailto:robin.sochor@igcv.fraunhofer.de);  
[laura.merhar@igcv.fraunhofer.de](mailto:laura.merhar@igcv.fraunhofer.de)

M. Romanelli · Z. Guo  
paragon semvox GmbH, Kirkel-Limbach, Deutschland

E-Mail: [romanelli@semvox.de](mailto:romanelli@semvox.de); [guo@semvox.de](mailto:guo@semvox.de)

H. Klug  
SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH, Nördlingen, Deutschland  
E-Mail: [hermann.klug@spn-drive.de](mailto:hermann.klug@spn-drive.de)

B. Stelzle  
Ohnhäuser GmbH, Wallerstein, Deutschland  
E-Mail: [benedikt.stelzle@ohnhaeuser.de](mailto:benedikt.stelzle@ohnhaeuser.de)

SynDiQuAss wurden auf Basis einer von den Partnern gemeinsam erarbeiteten und verabschiedeten Handlungsverpflichtung Methodiken und Technologien für den Einsatz an prototypischen Montagearbeitsplätzen entwickelt. Ziel des Projekts ist es, Produktqualität und Arbeitsproduktivität im Bereich der Montage in kleinen und mittelständischen Unternehmen durch Einsatz von Assistenzsystemen und Digitalisierungstechnologien zu verbessern. Während der Konzept- und Entwicklungsphasen wurden Akzeptanzuntersuchungen, Mitarbeiterbefragungen und Validierungsstudien durchgeführt, um die Qualität der Lösungsansätze zu beurteilen und die betroffenen MitarbeiterInnen am Transformationsprozess teilhaben zu lassen. Als finales Projektergebnis wurden zwei spezifizierte Montagearbeitsplätze zur prozessintegrierten robotergestützten Qualitätskontrolle und zur hybriden Getriebemontageassistenz aufgebaut und innerhalb der existierenden Produktionsstätten einem Praxistest unterzogen.

---

## 7.1 Ausgangssituation

Im Zuge der Digitalisierungsinitiative werden immer mehr Technologien im Bereich der flexiblen Industrieautomation wie etwa frei navigierende fahrerlose Transportsysteme oder kollaborierende Robotersysteme kommerziell verfügbar. Um die daraus resultierenden Potentiale nutzen zu können, müssen neue und einfach anpassbare Einsatzmöglichkeiten in allen Produktionsbereichen geschaffen werden. Trotz der Fortschritte der Innovationsinitiative „Industrie 4.0“ und anderer Initiativen [4, 42] fehlen bislang gerade für KMU Umsetzungsstrategien und methodische Grundlagen dafür.

Insbesondere im Bereich der Montage überwiegen selbst in hochentwickelten Branchen wie dem Automobilbau manuelle Tätigkeiten, die von qualifizierten FacharbeiterInnen durchgeführt werden müssen. Mehrere Faktoren führen dazu, dass die Automatisierung solcher Arbeitsplätze bislang nicht möglich war und auch auf absehbare Zeit technologisch nicht realisierbar erscheint (siehe auch [5]):

Einer der Faktoren ist die hohe Variantenvielfalt des Produktportfolios, die hochflexible und gleichzeitig intuitiv bedienbare Systeme erfordert. Das Problem der kombinatorischen Explosion im Bereich der Massenproduktion und kundenindividuelle Anpassungen in der variantenreichen Serienproduktion mit Losgrößen von 10 bis 1000 Stück erschweren den Einsatz von Standardautomatisierungslösungen wie Industrierobotern, die Vorteile bei der präzisen Ausführung repetitiver Tätigkeiten haben. Zudem ist die Applikationsentwicklung für solche Systeme aufwendig und erfordert qualifiziertes Fachpersonal, um alle Aspekte von den Sicherheitsanforderungen für die

Gesamtanwendung bis zur Bewegungssteuerung der Einzelkomponenten zu berücksichtigen. Trotz virtueller Simulationstools ist die Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme oftmals langwierig und arbeitsaufwendig.

Die Komplexität von Montagetätigkeiten resultiert aus der Vielzahl einzelner Arbeitsschritte, der Nutzung unterschiedlicher Werkzeuge und den ergonomischen Anforderungen. So müssen zum Beispiel bei der Getriebemontage Press-, Schraub- und Schlagwerkzeuge mit unterschiedlichen Kraft- und Drehmomentanforderungen verwendet werden sowie Dicht- und Schmiermittel konturabhängig appliziert werden. Das Verlegen von Kabelkanälen oder die Montage schwerer Baugruppen in platzbegrenzten Umgebungen sind weitere Beispiele dafür, dass die Vielfalt von Montagetätigkeiten die Einsatzmöglichkeiten vollautomatischer Produktionslösungen erschwert [43].

An dieser Stelle setzt das Projekt SynDiQuAss an: Am Beispiel realer Anwendungsfälle kleiner und mittelständischer Produktionsunternehmen wird ein standardisiertes Vorgehen entwickelt, um Montagearbeitsplätze durch digital vernetzte Assistenzsysteme anhand der Bedürfnisse der WerkerInnen so weiterzuentwickeln, dass Produktivität und Produktqualität gleichermaßen gesteigert werden können.

In der Produktionstechnik wird unter dem Begriff „Assistenzsystem“ ein technisches System verstanden, das Informationen über Sensoren und Eingaben aufnimmt, verarbeitet und das Ergebnis in geeigneter Form in den Arbeitsprozess einbringt [22]. Dabei steht gerade nicht die autonome Durchführung von Fertigungsprozessen im Vordergrund, sondern die Unterstützung menschlicher Arbeitskräfte durch gezielte Informationsbereitstellung (kognitive Assistenz) [16], Reduzierung körperlicher Belastungen in Form der motorischen Ausführung von Teilprozessschritten (physische Assistenz) oder eine Kombination in Form einer hybriden Assistenz. In der Literatur sind diverse Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten einzelner Assistenzsystemtechnologien beschrieben. Anwendungsszenarien wie die Anlageninbetriebnahme [1] oder lernunterstützende Systeme [10] werden dabei ebenso wie Planungsmethodiken betrachtet, siehe u. a. [3, 17].

Bedürfnisse und Anforderungen der MitarbeiterInnen und des Unternehmens in Einklang zu bringen, also Arbeitsbedingungen, Prozessplanung und Qualitätskontrolle gleichzeitig zu beachten, erfordert eine ganzheitliche Herangehensweise. Das Projekt entwickelt durch eine reflektierte und modellbasierte Synchronisierung von Digitalisierung und Assistenzsystemen Unterstützungsfunktionen, die es Personen mit unterschiedlichen Qualifikationsniveaus sowie unterschiedlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglicht, den neuen und schnell wechselnden Anforderungen gerecht zu werden. Neben den direkten Auswirkungen auf die betroffenen WerkerInnen – geringere Arbeitsbelastung, ergonomische Verbesserungen, höhere Arbeitsmotivation etc. – werden auch indirekte sozioökonomische Vorteile erwartet: Dem Facharbeiterrückgang

durch den demografischen Mangel kann entgegengetreten werden, da Anlernzeiten für ungelernetes Personal reduziert und so flexiblere Einsatzmöglichkeiten z. B. bei Auftragspitzen möglich werden [2].

Die Qualitätssicherung spielt im produzierenden Gewerbe eine immer wichtigere Rolle. Ein zentrales Ziel dieses Projektes ist es, Qualitätssicherung in die Produktionsprozesse zu integrieren sowie möglichst weitgehend mit anderen Unternehmensfunktionen sowie Planungs- und Steuerungssystemen zu vernetzen. Es wird ein Stichprobenumfang von 100 % angestrebt, um die Rückverfolgbarkeit bis auf die Ebene des Einzelauftrags bzw. von Einzelstücken zu gewährleisten. Speziell die geringen Losgrößen und die hohe Variantenvielfalt erfordern eine neue, arbeitsplatzbezogene und prozessorientierte Herangehensweise [35], die kundenspezifischen Anforderungen Rechnung trägt [41]. Arbeitsplätze, Qualitätsdaten und Produktionsplanung sollen durchgängig miteinander vernetzt und zur bedarfsgerechten Prozesssteuerung genutzt werden [27].

Die Digitalisierung in der Montage soll zur Synchronisierung der Anforderungen der MitarbeiterInnen und des Unternehmens dienen. Denn ganzheitliche Lösungen für einzelne Montagearbeitsplätze sind bisher weder im Forschungsstadium detailliert untersucht worden, noch haben sie Einzug in die unternehmerische Praxis gefunden. Studien behandeln lediglich Teilaspekte wie den Einsatz von einzelnen physischen oder kognitiven Assistenzsystemen. Die hohe Variantenanzahl und geringe Losgrößen in der Montage der Industriepartner erfordern häufiges Umrüsten der Handarbeitsplätze und erschweren eine Standardisierung der Arbeitsprozesse. Die Herstellung dieser Standardisierung bzw. Systematisierung in der Montage sind wichtige Ziele im Projektverlauf [4]. Der im Projekt gewählte Lösungsansatz liegt in der durchgängigen Prozessmodellierung, für die verschiedene Ansätze untersucht [29, 32] und problemspezifisch eingesetzt werden.

### **7.1.1 Vorstellung der Anwendungsfälle**

Bei der Auswahl der Anwendungsfälle wurde in enger Kooperation zwischen wissenschaftlicher Seite und Industriepartnern darauf geachtet, dass die Use-Cases real existierende Produktionsprozesse abbilden und sämtliche Veränderungen bzw. Projektergebnisse in diese Prozesse integriert werden können. Die Arbeitsplätze beider Anwendungsfälle weisen vor Projektbeginn einen geringen Grad an Digitalisierung auf, physische oder kognitive Assistenzsysteme sind an den betrachteten Arbeitsplätzen nicht im Einsatz. Die Losgrößen bewegen sich im ein- bis zweistelligen Bereich, während die Variantenanzahl bei bis zu 1000 liegt. Diese Eigenschaften der Use-Cases spiegeln die oben beschriebenen Herausforderungen wider.

Für den Bereich der synchronisierten Qualitätssicherung wurde der Montagearbeitsplatz für Videoarme als Komponenten von Flugzeugsitzen beim Partner **Ohnhäuser GmbH** ausgewählt. Die Ohnhäuser GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen in Wallerstein im Ries. In der über 60-jährigen Firmengeschichte hat sich der Betrieb als Zulieferer von Bauteilen und Baugruppen für die Luftfahrt und andere Industriebereiche etabliert. Die über 300 hoch qualifizierten MitarbeiterInnen verteilen sich auf die fünf Kernbereiche CNC-Fertigungstechnik, Werkzeug- & Vorrichtungsbau, Blechbearbeitung, Baugruppenherstellung & Systementwicklung und Additive Manufacturing.

Im Bereich der Systementwicklung & Baugruppenherstellung werden hauptsächlich Komponenten montiert, die in den Unternehmensbereichen CNC-Fertigungstechnik und Blechbearbeitung hergestellt werden. Einer der Hauptkunden ist die Firma RECARO Aircraft Seating GmbH & Co. KG mit Sitz in Schwäbisch Hall. Für diesen Kunden fertigt die Ohnhäuser GmbH unter anderem Videoarme für Flugzeugsitze.

Die verbauten Komponenten für die Videoarme müssen nicht nur funktionalen, sondern auch ästhetischen Ansprüchen genügen. Da sich die Videoarme größtenteils im Sichtbereich des Fluggastes befinden, werden auch erhöhte Ansprüche an die Oberfläche der Komponenten gestellt. Dies fordert von den MonteurInnen nicht nur Sorgfalt im Handling der Bauteile sondern auch erhöhte Aufmerksamkeit und ein geschultes Auge zur Erkennung von kleinsten Abweichungen.

Die Videoarme werden bei Ohnhäuser in einem Arbeitssystem im U-Layout montiert. Sonderkomponenten der Baugruppe werden auftragsbezogen kommissioniert, Standardbauteile sind direkt im Arbeitssystem bevorratet. Eine Herausforderung ist die enorme Variantenvielfalt, von über 1000 verschiedenen Videoarmen die in dem Arbeitssystem gebaut werden (Abb. 7.1).

Die WerkerInnen erhalten ihre Bauunterlagen bestehend aus Zeichnungen und Stücklisten in Papierform und montieren anhand dieser Dokumentation die verschiedenen Varianten. Die Auswahl der passenden Werkzeuge und Montagereihenfolge erfolgt durch die WerkerInnen selbst. Dies erfordert bei der hohen Varianz viel Knowhow.

Eine besondere Anforderung ist das Einstellen der Verstellkräfte der Drehgelenke des Videoarms. Die Kräfte werden durch die MitarbeiterInnen mittels einer Kraftmessdose an festgelegten Messpunkten manuell gemessen und eingestellt. Diese Arbeit erfordert viel Erfahrung und Fingerspitzengefühl, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, da die Kraft stark von der Richtung und Geschwindigkeit des Messvorgangs abhängt.

Hauptziel dieses Anwendungsfalls ist die Unterstützung und Entlastung der WerkerInnen durch kognitive als auch physische Assistenzfunktionen. So sollen Informationen wie Zeichnungen und Stücklisten digital verfügbar gemacht werden. Die Erstellung der Arbeitsanweisungen für die MonteurInnen darf für die Führungskräfte im Bereich Montage keinen zusätzlichen Aufwand verursachen. Durch die Nutzung von vorhandenen Daten aus der Stückliste ist eine automatisierte Erstellung geplant.



**Abb. 7.1** bisheriger Arbeitsplatz bei Ohnhäuser GmbH.

Die Messung der Verstellkräfte kann wiederholgenau durch einen Roboter ausgeführt werden und die zugehörige Auswertung und Dokumentation direkt digital erfolgen. Als Nebenprodukt des Projekts soll unter dem Stichwort Wissensmanagement auch die nachhaltige Sicherung des Knowhows der WerkerInnen in digitaler Form erreicht werden. MitarbeiterInnen müssen nicht nur nach vorgegebenen Arbeitsanweisungen arbeiten, sondern diese durch die Eingabe von Kommentaren verbessern und ergänzen können. Zur Verbesserung der Arbeitsanweisungen und Veranschaulichung von speziellen Tätigkeiten ist es geplant, dass diese durch die WerkerInnen selbst aufgenommenen Bilder ergänzt werden können. Auf diese Weise kann das Wissen der erfahrenen MitarbeiterInnen beispielsweise für das Einlernen neuer MitarbeiterInnen verfügbar gemacht werden. Dadurch, aber auch durch weitere Qualitätssicherungsmaßnahmen soll das Qualitätsniveau nachhaltig gehalten bzw. verbessert werden (Abb. 7.2).

Die im Projekt erarbeitete Neugestaltung des Arbeitsplatzes wird in Abschn. 7.3.3.4 genauer dargestellt. Die Schnittstellen zwischen physischer und kognitiver Assistenz werden durch einen von paragon semvox entwickelten Editor (Abschn. 7.3.4) gewährleistet.

Im zweiten Anwendungsfall bei **SPN Schwaben Präzision GmbH** wird die Montage einer Baugruppe innerhalb eines Getriebes betrachtet. SPN ist ein mittelständischer Metallverarbeitungsbetrieb in Nördlingen. Ausgehend von der Fertigung von hochpräzisen Uhren in Glashütte/Sachsen umfasst das Produktportfolio noch heute präzise Verzahnungstechnik. Die Firma hat in der Kleinstadt Nördlingen seit 1945 ihren einzigen

Sitz und beschäftigt inzwischen ca. 300 Mitarbeiter/innen am Standort in der Entwicklung, Fertigung und Montage von Getriebeteilen und kompletten Getriebeantriebssystemen für verschiedene Anwendungen in diversen Industriebranchen. So werden u. a. Getriebeteile und Systeme in Kleinserien für die internationale Textilmaschinenindustrie als auch für den weltweiten Einsatz in der Luftfahrt-Industrie nach höchsten Qualitätsanforderungen hergestellt. Daher ist das Unternehmen auch nach ISO 9100 (Luft- und Raumfahrtnorm) zertifiziert.

Die Produktionsprozesse sind auf Grund der extrem hohen Anzahl an kundenspezifischen Getriebevarianten oft nicht variantenspezifisch optimiert, da die hauseigene Konstruktions- und Entwicklungsabteilung aus Wettbewerbsgründen in immer kürzeren Zeitzyklen für den Kunden optimierte Lösungen plant. Die sich daraus ergebenden geringen Losgrößen bis hin zu Einzelstücken von Sonderanlagen bedingen naturgemäß wenig optimierte Montageprozesse und Qualitätssicherungsmaßnahmen (siehe Abb. 7.3). Für die Produktentwicklung werden bereits digitale Entwurfsverfahren eingesetzt, um durch FEM-Simulationen Bauteilauslegungen zu verbessern. Die Erzeugnisse werden in eigenständig entwickelten Prüfständen verschiedenen Belastungsszenarien unterzogen, um die Berechnungsergebnisse zu validieren und die Produktqualität sicherzustellen. In der Vorfertigung für die Getriebeeinzelteile wie Gehäuse, Ritzelwellen, Zahnräder oder Schneckenräder werden modernste CNC-Bearbeitungsmaschinen eingesetzt, die von im Hause ausgebildeten Facharbeitern bedient werden. Auch hier kommen hochgenaue Messverfahren zur laufenden Qualitätskontrolle zum Einsatz. Die manuellen Montageprozesse dagegen wurden bisher kaum systematisch abgesichert. Die Auswertung von Mängelanzeigen und Kundenreklamationen lieferte keine signifikanten Zahlen von



**Abb. 7.2** Arbeitsschritt "Kraftmessung" bei Ohnhäuser GmbH



**Abb. 7.3** Arbeitsplätze vor der Neugestaltung bei SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH

Qualitätsabweichungen, die der Montage zugeordnet werden konnten, was auf die hervorragende Ausbildung und langjährige Erfahrung des motivierten Fachpersonals zurückgeführt wurde.

Im Rahmen der stetig steigenden Qualitätsanforderungen bei gleichzeitiger Auslegung nahe des physikalischen Grenzbereichs der Belastungsfähigkeit von Bauteilen auf immer engerem Raum sowie massiv gesteigerter Anforderungen an Qualitätsdokumentation und Rückverfolgbarkeit von Mängelursachen durch die Kunden, Auditoren und Zertifizierungsinstitute lassen sich jedoch in der manuellen Montage noch erhebliche Verbesserungspotentiale erzielen. Zudem wird durch den demografischen Wandel und den allgemeinen Fachkräftemangel in der industriellen Fertigung die stetige Verfügbarkeit von erfahrenem und gut ausgebildetem Personal zukünftig schwieriger. Das Montage-Know-how wird von den älteren MitarbeiterInnen oft nicht mehr weitergegeben, da der Zwang zu extrem kurzen Einarbeitungszeiten und hochflexiblen Einsatzbedingungen der MitarbeiterInnen die Einarbeitungszeiten stetig verkürzt. So steigt der Bedarf an operativer Assistenz und der Optimierung der Montagearbeitsplätze in diesem Bereich ständig. Ohne assistierte Produktionsoptimierung durch Digitalisierung und Qualitätssicherungsmaßnahmen an Montagearbeitsplätzen sind Produktivitätssteigerungen und Qualitätsverbesserungen bei internationaler Wettbewerbsfähigkeit der Handarbeitsplätze im Hochlohnland Deutschland nicht möglich.

Bei der Auswahl des Anwendungsbeispiels wurde darauf geachtet, dass der Montageablauf mehrere verschiedene Arbeitsprozesse beinhaltet. Dabei sollten diese Montageprozesse in der gesamten Montageabteilung häufig auftreten und für die Mitarbeiter kognitiv und/oder physisch stark belastend sein. Ein weiteres Kriterium war die zu

erwartende Zeitersparnis bzw. Produktivitätssteigerung bei der Umsetzung durch den Einsatz der Assistenzsysteme in einzelnen Montageabschnitten. Im Fokus standen hier die Einsatzmöglichkeiten eines kollaborierenden Roboters als physisches Assistenzsystem, da der dafür benötigte Arbeitsraum einen direkten Einfluss auf die Gestaltung des Arbeitsplatzes einnimmt.

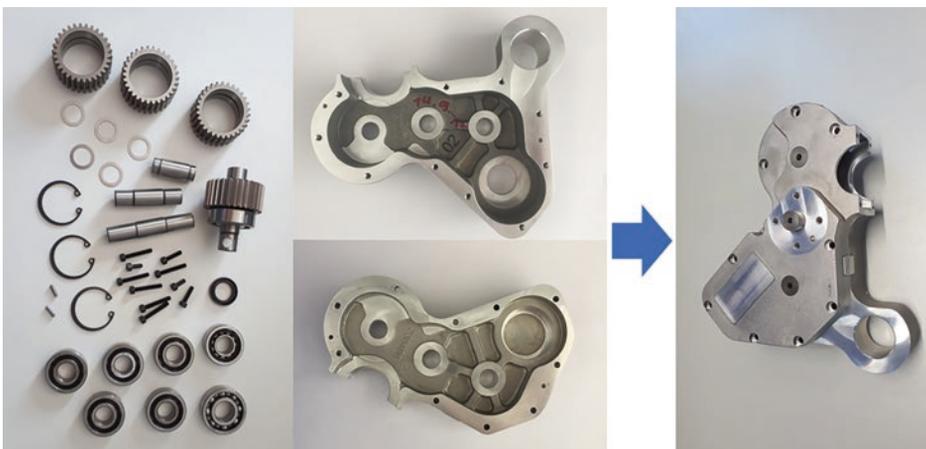
Zusammen mit leitenden MitarbeiterInnen aus den Bereichen Montage, Qualitätssicherung, Produktplanung und Arbeitsorganisation wurde hierzu eine Arbeitsgruppe gebildet und eine Aufstellung an verwendbaren Prozessen erstellt. Mit Hilfe eines Fragebogens wurden die vorliegenden Prozesse dann priorisiert und mögliche Produktfamilien ausgewählt. Aus den gewonnenen Ergebnissen wurde das in Abb. 7.4 dargestellte Getriebe mit dem entsprechenden Montageablauf ausgewählt.

Für diesen Anwendungsfall wurde ein Testarbeitsplatz am Technologietransferzentrum Nördlingen aufgebaut (Abschn. 7.3.3.3). Der komplexe Arbeitsvorgang mit vielen kleinteiligen Bauteilen weist teilweise ergonomisch unvorteilhafte Körperstellungen und gefährliche Temperaturen auf. Daher wird wie auch beim Ohnhäuser-Anwendungsfall eine Kombination aus kognitiven und physischen Assistenzsystemen angestrebt. Besonders für die körperlich schweren Arbeiten wird ein Mensch-Roboter-Kollaborierendes System installiert. Über die kognitiven Assistenzsysteme werden einzelne Arbeitsschritte multi-modal und interaktiv angezeigt.

## 7.1.2 Übergreifende Projektziele

### Handlungsverpflichtung und partizipatives Modell

Die Akzeptanz der MitarbeiterInnen gegenüber den eingesetzten Assistenzsystemen soll im Projektverlauf eine entscheidende Rolle spielen. Daher wird die Implementierung



**Abb. 7.4** Anwendungsfall bei SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH

der Assistenzsysteme durch ständige Evaluierungen durch die wissenschaftliche Seite begleitet. Durch dieses partizipative Entwicklungsvorgehen (Abschn. 7.3.1.1) sollen die Bedürfnisse und Vorschläge der MitarbeiterInnen einbezogen werden. Dafür ist eine längere Evaluationsphase vorgesehen, in der die entwickelten Demonstrationssysteme bei den beiden Industriepartnern und den Demonstrations- und Transferzentren der wissenschaftlichen Partner getestet werden sollen. Im Vordergrund stehen hierbei, neben der grundsätzlichen Funktionalität, v. a. die Schnittstellen der Mensch-Maschine-Interaktion. Das partizipatorische Modell soll als Handlungsverpflichtung aller Projektpartner (Commitment) erarbeitet und verabschiedet werden.

### **Spezifikation von standardisierten Montagearbeitsplätzen**

Durch Standardisierung der Arbeitsplätze und -prozesse lassen sich Zeit- und Kostenvorteile realisieren. Weitere Einflüsse betreffen die Arbeitsplatzgestaltung und die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Montage(-prozesse). Gerade Flexibilität und Wandlungsfähigkeit in Fertigungsprozessen sind Merkmale einer vernetzten, adaptiven Produktion. D. h. sie passt sich selbstständig an und kann sich gegebenenfalls optimieren. Dies ist bei kleinen und mittelständischen Unternehmen, wie den beiden Industriepartnern im Projekt, kaum oder gar nicht zu finden [21]. Als Methode kommt eine Prozessmodellierung auf Grundlage der UML zum Einsatz, die zudem als Spezifikation für das Softwaresystem zur Steuerung der Assistenzfunktionen an den Demonstratoren dient. Das Konzept dieser aus Editor und Assistenten bestehenden Software wird in Abschn. 7.3.4.1 beschrieben. Für erfahrene WerkerInnen hält die Software einen Expertenmodus bereit, der nur besonders wichtige Arbeitsschritte mit speziellen Arbeitsbedingungen aufzeigt. Das soll zum einen verhindern, dass erfahrene MitarbeiterInnen in ihrem Workflow eingeschränkt werden und zum anderen die Akzeptanz gegenüber dem Assistenten steigern. Demgegenüber steht ein Modus für unerfahrene MitarbeiterInnen zur Verfügung, der jeden einzelnen Arbeitsschritt mit sämtlichen Hilfestellungen anzeigt. Hilfestellungen sind in diesem Fall Videos, Konstruktionszeichnungen und Informationen, die im Sinne des Wissensmanagements kontinuierlich von MitarbeiterInnen der Montage eingepflegt werden. Dadurch sind keine erfahrenen MitarbeiterInnen für die Einlernphase erforderlich und die Qualitätsstandards können eingehalten werden.

### **Auswahlkriterien und Implementierungsstrategien für Assistenzsystemtechnologien**

In den letzten Jahren hat sich die Zahl kommerzieller Anbieter von Assistenzsystemen für die Produktion drastisch erhöht. Dies umfasst Hersteller von Montagetechnik, die ihre Hardware zusätzlich mit Software ausstatten. Aber auch MES-Anbieter dringen weiter in den Bereich manueller Anwendungsfälle wie der Montage vor. Zusätzlich entstehen neue Startups im Bereich Assistenzsysteme und mobiler Datenerfassung.

Für die Auswahl geeigneter Systeme müssen potentielle Anwender Kriterien zur Verfügung gestellt bekommen, die zu einer systematischen Bewertung und Auswahl geeigneter Systeme führen. Nur so können Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit sichergestellt werden.

Nach der erfolgreichen Auswahl stellt die Integration der gewählten Systeme und Technologien hohe Anforderungen. So bieten kollaborierende Roboter verschiedene Interaktionsszenarien, die jeweils unterschiedliche Absicherungsmaßnahmen und Implementierungen, z. B. in Form von Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachungen, erfordern [24].

### **Produktivitätssteigerungen und Verbesserungen der Produktqualität**

Für beide Industriepartner sind eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und eine Messung der Produktivität innerhalb des Projekts von großer Bedeutung. Die Projektergebnisse sollen von den Industriepartnern nach Projektende weiterverwertet werden, indem sie dauerhaft in die Produktionssysteme integriert und die langfristigen Zielsetzungen hinsichtlich Arbeitsbedingungen, Produktivität und Qualität realisieren. Für die Anwendungsfälle werden auch Produktivitätsmessungen durchgeführt. Dabei werden Faktoren wie Arbeitszeit, Transparenz, Risiko, Flexibilität, Arbeitsplatz, Ergonomie und Akzeptanz betrachtet. Erhoben werden die Daten durch verschiedene Methoden, wie beispielsweise der Methods-Time-Measurement- Methode zur Bewertung der Arbeitszeit oder eine Risikobewertung durch eine Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Dieses Vorgehen wird in Abschn. 7.2.3 genauer vorgestellt.

Weitere übergreifende Zielsetzungen betreffen die Arbeitsplatzgestaltung und Qualifizierung der Mitarbeiter. Durch die technischen Möglichkeiten kann das System neben Arbeitsanweisungen oder Stücklisten für die Montage auch zur Qualitätssicherung und Dokumentation des Prozesses beitragen. Die Anbindung eines Kamerasystems kann beispielsweise einzelne Montageschritte auf Fehler überprüfen und diese in Form von Videos oder Bildern – zugeordnet zum speziellen Auftrag bzw. Produkt – dokumentieren. Auch Daten, wie Montagezeiten oder häufiger auftretende Mängel, können gespeichert, ausgewertet und für KVP-Vorhaben genutzt werden. Durch Anbindung z. B. an ein ERP-System kann die Transparenz über den Auftragsstatus oder Produkteigenschaften erhöht werden.

Die entwickelten Demonstratoren sollen außerdem die Einarbeitung neuer MitarbeiterInnen unterstützen und damit erfahrene Mitarbeiter in ihrer Anlernfähigkeit entlasten. Indem letztere in den Entwicklungsprozess eingebunden werden und auch später Informationen ins System einpflegen können, wird zusätzlich ein Wissensmanagement geschaffen, das Erfahrungswissen auch von ausscheidenden Mitarbeitern bewahren kann. Zudem erlernen die MitarbeiterInnen Medienkompetenz im Umgang mit neuen Technologien, was weitere Digitalisierungsvorhaben begünstigen kann.

Nicht zuletzt verfolgt die Einbindung eines Assistenzsystems das Ziel, die Arbeitstätigkeit zu verbessern. Durch weniger Suchen, multimedial aufbereitete Arbeitsanweisungen, schnellen und einfachen Zugriff auf Zusatzinformationen, wie technische Zeichnungen oder Produktdatenblätter, sowie durch Kommunikationsmöglichkeiten mit

KollegInnen aus anderen Abteilungen wird die Tätigkeit am Arbeitsplatz erleichtert und verbessert.

---

## 7.2 Vorgehen im Projekt

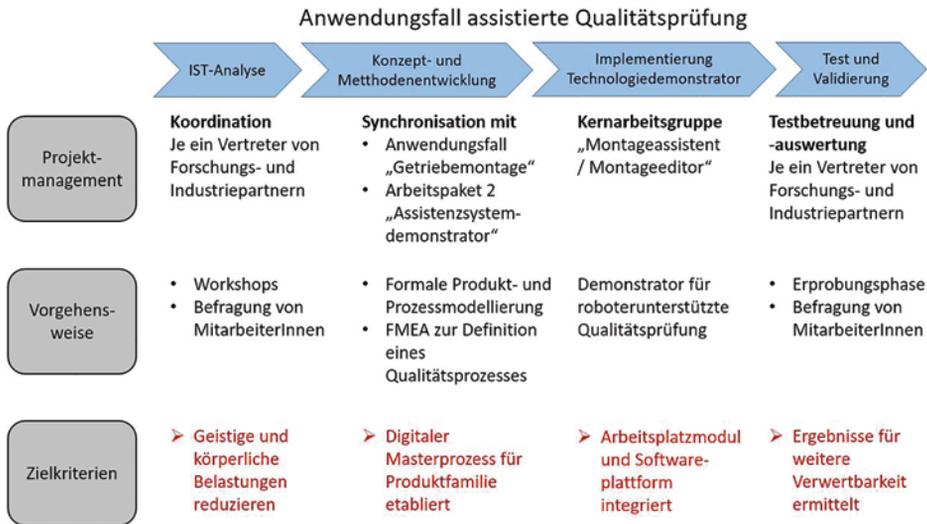
Grundlage für die Zieldefinition und Zielerreichungsgrade im Projekt SynDiQuAss waren die Anwendungsfälle der Industriepartner. Daran konnten exemplarisch für kleine und mittelständische Unternehmen Aspekte der Arbeitsplanung, Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitsorganisation im Bereich der manuellen Montage analysiert sowie Konzepte und Methoden für die Integration von digital vernetzten Assistenzsystemen entwickelt und umgesetzt werden.

### 7.2.1 Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen

Im Sinne des agilen Projektmanagements bzw. modellbasierten Entwickelns wurde innerhalb des Projekts ein iteratives Vorgehen realisiert: Beginnend mit der Aufnahme und Analyse des Ist-Zustands an den realen Arbeitsplätzen der Industriepartner wurden innerhalb einzelner Arbeitsgruppen für die Anwendungsfälle Projektziele definiert. Die Bearbeitung der einzelnen Anwendungsfälle wurde von jeweils einem Vertreter der beteiligten Forschungs- und Industriepartner koordiniert. Die Synchronisation der verschiedenen Untersuchungsgegenstände, d. h. insbesondere die Modellierung von Montageprozessen, die Auswahl und Integration unterschiedlicher Technologien zur Montageassistenz sowie die systematische Definition von Qualitätsprozessen, wurde durch einen regelmäßigen Austausch innerhalb des Forschungsverbunds (Gesamtprojekt-treffen, Workshops, Jour-fixes) erzielt.

Die entwickelten Lösungen wurden als Teilmodule in separaten Demonstratoren aufgebaut und getestet. Regelmäßige Abstimmungen zur Kontrolle und Anpassung der Zieldefinitionen und Zielerreichungsgrade sicherten den Rückfluss z. B. aus Befragungen, Workshops und Probandentests während des Projektverlaufs. Als übergreifender Handlungsleitfaden diente das Commitment aller Projektpartner (Abschn. 7.3.1), das als erster Meilenstein realisiert wurde.

Abb. 7.5 veranschaulicht die konkrete Vorgehensweise am Beispiel des Anwendungsfalls der assistierten Qualitätsprüfung beim Industriepartner Ohnhäuser GmbH (vgl. Abschn. 7.3.3.4). In diesem Fall werden Flugzeugsitzteile in verschiedenen Varianten aus fünf Unterbaugruppen montiert und nach dem Zusammenbau ein Funktionstest der Gelenkkräfte als Qualitätsprüfungsmerkmal durchgeführt. Beginnend mit den Vorortbesichtigungen und der Aufnahme des Ist-Zustands wurde die Dokumentation der Produktfamilie und des Montageprozesses erstellt und während der Laufzeit ergänzt. Hierzu wurden Workshops mit anderen Unternehmensbereichen, z. B. der IT-Abteilung und Qualitätssicherung, durchgeführt, um die Informationen zu sammeln. Aspekte wie



**Abb. 7.5** Vorgehensweise am Beispiel eines Anwendungsfalls im Projekt SynDiQuAss

z. B. die körperliche und geistige Belastung der ProduktionsmitarbeiterInnen wurden durch eine Befragungsaktion zum Projektstart ermittelt, um als Bewertungskriterium für den Vorher/Nachher-Vergleich zu dienen. Die unternehmensinterne Kommunikation wurde von der Teilprojektleitung des Partners übernommen. Für die Erstellung einer digitalen Datengrundlage bestehend aus Konstruktionsdaten, Montage- und Prüfanweisungen musste zudem der Kontakt zum Auftraggeber genutzt werden. Auf Basis der Produkt- und Prozessdaten wurde zum einen eine formale Modellierung zur Beschreibung der Produktfamilie entwickelt. Dieser universelle Ansatz soll branchen- und produktunabhängig als Masterprozess etabliert werden. Zum anderen wurde auf Basis einer Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (Prozess-FMEA) ein kompletter Qualitätsprozess definiert, der alle Komponenten, Merkmale und Eigenschaften für die Prüfaufgabe enthält. In dieser detaillierten Prozessanalyse werden für jeden Einzelschritt die verwendeten Werkzeuge, Sollzustände der Arbeitsergebnisse als auch Risiken und Folgen von Fehlleistungen definiert. Die Synchronisation mit dem zweiten Anwendungsfall sowie den Ergebnissen aus dem Arbeitspaket 2 (Aufbau eines Assistenzsystemdemonstrators) lieferte ein Konzept für die Realisierung eines hybriden Assistenzsystemarbeitsplatzes. Für die Implementierung des Anwendungsfalls wurde ein spezielles Modul für die roboterunterstützte Qualitätsprüfung aufgebaut. Die Schnittstellen zur zentralen Assistenzfunktionssteuerung, dem von paragon semvox entwickelten Montageeditors, wurden in einer Kernarbeitsgruppe spezifiziert und implementiert. Das Modul wurde schließlich zur abschließenden Erprobungsphase in das Produktionsumfeld des Industriepartners integriert und dort in einem mehrwöchigen Probebetrieb evaluiert. Die Auswertung anhand der vorab definierten

Bewertungskriterien soll Aufschlüsse für die weitere Verwertung liefern. Zudem soll analysiert werden, welche Entwicklungsschritte für den Einsatz im Produktivbetrieb noch erforderlich sind, z. B. im Hinblick auf die Arbeitssicherheit.

Diese Vorgehensweise lässt sich auch auf andere Anwendungsfälle übertragen. Zentral für die Umsetzung von Innovationen innerhalb eines Unternehmens ist die Beteiligung der MitarbeiterInnen aus allen betroffenen Abteilungen. So lässt sich umfassendes Unternehmens-Know-How bündeln und die Umsetzung beschleunigen. Des Weiteren lässt sich feststellen, dass Motivation und Identifikation der Belegschaft zu Wandel und Erneuerung in der Produktion spürbar gesteigert werden, sobald eigene Ideen und die Expertise der Belegschaft berücksichtigt werden. Aus den Erfahrungen des Forschungsprojektes lässt sich demnach sagen, dass bei Einführung neuer Prozesse oder Änderungen in der Produktion sämtliche an der firmeninternen Wertschöpfungskette beteiligte Abteilungen beteiligt werden sollten. Evaluationen der entwickelten Konzepte und Implementierungen im Probetrieb sichern das methodische Vorgehen ab, indem Usability von Technologien und Systemakzeptanz in unterschiedlichen Projektphasen ermittelt werden [8].

### 7.2.2 Auswahl der Assistenzsysteme mit integriertem Erprobungskonzept

Das entwickelte Vorgehen zur Auswahl von Assistenzsystemen basiert auf fünf Schritten Abb. 7.6 und ist von anwenden Unternehmen entsprechend der folgenden Beschreibung durchzuführen. Die fünf Schritte bestehen aus einer Vorauswahl, zwei Testphasen mit

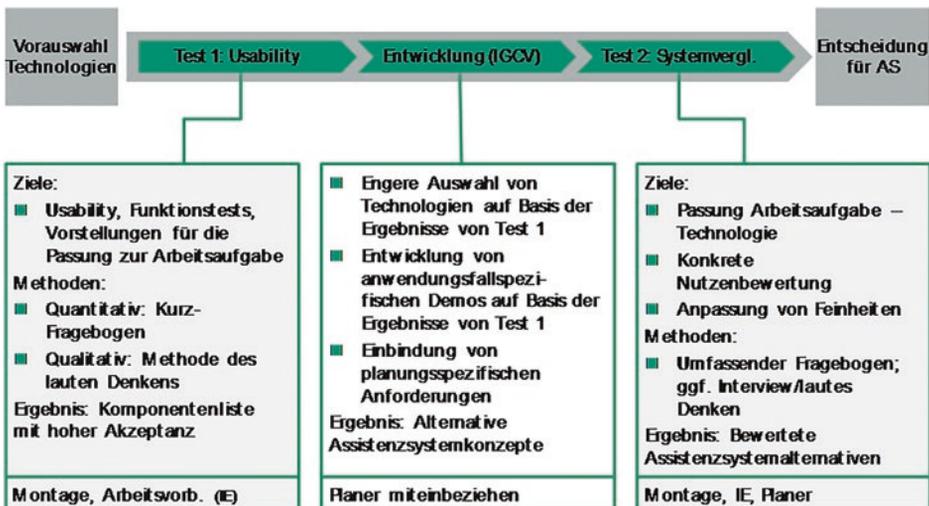


Abb. 7.6 Vorgehen im Projekt zur Auswahl von Assistenzsystemen

zwischengeschalteter Entwicklungsphase sowie einer finalen Entscheidung für ein Assistenzsystem.

Auf Basis des Anwendungsfalls und Erfahrungswissen wird zu Projektbeginn eine Vorauswahl von Technologien getroffen. Mit diesen Technologien sollen die durch das Assistenzsystem angestrebten Ziele, in den betrachteten Anwendungsfällen Produktivitäts- und Qualitätsverbesserungen, erreicht werden.

Mit der Vorauswahl von Technologien wird die erste Testphase gestartet, die mögliche Hardware-Devices bzgl. ihrer Usability bewerten. Mittels eines Kurzfragebogens und der Methode des lauten Denkens wird Feedback von den zukünftigen Nutzern eingeholt. Ergebnis ist eine Liste an Komponenten für Assistenzsysteme, die eine hohe Akzeptanz aufweisen.

In der darauffolgenden Entwicklungsphase werden auf Basis des ersten Tests, der lediglich Komponenten von Assistenzsystemen umfasst hat, gesamtheitliche Assistenzsysteme konzipiert. Hierbei können auch unterschiedliche Assistenzsysteme entstehen, die alternative Technologien enthalten oder Ausbaustufen voneinander sind.

Im zweiten Test findet ein Vergleich der konzipierten Systeme statt. Mit den zukünftigen Nutzern soll wiederum die Akzeptanz bewertet werden.

In einer finalen Entscheidung werden Management und Controlling eingebunden, um die Nutzen des Assistenzsystems den voraussichtlichen Kosten gegenüberzustellen. Für Kosten und quantifizierbare Nutzen sollen Methoden der Investitionsrechnung (Kapitalwertmethode, Amortisationszeit, etc.) eingesetzt werden. Für nicht quantifizierbare Nutzen (z. B. Steigerung der Attraktivität des Unternehmens, besseres Image durch höhere Qualität) soll eine Nutzwertanalyse eingesetzt werden [7].

## **7.2.3 Vorgehen zur Produktivitätsmessung**

Bei der Bewertung der Produktivität der erarbeiteten Arbeitsplätze werden die Faktoren Arbeitszeit, Transparenz, Risiko, Flexibilität, Platz, Ergonomie und Akzeptanz betrachtet.

### **7.2.3.1 Bewertung der Arbeitszeit**

Die Bewertung der Arbeitszeit wird mithilfe der Methods-Time-Measurement-Methode (MTM-Methode) durchgeführt. Die MTM-Methode ist ein Verfahren zur Vorgabezeitermittlung, indem der menschliche Bewegungsablauf bis in kleinste Schritte zerlegt wird. Hierfür wurde der Zeitbedarf für die einzelnen Bewegungsabläufe empirisch ermittelt und in Tabellen erfasst. Die Gesamtzeit einer bestimmten Tätigkeit setzt sich aus der Summe aller relevanten Teilzeiten der notwendigen Grundbewegungen zusammen. Man unterscheidet drei Gruppen von Arbeitsbewegungen: Elementarbewegungen wie Hinlangen, Bewegen, Drehen, Greifen und Loslassen, zusammengesetzte Bewegungen wie Einführen, Lösen, Bein-, Fuß- und Körperbewegungen und Hilfsbewegungen wie Drücken und Augenbewegungen. Die Durchführung der Methode

erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden die Tätigkeiten in ihre Grundbewegungen zerlegt und alle Einflussfaktoren wie Wege und Genauigkeiten ermittelt. Im zweiten Schritt wird den Grundbewegungen gemäß der MTM Normzeitwertkarte der entsprechende Zeitanteil zugeordnet. Die Zeiteinheit TMU (Time Measurement Unit) entspricht 0,036 s. Diese Methode der Arbeitszeitbewertung wurde gewählt, da an den Arbeitsplätzen der Industriepartner zum Teil neue Produkte montiert werden und daher keine Zeiten zum Vorher-Nachher-Vergleich vorliegen [30].

### **7.2.3.2 Risikobewertung**

Zum Projektstart wurden bei den Industriepartnern Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) durchgeführt, anhand derer Entscheidungen getroffen wurde, in welchen Bereichen des Montageprozesses Assistenzsysteme zum Einsatz kommen sollen. Zum Abschluss des Projekts wird die FMEA-Analyse erneut durchführen, um festzustellen, ob die umgesetzten Maßnahmen zu einer Risikominderung und damit zu einem erhöhten Qualitätsniveau führen [25].

### **7.2.3.3 Transparenz und Flexibilität**

Wichtige Punkte für die Transparenz eines Prozesses sind die lückenlose Dokumentation des Montageablaufs, aber auch das Änderungs- und Wissensmanagement. Durch die digitalisierten Montageanweisungen mit Rückmeldefunktionen wird die Transparenz erhöht. Allerdings sind mögliche Einbußen in der Flexibilität bei der Einführung neuer Varianten zu untersuchen. Hierfür sind Mitarbeiterbefragungen vorgesehen.

### **7.2.3.4 Platz, Ergonomie und Akzeptanz**

Zur Bewertung möglicher Platzeinsparungen wird der Platzbedarf der ursprünglichen Arbeitsplätze dem der neuen Arbeitsplätze ausgemessen und gegenübergestellt. Zudem soll mit den neuen Arbeitsplätzen auch die Ergonomie verbessert werden. Diese Verbesserung soll wie die Akzeptanz der Mitarbeiter mit der Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) Methode durchgeführt. Das UTAUT ist eine allgemeingültige Theorie zur Akzeptanz von Technologien, die aus acht vorhergehenden Modellen entwickelt wurde. Als bestimmende Faktoren werden Leistungserwartung, Aufwandserwartung, sozialer Einfluss sowie unterstützende Bedingungen berücksichtigt. Das jeweilige Geschlecht, Alter, Erfahrung und die Freiwilligkeit der Nutzung nehmen nach dem Modell einen weiteren Einfluss. Mithilfe von Fragebögen ist eine quantitative Bewertung möglich [31].

### **7.2.3.5 Ganzheitliche Wirtschaftlichkeits- und Produktivitätsbetrachtung**

Das strukturierte und planvolle Vorgehen im Forschungsprojekt SynDiQuAss unter der Zielsetzung der Transformation von digitalisierten Assistenzsystemen in den realen Arbeitsprozess der manuellen Montage von Getrieben soll dazu beitragen, die Produktivität der neuen Prozesse zu steigern. Für die Bewertung der Produktivität und

**Tab. 7.1** Methoden zur Produktivitätsmessung

Kriterium	Bewertungsmethode
Arbeitszeit	MTM-Methode
Risikobewertung	FMEA
Transparenz und Flexibilität	Mitarbeiterbefragung in der Montage und Arbeitsvorbereitung
Platz	Abmessung Arbeitsplatz – Vorher/Nachher-Vergleich
Ergonomie und Akzeptanz	UTAUT-Methode

Wirtschaftlichkeit der entwickelten Lösungsansätze liefern die in Tab. 7.1 zusammengefassten Kriterien und Bewertungsmethoden quantifizierbare Größen.

Daneben sind jedoch weitere qualitative Kriterien zu berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür ist die Effizienz des Know-how-Transfers auf Neueinsteiger unter den Anwendern sowie den Wiedereinstieg in einen Prozess, der über längere Zeit nicht mehr angewendet werden musste. Durch die Software-Assistenz werden klare bildliche, filmische, grafische sowie textliche und sprachliche Informationen unmittelbar auf Wunsch und Anforderung des Anwenders am Montageort zur Verfügung gestellt, ohne dass diese Informationen von verschiedenen Personen und analogen Datenträgern wie Papier, Plänen, archivierten Arbeitsvorgaben beschafft werden müssen. Zusätzliche Informationen wie Montagehinweise werden von den erfahrenen Editoren des digitalen Workflows festgehalten und im Arbeitsprozess den einzelnen MitarbeiterInnen sequenziell auf den betreffenden Arbeitsschritt abgestimmt zur Verfügung gestellt. Die Daten werden im Datennetzwerk gegebenenfalls an mehreren Arbeitsplätzen mit den identischen Produkten parallel dargestellt. So wird eine flexible kurzfristige Erhöhung der Montagekapazitäten bei Bedarf ermöglicht, sofern die logistische Rüstung des Arbeitsplatzes mit den benötigten Bauteilen und Komponenten parallel erfolgt. Bei Ausfall von erfahrenen Einweisern oder anderweitiger Beauftragung dieser Personen kann sich ein noch unerfahrener Mitarbeiter schneller autark mit der Montageaufgabe vertraut machen und erhält alle wesentlichen Informationen für einen standardisierten Fertigungsprozess [36].

Die Handmontage durch den Menschen bedingt grundsätzlich die Möglichkeit von Abweichungen von eingeführten Prozessen, selbst wenn diese Personen sehr gut ausgebildet und erfahren sind. So können Fehlleistungen durch Falschmontage, falsche Reihenfolge oder Unterlassen von Arbeitsschritten bei detaillierter Prozessführung erheblich verringert und die Qualitätssicherung der Prozesse verbessert werden. Die Folgekosten von Fehlleistungen und auch der Imageschaden beim Produktempfänger können nicht immer quantifiziert und in die Gesamtbetrachtung der Produktivität einbezogen werden. Eine erhebliche Reduzierung solcher Risiken und Folgekosten ist durch den Einsatz der digitalen Assistenzsysteme im Rahmen von SynDiQuAss zu beobachten – zumal auch Kunden und andere interessierte Parteien am qualitätsvollen Montageprozess deren Einführung begrüßen, fordern oder in Audits positiv vermerken.

Die Produktivität der menschlichen Arbeit wird auch maßgeblich gefördert durch ergonomische Bedingungen des strukturierten Systemarbeitsplatzes z. B. durch höhenverstellbare Arbeitstische, Informationsdarstellung in optimaler Arbeitsumgebung, gefahrgesicherte Teilprozesse an Werkstücken mit gefahrbringenden Temperaturen durch kollaborierende Roboter (MRK). Die Produktionsergebnisse der neu gestalteten Arbeitsgänge werden teilweise durch digitale Technologien überwacht. So werden die Ergebnisse der Dichtraupen-Aufbringung unmittelbar nach dem Arbeitsgang auf genaue Positionierung und Unterbrechung der Raupe des Dichtmittels auf der Dichtfläche per Vision-Kamera-Inspektion und nachgeschalteter Bild-Datenauswertungssoftware überprüft. Das Prüfergebnis wird unmittelbar danach auf in Ordnung oder nicht in Ordnung qualifiziert. Dies geschieht im Rahmen von hinterlegten Toleranzgrenzen der Qualitätssicherung. So sind die MitarbeiterInnen nicht nur von der anstrengenden Raupenaufbringung entlastet, sondern auch von der Prüfarbeit und Prüfentscheidung, ob der Vorgang erfolgreich war. Weiterhin wird am Ende des Montageprozesses das aufgeklebte Typenschild mit der eindeutig zugeordneten Serien-Nummer und Artikel-Nummer des gefertigten Produktes per Foto-Auswertung dokumentiert. Somit sind alle vorher erfassten Produkt- und Prozessdaten des Werkstückes einer eindeutigen Serien-Nummer zugeordnet und werden im zentralen Firmen-Datennetzwerk für Rückfragen (Rückverfolgbarkeit) und Fertigungsdokumentation gegenüber dem Kunden oder Auditor gespeichert. Dies erleichtert erheblich die Bearbeitung von Qualitäts-Abweichungsmeldungen (QAM) im Fehlerfall und trägt auch zur wirtschaftlichen Gesamtbetrachtung des Systems bei [20].

Die Auswirkungen der entwickelten Lösungsansätze auf die Produktivität an den umgestalteten Montagearbeitsplätzen können somit erst nach Abschluss der Evaluierungsphase in den Partnerunternehmen unter Berücksichtigung aller qualitativen und quantitativen Kriterien abschließend beurteilt werden.

---

### 7.3 Ergebnisse im Projekt

Bereits vor Abschluss des Projektes kristallisieren sich vier zentrale Ergebnisse für die systematische Untersuchung und Anwendung von digital vernetzten Assistenzsystemen an Montagearbeitsplätzen heraus. Grundlage für die Projektarbeit ist eine Handlungsverpflichtung aller Partner, die insbesondere eine einheitliche Kommunikationsbasis, ein dialogisches Vorgehen bei der Entwicklung und Implementierung sowie partizipatorische Maßnahmen definiert. Für die geeignete Auswahl und Akzeptanz verfügbarer Technologien wurde eine Bewertungsmethodik für Assistenzsysteme entwickelt und anhand eines Demonstratoraufbaus evaluiert. Die Spezifikation standardisierter Arbeitsplätze für die manuelle Montage sowie die Modellierung der Prozesse liefert die methodische Grundlage für die Applikationsentwicklung synchronisierter Arbeitsplätze. Das Auslegungswerkzeug und die Steuerungsplattform finden sich als Ergebnis in den anwendungsnahen Demonstratoren zur Evaluation in den Industrieunternehmen

wieder. Weitere Ergebnisse zu Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung ergonomische und gesundheitsförderliche Arbeitssystemgestaltung, Produktivitätswirkung und präzise kalkulierter Wirtschaftlichkeit lassen sich erst nach einer abschließenden Evaluierung benennen.

### **7.3.1 Ausarbeitung einer projektübergreifenden Handlungsverpflichtung (Commitment)**

Ein Commitment spiegelt die Bindung und die Zusammenarbeit innerhalb eines Unternehmens, einer Organisation oder eines Konsortiums wider. So wie Unternehmen auf die Bindung der MitarbeiterInnen an ihren Arbeitgeber angewiesen sind, so ist auch das Forschungsprojekt SynDiQuAss auf die Zusammenarbeit der Projektpartner angewiesen. Nur auf diese Weise lassen sich die gesteckten Projektziele erreichen. Daher hat das Konsortium als ersten Meilenstein ein Commitment erarbeitet und verabschiedet, das die Basis für eine verantwortungsvolle Zusammenarbeit innerhalb des Verbunds und der Projektlaufzeit legt. Die Projektpartner verstehen unter diesem Commitment eine Selbst- und Handlungsverpflichtung, die eine gemeinsame Verhaltensbereitschaft zum Ausdruck bringt. Sie ermöglicht, dass die Zusammenarbeit im Zuge des Projektes bestmöglich gestaltet wird und die MitarbeiterInnen der Projektpartner gleichberechtigt am Projekt teilhaben können. Bei der Um- und Neugestaltung der Arbeitsplätze werden dadurch die gemeinsam definierten ethischen, sozialen, rechtlichen und wirtschaftlichen Kriterien respektiert und MitarbeiterInnen der Industriepartner über die Ziele und Werte des Projekts informiert. Das Commitment dient außerdem zur Reflexion der Projektarbeiten [42].

#### **7.3.1.1 Dialogisches Vorgehen und Motivation der MitarbeiterInnen**

Unternehmen sind auf die Leistungsfähigkeit und Motivation ihrer MitarbeiterInnen angewiesen. Aus diesem Grund spielt die Mitarbeiterbindung im Zuge des Projekts eine große Rolle. Mitarbeiterbindung kann durch positive Erfahrungen und Erfüllung der Erwartungen an die Arbeit durch das Unternehmen gestärkt werden. Die Maßnahmen der Mitarbeiterbindung können auf einer affektiven, rationalen und normativen Ebene ansetzen und zu positiven Erfahrungen führen. Die affektive Dimension ist im Zuge der emotionalen Verbundenheit der MitarbeiterInnen mit deren gewohnten Arbeitsumfeld zu berücksichtigen. Ein Assistenzsystem erfordert die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine und kann folglich nur erfolgreich arbeiten, wenn das System von den MitarbeiterInnen akzeptiert wird.

Radikale Veränderungen der Arbeitsbedingungen können Verunsicherungen und Frustration der MitarbeiterInnen zur Folge haben. Demnach ist es essenziell, dass die Wünsche und Anregungen der betroffenen MitarbeiterInnen während des Projektverlaufs berücksichtigt werden. Die Projektpartner bekennen sich deshalb zu einem dialogischen Verfahren, das die MitarbeiterInnen bei der Einführung von Assistenzsystemen mitein-

bezieht und sie während und nach Ablauf des Projekts SynDiQuAss über die in diesem Rahmen gewonnenen Erkenntnisse fortlaufend zu informiert. Erste Maßnahme dazu war die Veröffentlichung und Diskussion des Commitments in den beteiligten Unternehmen und Einrichtungen.

Neben einer adäquaten Bezahlung stellen qualifizierte MitarbeiterInnen auch Anspruch auf eine gewisse sinnstiftende Arbeit und Arbeitsumgebung. Diese moralisch-ethische Sichtweise ist in der Literatur auch als normative Dimension bekannt. Sinnstiftende Arbeiten für die MitarbeiterInnen können außerdem einen positiven Einfluss auf den betriebswirtschaftlichen Erfolg für das Unternehmen darstellen. Daher wird im Projekt SynDiQuAss darauf geachtet, die Wertschätzung der Belegschaft der teilnehmenden Industriepartner in den Fokus zu rücken. Gleichmaßen wird von allen beteiligten MitarbeiterInnen großes Engagement erwartet. Sie werden in sämtliche Projektarbeiten miteinbezogen und helfen somit, die gesteckten Projektziele zu erreichen. Nur durch die enge Einbindung der MitarbeiterInnen in das Forschungsprojekt ist es möglich, die jeweiligen realitätsnahen Anforderungen in den Montageabteilungen zu erfüllen. Ergebnisse aus dieser engen Zusammenarbeit dienen der Sicherung der Arbeitsplätze und der Verbesserung der Arbeitsbedingungen für den/die MitarbeiterIn [34].

Die rationale Dimension, auch kalkulatorische Ebene genannt, spielt ebenfalls eine gewichtige Rolle. Hierbei werden Vor- und Nachteile der verschiedenen Projektphasen miteinander abgewogen. Dabei wird den MitarbeiterInnen der Industriepartnern klar vermittelt, dass eine couragierte Mitarbeit im Projekt eine klare Verbesserung der Arbeitsbedingungen nach sich zieht. Couragierte Mitarbeit heißt in diesem Fall u. a. individuelle Anforderungen und Bedürfnisse von MitarbeiterInnen mitzuteilen, sodass diese, wenn möglich, in die Projektziele integriert werden können [17]. Exemplarisch verdeutlicht dies eine in der ersten Projektphase durchgeführte Befragung zu Belastungen der MitarbeiterInnen in der Montage. Dabei wurden körperliche Belastung z. B. durch ungünstige Körperhaltung, langes Stehen und Halten sowie Heben und Bewegen schwerer Lasten, geistige Belastung durch hohen Konzentrationsbedarf, genaues Detailsehen und hohen Leistungsdruck, Zeit- und Termindruck sowie das Suchen von Teilen und Informationen z. B. bei Qualitätsproblemen erfasst. Verbesserung für alle ermittelten Belastungsarten sind Zielsetzung des Projekts und werden nach Abschluss der Testphase zu Projektende erneut evaluiert.

### **7.3.1.2 Im Commitment definierte Schutzmaßnahmen**

Im Forschungsprojekt sind Partner beteiligt, für die auch die Wirtschaftlichkeit im Fokus steht. Daher liegt es am Konsortium, ausschließlich ausgewählte Arbeitsschritte mit bestimmten Assistenzsystemen zu begleiten und auszustatten. Berücksichtigt werden auf der einen Seite menschliche Stärken wie Intuition, Erfahrung, Flexibilität, subjektives Entscheiden und Urteilen und auf der anderen Seite die Vorteile von Assistenzsystemen. Dazu zählen Wiederholungsgenauigkeit und Präzision, aber auch Präzision bei hohen Geschwindigkeiten und Funktionalität im Dauerbetrieb [9]. Assistenz-

systeme werden deshalb nicht mit der Zielsetzung appliziert, den gesamten Prozess, sondern ausschließlich eine Teilmenge der Arbeitsschritte zu übernehmen und zu unterstützen. Die Entscheidungsfreiheit liegt dabei ausschließlich bei den MitarbeiterInnen. Die Sicherheit an den Arbeitsplätzen in den Montageabteilungen der Industriepartner muss auch bei Testsystemen und Erprobungen jederzeit gewährleistet werden. Den MitarbeiterInnen werden auch während und nach der Projektlaufzeit höchste Sicherheitsstandards zugesichert. Die in SynDiQuAss eingesetzten Technologien und Methoden dienen dazu, die Gefahren in der Arbeitsumgebung der WerkerInnen zu reduzieren. Dies gilt besonders für den Einsatz von Mensch-Roboter-Kollaborationen. Daher findet die Systematik nach DIN ISO/TS 15.066 Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter große Beachtung. In dieser Erklärung sind Sicherheitsanforderungen an kollaborierenden Industrie-robotersystemen und die Arbeitsumgebung festgelegt. Sie ergänzt die in ISO 10218-1 und ISO 10218-2 angeführten Anforderungen und Anleitungen zum Betrieb von kollaborierenden Industrierobotern. Es müssen bestimmte Gefährdungen mithilfe einer Risikobeurteilung berücksichtigt werden. Dazu zählen roboterbezogene Gefährdungen wie beispielsweise Robotereigenschaften (Geschwindigkeit, Kraft oder Impuls) und die Position der Bedienperson. Gefahren lauern auch beispielsweise durch Werkstücke, die im unmittelbaren Einzugsgebiet des Roboters liegen. Auch prozessspezifische Gefährdungen wie hohe/niedrige Temperaturen oder Einschränkungen aufgrund der geforderten Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung können auftauchen [2, 12].

In einem Forschungsprojekt, in dem so eng mit MitarbeiterInnen der Industriepartner zusammengearbeitet wird, lässt sich eine Generierung von differenzierten Informationen über die MitarbeiterInnen nicht verhindern. Die Projektpartner erklären mit diesem Commitment, dass sämtliche personenbezogenen Daten sorgfältig und vertraulich behandelt werden und das Konsortium nur nach schriftlicher Bestätigung des betroffenen Unternehmens verlassen.

### 7.3.2 Ergebnisse der ersten Erprobungsphase

Im Rahmen des Forschungsprojekts SynDiQuAss ist ein Demonstrator für kognitive Assistenzsysteme entstanden, der die Arbeit der Zukunft mit Assistenzsystemen erlebbar macht. Als Beispielprodukte kommen hierbei reale Getriebe des Projektpartners SPN zum Einsatz. In mehreren Workshops wurde ein gemeinsamer Use Case entwickelt. Dieser umfasst die Montage des Planetengetriebes EZ24, das in insgesamt 18 Prozessschritten montiert und geprüft wird. Abb. 7.7 zeigt den digitalen Montagetisch bei einer Erprobung. Die Erprobungsergebnisse können auch auf andere Getriebevarianten übertragen werden.

Der entwickelte Demonstrator beinhaltet marktreife optische, akustische und haptische Ein- und Ausgabesysteme wie beispielsweise Touchscreen, Projektor, Headset,



**Abb. 7.7** Montagemitarbeiterin bei der Erprobung unterschiedlicher Assistenzsysteme in der manuellen Montage

Proglove und Myo-Gestenarmband. Zudem ist der digitale Montagetisch mobil und kann in jeder Fabrik zu Erprobungszwecken genutzt werden [26].

Das übergeordnete Ziel des Demonstrators ist, durch die Erprobung der Assistenzsysteme im Rahmen einer realen Montage das Unterstützungspotenzial der jeweiligen Systeme erlebbar zu machen und hierdurch die Akzeptanz der Assistenzsysteme nachhaltig zu steigern.

Das Projekt SynDiQuAss bezieht neben technischen Anforderungen auch die Betrachtung des Menschen mit dessen Bedürfnissen mit ein. Besonders bei der Entwicklung soziotechnischer Systeme spielt die Orientierung an Mitarbeiteranforderungen eine bedeutende Rolle [6, 11, 38]. Die Passung des Systems zur Arbeitsaufgabe und die Akzeptanz der Belegschaft können entscheidende Faktoren dafür sein, ob die Einbindung eines Assistenzsystems Erfolg hat oder abgelehnt wird [33, 37]. Im Projekt wird daher ein partizipatives Vorgehen Abb. 7.6, um ein geeignetes und akzeptiertes Assistenzsystem zu entwickeln. Erwartete Vorteile eines partizipativen Entwicklungsvorgehens sind neben der Akzeptanz auch die damit verbundene Bereitschaft, Verantwortung für die Nutzung des neuen Arbeitssystems zu übernehmen, sowie die Nutzung des Erfahrungswissens vor allem langjähriger MitarbeiterInnen für eine optimale Passung zur Arbeitsaufgabe. Mittels des mobilen Demonstrator-Arbeitsplatzes Abb. 7.7 wurden in Schritt zwei bei beiden beteiligten Industriepartnern vor Ort Befragungen der MitarbeiterInnen zur Usability und Akzeptanz einzelner Assistenzsystem-Komponenten durchgeführt. Ziel war es, MitarbeiterInnen über verschiedene Komponenten der Informationseingabe und -ausgabe zu informieren, die Komponenten

testen zu lassen, und auszuwählen, welche gerne zum Erhalt von Informationen (z. B. Anleitungen) genutzt werden würden. Durch die Kombination eines quantitativen Fragebogens nach dem Test Abb. 7.8 mit der qualitativen Methode des lauten Denkens während des Tests konnten sowohl gezielt Meinungen abgefragt, als auch offene Antworten darüber hinaus generiert werden. Die Variablen Einfachheit der Nutzung, Zuverlässigkeit und Nutzungsintention wurden pro Komponente im Fragebogen mittels Likert Skala von 1 (stimme gar nicht zu) bis 5 (stimme voll zu) abgefragt und anschließend jeweils Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Die Ergebnisse wurden für jedes der beiden Unternehmen separat ausgewertet. Trotz eines geringen Stichprobenumfangs von 9–10 Probanden je Unternehmen geben die Ergebnisse Hinweise auf präferierte und abgelehnte Komponenten sowie auf Komponenten, bei denen die Meinungen stark auseinandergehen. Beispielsweise erzielte in einem der beiden Unternehmen das angebrachte Display zur Informationsausgabe bei Abfrage der

### Kategorie 1 | Informationsausgabe: Hinweisen und Anleiten

In den folgenden Fragen geht es um die Bereitstellung von Informationen über unterschiedliche Geräte. Das sind zum Beispiel Anleitungen auf einem Touch-Display oder Informationen, wie viele Teile aus welchem Behälter für einen Auftrag entnommen werden sollen (Pick-by-light).

Bitte beantworten Sie zu jeder Komponente die drei Fragen unter dem Bild.

1. Display					
	Informationen über ein Display erhalten				
	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll zu
Ich finde das Display einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Display funktioniert zuverlässig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich möchte das System gerne zum Erhalten von Informationen (z.B. Anleitungen) nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anmerkungen:					

**Abb. 7.8** Auszug aus dem Fragebogen zur Komponentenbewertung

Nutzungsintention einen hohen Mittelwert ( $M = 4,6$ ) bei geringer Standardabweichung ( $SD = 0,49$ ), während die Informationsausgabe über einen Lautsprecher bei mittlerem Mittelwert ( $M = 3$ ) eine vergleichsweise hohe Standardabweichung ( $SD = 1,48$ ) erfährt. Die Antworten auf offenen Fragen im Fragebogen sowie die Ergebnisse des lauten Denkens lieferten Hintergründe und weitergehende Anforderungen an das Assistenzsystem. Beispielsweise wurde ein Display nur für Tätigkeiten ohne Öl gewünscht, oder Sprachsteuerung bevorzugt, wenn häufig beide Hände in Benutzung sind.

Auf Basis der Befragungsergebnisse sowie der Ergebnisse vorangegangener Workshops zur Anforderungsanalyse wird in Schritt drei ein Assistenzsystem entwickelt. Im Anschluss daran ist eine weitere Befragung geplant, die das Assistenzsystem nicht in Komponenten aufgeteilt, sondern als ganzes System und in direktem Bezug zur realen Arbeitsaufgabe bewerten lässt. Angelehnt an die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) von Venkatesh, Morris, Davis und Davis (2003) [39] werden dann weitere Faktoren, wie die Erwartung an die Leistung des Systems, die Aufwands-erwartung oder der soziale Einfluss, integriert. Wird das System eher negativ bewertet, kann eine qualitative Befragung, beispielsweise mittels Interviews, Hinweise auf nötige Systemanpassungen geben.

### **7.3.3 Spezifikation standardisierter Montagearbeitsplätze**

Die Entwicklung neuer Konzepte und alternativer Strategien für eine flexible, mitarbeiterorientierte Fertigung ist notwendig, um Konkurrenzfähigkeit von KMU auf dem Weltmarkt sicherzustellen und Arbeitsplätze im produzierenden Gewerbe zu sichern. Die Montage hat dabei einen ganz besonderen Stellenwert für den Markterfolg und die Produktivität eines Unternehmens. In dieser abschließenden Stufe des Produktentstehungsprozesses (PEP) wird technologisch die Gesamtfunktion des Produktes realisiert [15]. Der PEP besteht aus der eigentlichen Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung. Aus der Sicht der IT-Lösungen gehören zum PEP u. a. die virtuelle Produktentwicklung (VPE), die digitale Planung, die Fertigungs- und Montagesimulation sowie das gemeinsame und umfassende Management aller auf das Produkt und die Produktionsplanung bezogenen Informationen in digitaler Form und deren Visualisierung. Als Resultat entsteht ein virtuelles Produkt mit allen zur Herstellung benötigten Planungsunterlagen, die insbesondere die Produktbeschreibung, Spezifikation und das digitale Modell umfassen [14].

#### **7.3.3.1 Prozessmodellierung**

Auf dieser Datengrundlage haben sich verschiedene Modellierungsansätze für Montageprozesse entwickelt. Der Montagevorranggraph nach Prenting und Battaglin [29] hat sich dabei für praktische Anwendungen seit langem bewährt. Vorranggraphen beschreiben die Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen zwischen den einzelnen Montageschritten und definieren so eine Ordnungsrelation auf der Menge der Montageschritte. Der

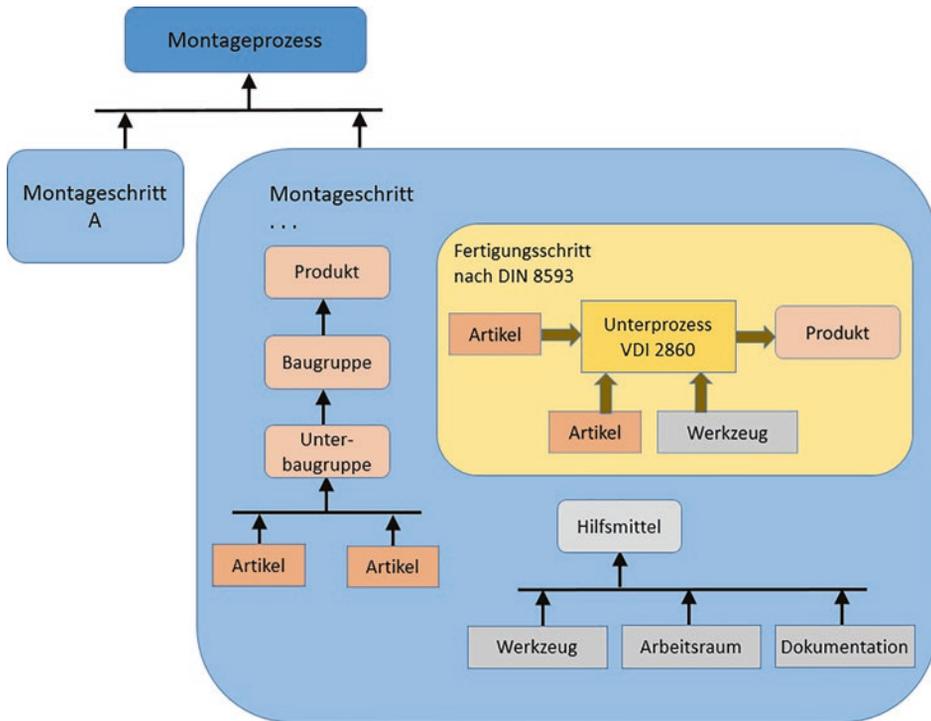
Gozintograph als weitere Darstellungsform ermöglicht zudem eine Verknüpfung der dargestellten Montageschritte mit den Mengenangaben der Stückliste [40].

Einen alternativen Ansatz bietet die Modellierungssprache Unified Modeling Language (UML) [28]. Diese stellt sowohl Strukturmodelle wie das Klassendiagramm als auch Verhaltensbeschreibungen wie das Aktivitätsdiagramm zur Verfügung. Die UML wird dabei mittlerweile nicht mehr als syntaktisch und semantisch vollständig definierte Sprache verstanden, sondern als Sprachrahmen. Erweiterungsmechanismen und semantische Variationsmöglichkeiten erlauben die Definition von Sprachprofilen, die dem jeweiligen Einsatzzweck angepasst werden können [32]. Im Bereich der Industrieautomatisierung hat sich AutomationML als ein solches Erweiterungsprofil etabliert. AutomationML wurde vorrangig für die Nutzung im Bereich des Entwurfs von Produktionssystemen entwickelt und basiert auf XML als Datenformat [13]. XML-basierte Dateiformate erfüllen alle Voraussetzungen für den benötigten Datenaustausch zwischen verschiedenen Entwurfswerkzeugen. Lüder und Schmidt [23] beschreiben die generelle Architektur von AutomationML und die Entwurfsprozesse bezogen auf die Anforderungen der Industrie 4.0.

Auf Basis von UML wird beispielhaft ein Montageprozess unter Zuhilfenahme der Software „Enterprise Architect“ modelliert. Als Datenbasis fungieren dabei die vorliegenden Produktionsunterlagen in Form der Stückliste, der Zusammenstellungszeichnung und einer rudimentären Montageanweisung. Dabei wird der hierarchische Aufbau der Produktentstehung mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln und den notwendigen Fertigungsschritten kombiniert, siehe Abb. 7.9.

Der zeitliche Ablauf des Montageprozesses wird durch ein Verhaltensdiagramm beschrieben. Im Aktivitätsdiagramm der UML werden die einzelnen Montageschritte als Aktivitäten modelliert, deren Zerlegung in Aktionen eine komplette Beschreibung unter Berücksichtigung der Reihenfolge der Teilprozessschritte ermöglicht [18]. Dieses Vorgehen wird im Anwendungsfall auf die Fertigung von Planetengetriebevarianten angewendet. Dabei sind fügende Montageschritte (z. B. Aufsetzen, Einspreizen, ...) sowie Hilfstätigkeiten wie das Fetten von Getrieben dargestellt. Die Teilschritte zur Montage einer Getriebestufe werden variantenabhängig ein- oder mehrmals durchlaufen, was durch die Verzweigungsstelle realisiert ist. Jede Aktivität und somit der gesamte Montageprozess werden wiederum mit elementaren Aktionen beschrieben und mit den zur Durchführung benötigten Ressourcen verknüpft. So stellt beispielsweise die Greifzange die notwendige Ressource für das Einspreizen eines Sicherungsrings dar.

Die Modellierung einer Produktfamilie mittels Klassendiagrammen und die Verknüpfung der Montageschritte zu einem Aktivitätsdiagramm liefert eine Beschreibungsform, die als Grundlage für die Integration von flexiblen Assistenzsystemen zur WerkerInnenunterstützung dient. Die digitale Darstellungsform der UML Diagramme ermöglicht es gerade auch mittelständischen Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt, moderne Technologien, insbesondere Assistenzsystemen ohne zu großen Anpassungsaufwand an Montagearbeitsplätzen zu integrieren. Um die beschriebenen



**Abb. 7.9** Hierarchischer Aufbau eines Montageprozesses

Modellierungstechniken effektiv anwenden zu können, müssen relevante Konstruktionsdokumente in digitaler Form verfügbar sein. Um den Aufwand zu reduzieren, die das Einpflegen variantenindividueller Arbeitsanweisungen bedeuten würden, wurde ein Plug-in entwickelt, das auf der Grundlage des Klassen- und Aktivitätsdiagramms ein Template für eine Produktfamilie generiert. Innerhalb der Produktfamilien können Anpassungen der Arbeitsanweisungen einfach ausgeführt werden, indem z. B. die verbauten Einzelteile variieren. Das Plug-in verknüpft das Template mit der jeweiligen Stückliste des zu montierenden Produkts und filtert mithilfe einer hinterlegten Logik die für diese Variante benötigten Bauteile. Im Nachhinein kann die Anleitung manuell geprüft werden. Auf diese Weise muss jeweils nur bei der Umstellung auf eine neue Produktfamilie, nicht aber bei der Einführung einer neuen Variante eine neue digitale Anleitung erstellt werden [19].

### 7.3.3.2 Modulkonzept für Montagearbeitsplätze

Für den mechanischen Aufbau des standardisierten Systemarbeitsplatzes wird ein modularer Aufbau vorgeschlagen. Jedes Modul wird für einzelne Aktivitäten im Montageprozess genutzt. Die einzelnen Module haben ein betriebsspezifisch anpassbares Standardformat und können so leicht ausgetauscht bzw. in ihrer Reihenfolge zueinander

verändert werden. So kann der Arbeitsplatz bei Bedarf schnell an die wechselnden Anforderungen angepasst und im Rahmen von teilautomatisierten und digital unterstützten Montagekonzepten vernetzt werden. Abb. 7.10 stellt beispielhaft die modulare Aufteilung eines standardisierten Montagearbeitsplatzes dar.

Dieser modulare Aufbau vereinfacht den Einsatz von digitalen Assistenzsystemen stark, da diese nun auf die reduzierten Anforderungen an einem Arbeitsplatzmodul spezialisiert werden können.

### 7.3.3.3 Umsetzung am Beispiel des ersten Anwendungsfalls bei SPN

Um den Arbeitsbedingungen und dem Arbeitsumfeld in der Montageabteilung für den Anwendungsfall des Partners SPN möglichst nahe zu kommen, wurde bei der Gestaltung des Testarbeitsplatzes versucht, prinzipiell auf die dort vorhandenen Konzepte aufzubauen. Dabei wurde ähnlich den dortigen Systemarbeitsplätzen für die Konstruktion des Arbeitsplatzes ein Rohrverbindungssystem verwendet. Der L-förmige Aufbau ist dabei in drei Arbeitsbereiche unterteilbar.

- **Arbeitsbereich 1** besteht aus dem linken Schenkel des Arbeitstisches und besteht aus einer Arbeitsfläche und einem Materialregal. In diesem Arbeitsbereich werden Norm- und Spezialteilen kollaborativ von MitarbeiterInnen und einem Roboter montiert.
- **Arbeitsbereich 2** befindet sich in der Ecke des Aufbaus und dient als Ausgangsbasis für den kollaborierenden Roboter. Dieser ist auf einem speziellen Roboterwagen montiert, in dessen Sockel die Steuerung des Roboters untergebracht ist. Der Roboter-

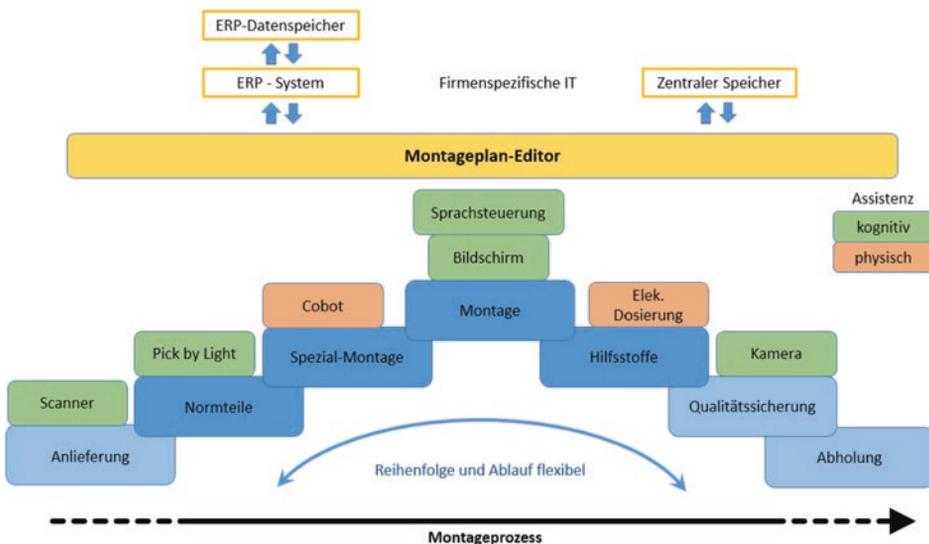


Abb. 7.10 Modularer Aufbau des Montageprozesses (Bild: Tobias Rusch)

wagen ist fahrbar und kann in Grundstellung mit dem Arbeitsplatz verbunden werden. Über diese Verbindung verfährt der Roboter gemeinsam mit dem Arbeitsplatz bei verschiedenen Höheneinstellungen und behält so eine feste Referenz gegenüber den anderen Arbeitsbereichen. Von seiner Position aus sind für den Roboter alle Arbeitsflächen des gesamten Aufbaus erreichbar. In diesem Arbeitsbereich sind nur Arbeitsprozesse für den Roboter geplant.

- **Arbeitsbereich 3** definiert den rechten Schenkel des L-Aufbaus mit einer Arbeitsfläche der Aufnahme mit dazugehörigen Regalwagen zum Materialtransport. Der Regalwagen ist am Arbeitsbereich in der Grundstellung andockbar und gemeinsam mit dem gesamten Arbeitsplatz höhenverstellbar. Als zukünftige Erweiterung ist hier der Transport des Regalwagens über ein fahrerloses Transportsystem (FTS) möglich. In diesem Arbeitsbereich sind Tätigkeiten für MitarbeiterInnen und Roboter vorgesehen

Der gesamte Aufbau ist zur Ergonomieverbesserung in der Höhe verstellbar. Zur Versorgung des Arbeitsplatzes ist ein zentraler 16A Sicherungskasten mit Hauptschalter und ein Druckluftanschluss installiert. Die LED-Beleuchtung des Arbeitsplatzes wurde entsprechend der zusätzlichen Verwendung als Kameralicht dimensioniert. In Tab. 7.2 sind die eingesetzten Assistenzsysteme den Arbeitsbereichen zugewiesen und kurz definiert.

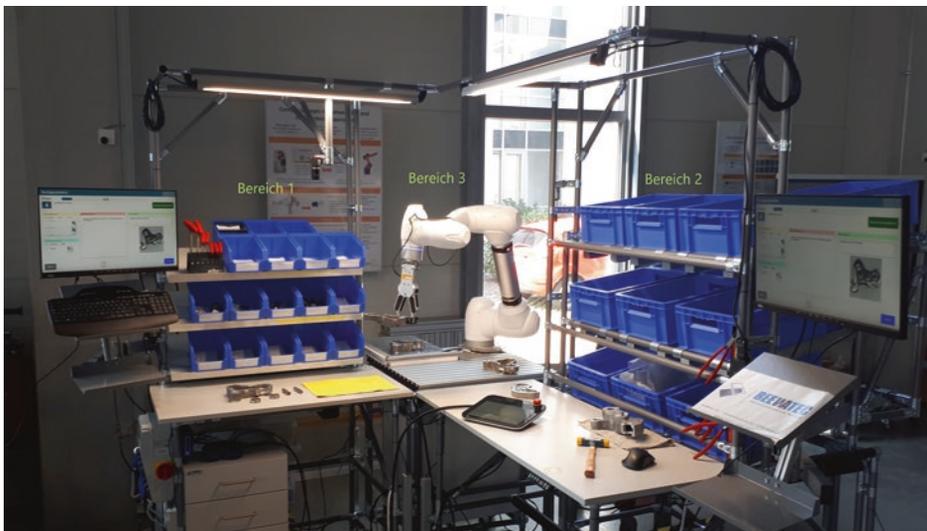
**Tab. 7.2:** Assistenzsysteme für den Anwendungsfall des Partners SPN

Name	Art der Assistenz	Arbeitsbereich	Funktion
Roboter	physisch	AB 1/2/3	Pick and Place in Zusammenarbeit mit dem/r MitarbeiterIn, Auftragen der Dichtraupe
Pick-by-light	kognitiv	AB 1/3	Kennzeichnung der benötigten Materialkisten inkl. Mengenangabe und Eingriffskontrolle
Touchbildschirm	kognitiv	AB 1/3	Anzeige der Montageschritte und Kommunikation mit der zentralen Steuerung
Kamerasystem	kognitiv	AB 1	Bauteilerkennung zur Robotersteuerung und Bildaufnahme zur Qualitätssicherung
Intelligenter Schrauber	physisch	AB 3	Montage der Schrauben mit automatischer Drehmoment- und Mengenüberwachung
Dosiersystem	physisch	AB 2	Ausgabe des Dichtmittels synchronisiert mit dem Arbeitsablaufs bzw. dem Bewegungsprofil des Roboters

Auf einem zentralen Rechnersystem läuft die Steuerungssoftware, in die die einzelnen Assistenzsysteme eingebunden und miteinander vernetzt sind. Hierüber finden zudem die Kommunikation und der Datenaustausch mit dem Firmennetzwerk statt. Alle notwendigen Montageinformationen und Meldungen werden den MitarbeiterInnen in einzelnen Arbeitsschritten dargestellt. Fertigungsprotokolle und Daten der Qualitätssicherung werden vom System zu jeder montierten Produktionseinheit automatisch abgespeichert.

Der aktuelle Arbeitsplatzaufbau ist in Abb. 7.11. zu sehen. Alle in Tab. 7.2 aufgeführten Assistenzsystemkomponenten (Slaves) sind an die zentrale Steuerungsplattform der paragon semvox GmbH als Master-System angebunden. Die Standardisierung des Montagefertigungsprozesses in der vorgegebenen Reihenfolge und deren kontinuierliche Überwachung durch Bestätigung der Bauteilnahme bzw. der Weiterschaltung der standardisierten Arbeitsschritte gewährleistet eine erheblich gesteigerte Prozesssicherheit – auch bei mangelnder Verfügbarkeit von erfahrenem Montagepersonal.

Für den Anwendungsfall selbst wurde der Heizvorgang für die Getriebegehäuse auf 160 Grad Celsius in einen nicht zugänglichen Bereich verlegt, sodass der Werker keiner Gefahr durch zufälligen Körperkontakt mit der Heizplatte oder dem heißen Werkstück kommt. Das Handling des heißen Werkstückes wird nicht mehr durch den Menschen selbst, sondern durch den Roboter parallel zu den weiteren vorbereitenden Arbeiten des Werkers vollzogen. Das Einsetzen der Getriebewellen in die Bohrungen des erhitzten Gehäuses wiederum wird weiterhin durch MitarbeiterInnen ausgeführt, jedoch in einer ergonomisch günstigeren Position. Das heiße Bauteil wird anschließend vom Roboter zur Abkühlung in einen ungefährlichen Bereich abgelegt.



**Abb. 7.11** Spezifizierter Montagearbeitsplatz

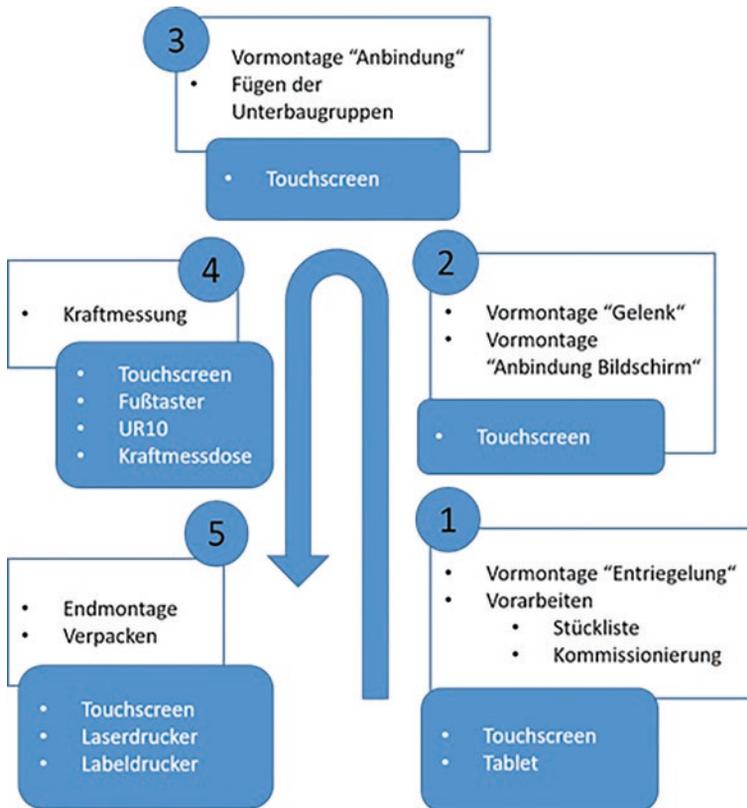
Auch Arbeitsschritte mit hohen dauerhaften Anforderungen an Wieder- und Positionsgenauigkeit sowie feinmotorische Koordination werden durch physische Assistenzsysteme wesentlich vereinfacht und die Standardisierung und Prozesssicherheit so erheblich verbessert. Im Projekt SynDiQuAss wurde beispielhaft im Demonstrator der Arbeitsgang Dichtraupen-Auftragung auf Getriebegehäuse durch MRK-Roboter angesetzt.

#### **7.3.3.4 Umsetzung am Beispiel des zweiten Anwendungsfalls bei Ohnhäuser**

Der Industriepartner Ohnhäuser fertigt und montiert an dem betrachteten Arbeitsplatz Videoarme für Flugzeugsitze, die aus verschiedenen Unterbaugruppen bestehen. Die Unterbaugruppen Anbindung, Gelenk und Anbindung Bildschirm haben je ein verstellbares Rotationsgelenk. Zudem ist an der Unterbaugruppe Anbindung ein Entriegelungsknopf, der nach Betätigung das Ausklappen des Videoarms erlaubt. Um bei Turbulenzen während eines Fluges die nötige Sicherheit gewährleisten zu können, trotzdem aber die nötige Leichtgängigkeit der Gelenke zu ermöglichen, muss die benötigte Verstellkraft der Gelenke in einem bestimmten Toleranzbereich liegen. Diese Verstellkräfte wurden vor dem Projektstart manuell von dem/der MontagemitarbeiterIn gemessen. Die bisherige manuelle Ermittlung der Verstellkräfte war stark von der Verstellgeschwindigkeit während des Messvorgangs abhängig. Um eine höhere Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wurde ein robotergestützter Prüfprozess entwickelt. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die hohe Variantenvielfalt der Videoarme und die damit einhergehenden Variationen der Messvorgänge dar. Der Ablauf des assistierten Prüfprozesses ist wie folgt:

1. Bei dem Auftragseingang einer neuen Variante werden die Prozessrelevanten Parameter der einzelnen Unterbaugruppen ausgemessen und in einer Datenbank abgelegt.
2. In Bezug auf die Datenbank werden die vom Roboter anzufahrenden Punkte berechnet, in Robotertrajektorien zurücktransformiert und in eine.script Datei geschrieben
3. Die.script Datei kann daraufhin in das Roboterprogramm übernommen und abgespeichert werden.
4. Nach Abschluss der Montage wird das entsprechende Roboterprogramm der montierten Videoarmvariante aufgerufen und die Messung durchgeführt
5. Die gemessenen Kraftwerter werden automatisch als.csv Datei abgespeichert und ausgewertet
6. Die Auswertung wird dem/der MonteurIn mit möglichen Anweisungen zur Nacharbeit angezeigt und in der Datenbank gespeichert.

In dem Anwendungsfall des Industriepartners Ohnhäuser ist der Arbeitsplatz mit fünf Modulen aufgebaut und mit unterschiedlichen Assistenzsystemen bestückt. Die ausgewählten Komponenten zur Assistenz des Industriepartners sind Touchscreens, ein



**Abb. 7.12** Modularer Arbeitsplatz mit Assistenzsystem für Ohnhäuser

Tablet, ein Fußtaster, ein Laserdrucker und ein Etikettendrucker sowie für die Kraftmessung der UR10-Roboter und eine Kraftmessdose. Jedes der fünf Module ist mit Touchscreen-Monitoren ausgestattet, die den aktuellen Arbeitsstatus und Arbeitsanweisungen anzeigen. In den ersten drei Modulen werden die Unterbaugruppen vormontiert. Zudem werden die Unterbaugruppen an Modul drei zusammengefügt. Der UR10 mit der Kraftmessdose als Endeffektor befindet sich am vierten Modul. Der Fußtaster fungiert als Kommunikationskanal zwischen dem Monteur und dem paragon semvox-Assistenten. Am letzten Modul werden ein Laserdrucker und ein Etikettendrucker verwendet, um das Produkt zu kennzeichnen und die Qualitätsdokumentation auszudrucken, siehe Abb. 7.12.

### 7.3.4 Softwaresystem für Montageassistenz

Die während des Projektes entwickelte Software besteht aus einem Assistenten für Montageaufgaben und einen Editor zur Erzeugung und Anpassung von beliebigen

Instanzen des intelligenten Assistenten. Beide Applikationen basieren auf einem gemeinsamen Grundkonzept, der zum einen den State of the Art der Interaktionswissenschaft berücksichtigt und zum anderen die besonderen Anwendungsanforderungen von SynDiQuAss und der Anwendungsszenarien bedient. Entsprechend der Anforderungsanalyse konkretisierte sich als Ziel des Projektes eine Software, die sich möglichst einfach bedienen lässt, um Umschulungen von MitarbeiterInnen zu vermeiden, und die Erstellung von neuen Instanzen von Assistenten für unterschiedlichen Versionen von Produkten ermöglicht, damit die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes auch für die Produktion von kleineren Produktstückzahlen gewährleistet ist.

### 7.3.4.1 Gesamtkonzept

Ein Datenmodell, das den Prozessworkflow bei der Montage abbildet, dient als gemeinsame Grundlage für den Assistenten und für den Editor. Demnach besteht der Montageassistentprozess aus mehreren Prozessschritten, die den Aktivitäten des Prozessmodells entsprechen (vgl. Abschn. 7.3.3.1). Jeder Prozessschritt sieht folgende Funktionalität vor:

- dem Arbeiter werden Prozessinstruktionen in der GUI gezeigt (Text, Bild).
- bei jedem Prozessschritt kann dann der Arbeiter über mehrere zu seiner Wahl stehenden Modalitäten (Sprache, Touchscreen, Fußpedal) zu den jeweiligen Schritten vor und zurücknavigieren ("zurück/weiter").
- bei sensiblen Prozessschritten (z. B. wenn eine Überprüfung der Teile notwendig ist, weil der Arbeitsschritt unumkehrbar ist) wird eine Bestätigung des Arbeitsschrittes vom System verlangt. Nur dann kann der Arbeiter weiter navigieren.
- bei jedem Schritt kann der Arbeiter nach Hilfe verlangen, die in Form z. B., von Video-aufzeichnungen angeboten wird (siehe GUI).
- bei jedem Schritt kann der Arbeiter Kommentare sprachlich eingeben, die in den Montageanweisungsbereich (Siehe GUI) übernommen werden. Ein übergeordneter Nutzer soll diese Kommentare editieren können (z. B., Löschen, Erweitern, Anpassen).
- es sollen mehrere Zugriffsrechte mit dedizierten Funktionen für die Applikation vorgesehen werden (z. B., Editor, Werker).

Das Datenmodell sieht also die Definition von abstrakten, semantisch realisierten Datenstrukturen (Konzepten in einer Ontologie) für folgende Elemente vor (Abb. 7.13):

- Prozessschritt
  - DisplayObject
  - Benötigte Teile
  - Montageanweisung
  - Hilfeanweisung
- Unterprozessschritte

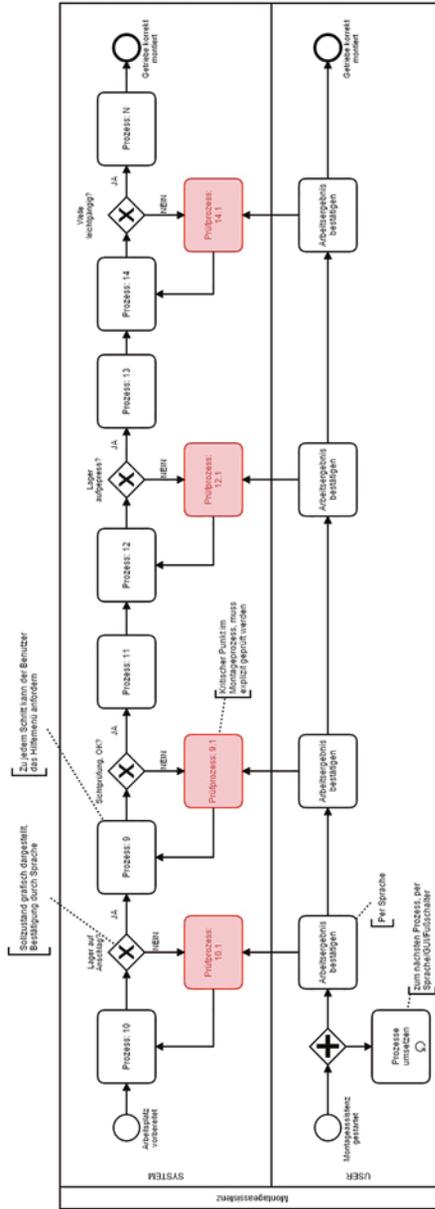


Abb. 7.13 Unterprozessschritte

Instanzen des semantisch abstrahierten Datenmodells werden im Excel Format persistiert und stellen nun die Referenzablage für Speicherung der Daten im Editiermodus und für Wiedergabe der Assistenz beim Assistenzmodus.

Für die Interaktion wurde ein multimodaler und multimedialer Ansatz vorgenommen.

**Multimodalität** gewährleistet die freie Wahl der zu nutzenden Modalität (z. B., Gestensteuerung, sprach- und keyboardbasierte Interaktion, Touchscreeneingabe) für den Mitarbeiter und somit einen einfachen Zugang von unerfahrenen Personal zum Tool.

**Multimedialität** sorgt wiederum für eine vollständige Nutzung des zur verfügungstehenden Informationsmaterial (z. B. Abbildungen und Bezeichnungen der zu montierenden Teile, Videoaufnahmen von beispielhaften Montageschritten, Beschreibungen der Montageschritte in Text und Sprachformat).

#### **7.3.4.2 Spezifikation der Funktionalitäten des Softwaresystems**

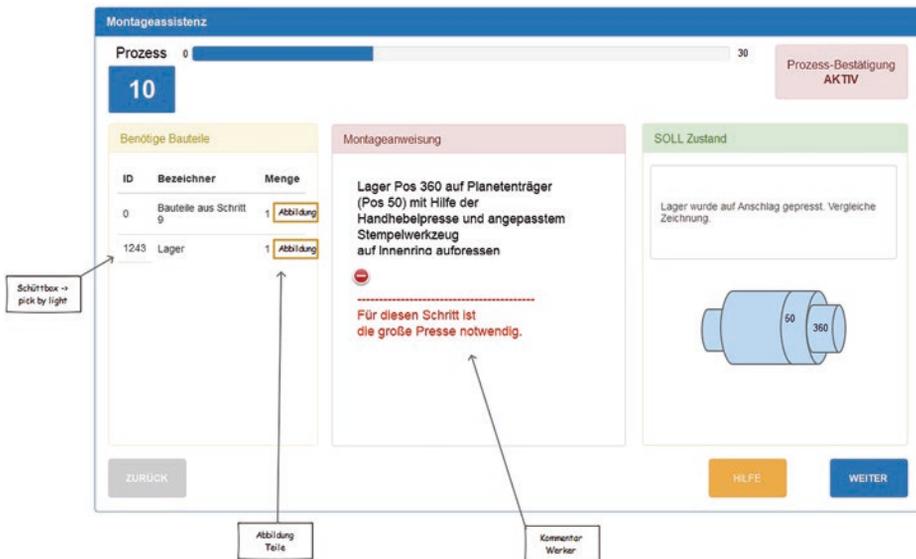
Da den MitarbeiterInnen multimodale Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden sollen, sieht der angezielte Testarbeitsplatz mehrere Interaktionskomponenten vor:

- Touchbildschirm zur Visualisierung der Prozessschritte und Interaktion über dedizierte grafische Benutzerschnittstelle GUI
- Mikrofone und Lautsprecher für die Sprachinteraktion
- Instrumentierten (pick by light) Schüttboxen zur Erkennung der einzusetzenden Bestandteile.

Die GUI zur visuellen Darstellung der Interaktion ist in funktionsabhängige Bereiche gegliedert, um die kognitive Last bei der Interaktion zu minimieren. Vertikal geordnet sind die Hauptbereiche, die jeweils den Prozessverlauf und Zustand, die Prozessschrittanleitung und die Prozessnavigation abbilden. Auf Prozessverlauf und Zustandsebene sind dann Informationen zu Prozessschritt, Prozessverlauf und Bestätigungsfunktionalität horizontal eingeordnet. Die Prozessschrittanleitungsebene sieht dann horizontale Bereiche für die Angaben von benötigten Bauteilen und Werkzeugen, Montageanweisung und Sollzustand vor. Die Funktionalitäten zur Navigation in den jeweiligen Schritten (weiter und zurück) und die Hilfefunktionalität mit Zugriff auf multimediale Inhalte sind im Navigationsbereich abhängig von den vorhandenen Medien (Bilder, Videos, Zeichnungen usw.) horizontal eingeordnet (Abb. 7.14).

#### **7.3.4.3 Spezifikation der Editorfunktionalität**

Nach der Identifikation der zur Editierung benötigten Daten und der an dem Editierprozess beteiligten MitarbeiterInnen wurde ein Konzept für den Editor implementiert. Dieser ermöglicht den Aufbau der jeweiligen Assistenzinstanzen durch die Eingabe der



**Abb. 7.14** Beispiel für den Montageassistenten

produktfamiliespezifischen Instruktionen von MitarbeiterInnen mit unterschiedlichen Zugriffsrechten. Hierbei stellte sich auch heraus, dass viele Daten wohl am Anfang des Prozesses schon vorhanden sind und zur Nutzung im Editiermodus automatisch eingetragen oder bereitgestellt werden. Daraus resultiert ein bimodaler Ansatz für den Assistenzsystemeditor:

1. Datengetriebene Eingabe: Der Editor erzeugt automatisch aus schon vorhandenen Dokumentationsmaterialien fertige, weitereditierbare Prozessassistenteninstanzen. Dies ist in Form von dedizierten Plug-ins realisiert (Semantic Lifting).
2. MitarbeiterInnengetriebene Eingabe: Der Editor soll allen MitarbeiterInnen, die an der Entstehung eines Arbeitsprozesses beteiligt sind, dedizierte Editiermöglichkeiten anbieten. Hierbei wird in Interaktion mit dem Assistenzsystem selbst der Prozess erzeugt.

Auf der Basis der Anforderungen wurde ein Editierprozess zur semantischen Repräsentation spezifiziert, der sich aus dem Editierprozess (Sequenzierung, Identifikation der Teile, Identifikation der Werkzeuge, Erklärung der Schritte, Hinzufügen von multimedialem Material) selbst sowie deren Nacheditierung (Korrektur der zuvor eingegebenen Informationen, Anreicherung von zusätzlichen Informationen, Umeditierung zum Zweck der Herstellung von zusätzlichen Varianten des Editierprozesses für verwandte Produkte) zusammensetzt.

#### 7.3.4.4 Implementierung

Der Montageprozessassistent und -editor werden auf der Basis der paragon semvox ODP (Ontologie-basierte Dialog Plattform) Interaktionsmanagement Plattform und der Plattform für verteilte Intelligenz semvox.AI umgesetzt. Semvox.AI wiederum stellt die aktuellste Generation der von paragon semvox angebotener Interaktionsplattform dar. ODP S. 3 bietet hierbei einen vollständigen Technologiestack für dialogisches Interaktionsmanagement und kombiniert mehrere Methoden der multimodalen Verarbeitung. Die semvox.AI unterstützt die kognitive Architektur eines intelligenten Assistenten als zusätzlicher modularer Layer zu ODP S. 3 zur Ableitung und Verwaltung von zusätzlichem Wissen und Kontextinformationen aus verteilten intelligenten Diensten.

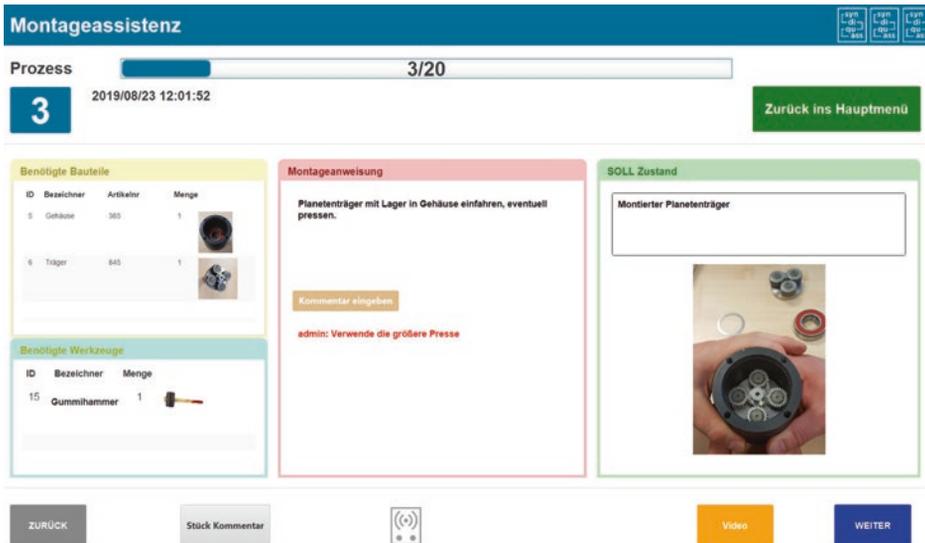
Interaktionsmanagement Plattform und der Plattform für verteilte Intelligenz semvox.AI umgesetzt und besteht aus folgenden Komponenten:

- Interaktionsmanager
- Spracherkennung und Sprachsynthese
- Gestenerkennungskomponente
- GUI
- Schnittstellen zu Externedatenbanken
- Externe Sensorik (Mikrofon, Kamera/Eyetracking, Leapmotion, Pick by Light System)

Der Prozess und die Prozessschritte werden in diesem Tool in Form von semantischen Objekten als Tasks realisiert. In dem ODP Framework werden dann Datenanreicherung, multimodale Fusion, Interaktionsmanagement, Aktionsplanung sowie multimodale Fission (Generierung) ausgeführt. Die GUI wird auf der Basis der javafx Bibliotheken als eigenständige Komponente realisiert und ist sowohl für die Aufnahme und Weiterleitung von Touch- und Text Input-Eingaben zur ODP-Fusion, als auch für die Umsetzung von visuellen Angaben, auskommend von der ODP-Generierung verantwortlich. Die Gestenerkennungskomponente ist auf der Basis von erweiterten mitgelieferten java-Interfaces zum Leap-Motion Sensor realisiert. Die Kommunikation zwischen ODP und externen Komponenten findet auf der Basis von Java statt.

Spracherkennung und Sprachsynthese werden auf Basis der Nuance Technologie, jeweils über das Vocon Hybrid embedded ASR (Spracherkennung) und embedded Vocaliser TTS (Sprachsynthese) umgesetzt. Bei der Spracherkennung wird auch auf die spezielle „embedded“, open Domain Diktierfunktion zurückgegriffen, womit die Eingabe von Kommentaren oder Prozessschritte-Beschreibungen umgesetzt wird.

Für die Prozesseditierung werden in dem ursprünglichen Assistenten Excel-Dateien (für jede Datei ein Montageprozess) verwendet, die einfach strukturiert und übersichtlich als eine gute allgemein editierbare Grundlage dienen. Die jeweilige Excel-Datei wird dann automatisch in eine entsprechende ODP-Montageprozessinstanz beim Start der Applikation umgewandelt und beim Editierprozess dynamisch angepasst. Dies wird weiter als Basisdatenablage genutzt (Abb. 7.15).



**Abb. 7.15.** Beispiel für den Montageassistenten

Eckdaten zum System:

- Sprache: Deutsch
- Betriebssystem: Windows
- Falls Linux: Also ab Version 1.0.29
- Java 32 Bit ab Version 1.8
- Hardware: Laptop/Raspberry Pi
- Spracherkennung: Nuance VoCon 4.11.13
- Sprachsynthese: Nuance Vocalizer 3.0.

## 7.4 Lessons Learned

Aus der Zusammenarbeit innerhalb des Projekts lassen sich wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Organisation, Zusammenarbeit, Ergebnisse und deren Verwertbarkeit ableiten.

**Lesson 1: Das durch das Commitment definierte partizipatorische Modell ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Umsetzung technologischer Transformationsprozesse. Dies gilt insbesondere für bestehende und langjährig gewachsenen Strukturen in Unternehmen**

Technologische Transformationsprozesse werden oftmals durch disruptive Innovationen ausgelöst oder begleitet. Die Komplexität der Assistenzsysteme ist nur schrittweise und

in begrenztem zumutbarem Umfang zu steigern, damit sich die Menschen nicht zu schnell überfordert fühlen und die Vorteile der Assistenz nicht mehr wahrnehmen können. Zu exotisch anmutende Features der High-Tech-Industrie müssen gut auf die gewählte Zielgruppe zugeschnitten sein, um nicht abgelehnt zu werden. In jedem Fall muss die Prozesssicherheit und gewünschte Funktionalität der neuen Technologien gewährleistet und zumindest jederzeit kurzfristige Unterstützung bei Problemen verfügbar sein. Genügend Ressourcen an Zeit und Manpower für die Einführung und Schulung der Anwender ist grundsätzlich notwendig für den produktiven Einsatz.

Ohne die enge Kommunikation mit allen Betroffenen auf allen Ebenen der Unternehmenshierarchie werden die unterschiedlichen Ideen und Lösungsansätze zur Zielerreichung nicht aufgenommen und die einzuführenden Prozessänderungen nicht in der Praxis umgesetzt. Authentische und offene Auseinandersetzung mit den Anforderungen und Bedenken der Anwender ist dabei zu beachten. Wichtig ist dabei auch die Zusammenarbeit und Einbeziehung des Betriebsrates als Arbeitnehmervertretung von Beginn an.

Ein ständiger Austausch mit Marktteilnehmern in ähnlichen Aufgabenstellungen über die Branchengrenzen und Region hinaus bringt neue Gedankenansätze und Einblicke in Lösungsstrategien anderer Organisationen, die weiterhelfen können. Auch die musterhafte Darstellung und eigene Probiererfahrungen in speziell eingerichteten Instituten kann erheblich zum Abbau von Vorbehalten und zur Begeisterung beim direkten Erleben der Funktionen beitragen.

Beispiele hierfür konnten im Projekt SynDiQuAss folgende Einrichtungen bieten:

Future Work Lab am Fraunhofer IAO in Stuttgart

Lernfabrik für vernetzte Produktion LVP am Fraunhofer IGCV in Augsburg

Technologietransferzentrum (TTZ) der Hochschule Augsburg am TCW in Nördlingen

## **Lesson 2: Die Zusammensetzung des Projektkonsortiums sollte den Querschnitt aus Industrie-, Technologie- und Forschungspartnern repräsentieren, um die spezifischen Herausforderungen der digitalen Transformation abzubilden**

Für die erfolgreiche Umsetzung der digitalen Transformation muss domänenspezifisches Expertenwissen mit domänenübergreifender Methodenkompetenz kombiniert werden. Produkt- und prozessspezifisches Wissen liegt an zahlreichen Stellen, meist jedoch nicht in strukturierter und digitalisierter Form in den Industrieunternehmen vor. Dessen Nutzung und Nutzbarmachung stellt oftmals den Einstieg in die Digitalisierung kleiner und mittelständischer Unternehmen dar. Als Ansatzpunkt zur weiteren Verbreitung sind Handlungsempfehlungen gerade für die Informations- und Datenaufbereitung und -speicherung sowie die IT-Struktur und Prozessabläufe von großer Bedeutung.

Dies gilt ganz besonders für die Entwicklung digital vernetzter Assistenzsysteme. Hierfür sind Fachkenntnisse aus dem jeweiligen Produktionsprozess zur Gestaltung der Unterstützung, betriebswirtschaftliche Kenntnisse zur Bewertung der Investitionsentscheidung, juristische Kenntnisse zur datenschutz- und arbeitsrechtlichen Bewertung sowie IT-Kenntnisse zur Unternehmensanbindung von Nöten. Gerade bei dem

Zusammenspiel zwischen Produktion und IT konnten im Projekt SynDiQuAss wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, die mit dieser Veröffentlichung weitergegeben werden sollen.

Es ist hierbei unerlässlich, dass bei der Neuentwicklung eines Assistenzsystems eine Begehung des Arbeitsplatzes durch Softwareentwickler erfolgt. Gerade in der Montage muss bei den Entwicklern ein Eindruck vorhanden sein wie sich das jeweilige Produkt anfühlt, welche Werkzeuge verwendet werden, wie die Arbeitsatmosphäre vor Ort ist.

**Lesson 3: Der Entwicklungsprozess in interdisziplinären Teams muss moderiert werden, um die Zielerreichung für das Gesamtprojekt sicherzustellen. Dabei sind Entwicklungstools z. B. aus den Bereichen der agilen Softwareentwicklung hilfreich**

Im Forschungsprojekt SynDiQuAss übernahm das Fraunhofer IGCV die Rolle des Vermittlers, um Aufwand und Nutzen während der Softwareentwicklung des Montageplaneditors zu bewerten. Ziel des Vermittlers war es diejenigen Softwareanforderungen zu identifizieren, die mit geringem Aufwand einen hohen Nutzen haben und diejenigen Softwareanforderungen zurückzustellen, die trotz hohem Aufwand nur einen geringen Nutzen abwerfen.

Zur Verwaltung der Softwareanforderungen wurde bei der Assistenzsystementwicklung im Projekt SynDiQuAss ein Tool aufgesetzt, in das regelmäßig neue Anforderungen eingetragen worden. Dieses Tool wurde zudem genutzt, um Priorität und Status zu tracken. In wöchentlichen Telefonkonferenzen wurden mit dem Softwarepartner Änderungen besprochen. Das iterative Entwicklungsvorgehen durch das im zweiwöchentlichen Rhythmus neue Releases der Software erschienen sind hat sich als bewährt herausgestellt. Hierdurch konnten Änderungen an der Usability zeitnah getestet werden und die Integration von Hardwarekomponenten Schritt für Schritt vorgenommen werden. Durch die Verkürzung des Release-Zyklus auf zwei Wochen konnte im Projekt ein enormer Anstieg der Entwicklungsgeschwindigkeit im Vergleich zu frühen Projektphasen beobachtet werden.

**Lesson 4: Als zentrales Projektergebnis entstehen Technologiedemonstratoren. Diese dienen sowohl der projektinternen Verwertung, d. h. als Grundlage für Assistenzsysteme in der Montage der Projektpartner, als auch der externen Verbreitung und Verfügbarkeit, z. B. in Form eines Weiterbildungsangebotes für interessierte Unternehmen**

Das Projekt SynDiQuAss ist mit der Zielsetzung gestartet, anwendungsnahe Technologiedemonstratoren für die digital vernetzte Assistenz an Montagearbeitsplätzen zu entwickeln und im Praxisbetrieb zu evaluieren. Während der Laufzeit wurden deshalb u. a. ein Demonstrator für die Technologie- und Akzeptanzuntersuchung von Assistenzsystemen (Fraunhofer IGCV) als auch ein Systemarbeitsplatz mit kollaborierendem Roboter (Hochschule Augsburg) aufgebaut, mit dem assistierte Qualitätsprüfungsaufgaben und die kollaborierende Montage getestet werden. Neben der Evaluation und Konzeptvalidierung ist die spätere Verwertung der Demonstratoren ein wichtiges

Projektziel. So dienen diese einerseits den Forschungsinstituten als Demonstrationsobjekte, die für weitere FuE-Vorhaben, aber auch für die Entwicklung eines maßgeschneiderten Weiterbildungsprogramms verwendet werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass sich Projektergebnisse über den Kreis des Konsortiums hinaus verbreiten. Andererseits stellen die evaluierten Demonstratoren die Grundlage dafür dar, in für den Produktiveinsatz weiterentwickelter Form in die Montagebereiche der beteiligten Industriepartner integriert zu werden und damit zukünftig für praktisch messbare Produktivitätssteigerungen und Qualitätsverbesserungen zu sorgen.

**Lesson 5: Der technologische Reifegrad lässt den Einsatz der im Projekt SynDiQuAss entwickelten Technologiedemonstratoren innerhalb von Forschungs- und Testuntersuchungen zu. Um die Systeme für den Produktivbetrieb nutzen zu können, sind Weiterentwicklungen insbesondere im Bereich der Arbeitssicherheit erforderlich. Die Projektergebnisse der Konzeptions- und Testphase liefert dazu bereits hilfreiche Erkenntnisse**

Der Reifegrad der Demonstratoren erlaubt den Einsatz unter Forschungs- und Testbedingungen. Für den Produktivbetrieb sind jedoch weitere Entwicklungsstufen zu durchlaufen. Insbesondere arbeitsschutzrechtliche Bestimmungen (Maschinenrichtlinie, CE-Kennzeichnung) müssen mit geeigneten Verfahren wie einer ausführlichen Gefahren- und Risikoanalyse abgesichert werden. Dies gilt insbesondere für kollaborierende Assistenzsysteme, die WerkerInnen physisch unterstützen. Im Rahmen des Demonstratoraufbaus werden deshalb bereits Auslegungskriterien wie Bahngeschwindigkeiten und die sichere Interaktion zwischen Bediener und Assistenzsystem untersucht. Diese Projektergebnisse stehen den Konsortialpartnern für Weiterentwicklungen zur Verfügung. Dennoch besteht im Bereich der sicheren Applikationsentwicklung kollaborierender Systeme noch Forschungsbedarf, um Anwendern die Planung, Auslegung und praktische Nutzung solcher Systeme zu vereinfachen.

---

## Literatur

1. Adler, S.; Böhme, T.; Möser, S.: Assistenzsysteme in der Anlagen-Inbetriebnahme. wt- online 106 (2016) 3, S. 117-118.
2. Apt E, Bovenschulte M, Priesack K, Weiß Chr, Hartmann A (2018) Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb, iit – Institut für Innovation und Technik, Berlin
3. Bannat A (2014) Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. Dissertation, Technische Universität München
4. Bauernhansl T Hompel M ten, Vogel-Heuser B (2014) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden
5. Bender M (2016) Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach einfach anfangen: Erste Erfahrungen von Anwenderunternehmen. Stuttgart. Zugriffen: 23.07.2019

6. Bischoff J, Taphorn C, Wolter D, Braun N, Fellbaum M, Goloverov A, Scheffler D: Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand, agiplan, Mülheim an der Ruhr
7. Blutner D, Cramer S, Krause S, Mönks T, Nagel L, Reinholz A, Witthaut M (2009) Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung. In: Buchholz, P. et al. (Hrsg.): Grosse Netze der Logistik, Springer, Berlin, S. 241-270.
8. Buchholz B, Ferdinand J.-P, Gieschen J.-H., Seidel U (2017) Digitalisierung industrieller Wertschöpfung – Transformationsansätze für KMU, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin
9. Bullinger H.-J. (1995) Arbeitsplatzgestaltung – Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme, Springer Vieweg, Wiesbaden
10. Davis F (1985) A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems – theory and results, PhD thesis, Massachusetts Inst. Of Technology
11. Deuse J, Busch F, Weisner K, Steffen M (2015): Differentielle Arbeitsgestaltung durch hybride Automatisierung. In: Schlick Chr (Hrsg.) Arbeit in der digitalisierten Welt, Frankfurt/New York, S. 235–246
12. DIN ISO/TS 15066:2016, Februar 2016 (2016) Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter
13. Drath R, Fay A, Barth M (2011) Interoperabilität von Engineering-Werkzeugen. In: at – Automatisierungstechnik 59, S. 451–460.
14. Eigner M, Stelzer R (2013) Product Lifecycle Management; Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Springer Verlag, Heidelberg, London, New York
15. Feldmann K, Slama S (2001) Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. In: wt Werkstatt online 91, 8. Springer-VDI-Verlag, S. 483–488
16. Funk, M.; Schmidt, A.: Cognitive Assistance in the Workplace. IEEE Pervasive Computing 14 (2015) 3, S. 53-55.
17. Hinrichsen, Sven, Riediger, Daniel & Unrau, Alexander 2016. Assistance Systems in Manual Assembly.
18. Kargl H (2017) Kompendium zu Enterprise Architect von SparxSystems; Foundational, Sparx Systems Software GmbH, Wien
19. Kerber F, Haendel G (2016) A UML-based approach to manage product variability in automated production lines 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). IEEE, S. 1–5.
20. Kiem R (2016) Qualität 4.0 – QM, MES und CAQ in digitalen Geschäftsprozessen der Industrie 4.0. Carl Hanser Verlag, München
21. Klocke F, (2017) Vernetzte, adaptive Produktion, In: Internet of Production für agile Unternehmen, AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017, Apprimus Verlag, S. 263–286.
22. Klocke F, Kamps S, Mattfeld P, Shirobokov A, Stauder J, Trauth D, Basset E, Jurke B, Bönsch C, Gärtner R, Holsten S, Jamal R, Kerzel U, Stautner M (2017): Assistenzsysteme in der Produktionstechnik. In: Jamal R, Heinze R (Hrsg.) Virtuelle Instrumente in der Praxis VIP 2017. VDE Verlag, Berlin, S. 265-287
23. Lüder A, Schmidt N (2017) AutomationML in a Nutshell. In: Vogel-Heuser B, Bauernhansl T, Hompel M ten (Hrsg) Handbuch Industrie 4.0. Bd. 2, S. 213–258.
24. Ludwig B (2015) Planbasierte Mensch-Maschine-Interaktion in multimodalen Assistenzsystemen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
25. McDermott R. E., Mikulak R. J., Bearegard M. R. (2019) The basics of FMEA, 2<sup>nd</sup> edition, CRC Press, Productivity Press: S. 9 ff.

26. Müller R, Vette M, Mailahn O, Ginschel A, Ball J (2014) Innovative Produktionsassistenz für die Montage. *wt-online* 104 – 9, S. 552-560.
27. Obermaier R (2016) R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
28. Object Management Group (2017) OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Version 2.5.1
29. Prenting TO, Battaglin RM (1964) The precedence diagram: A tool for analysis in assembly line balancing. In *Journal of Industrial Engineering*, S. 208–213.
30. Reinhart G, Zäh M. F, Wiesbeck M, Egbers J(2009) Digitale Assistenzsysteme zur alterungsgerechten Integration von Werkern in die variantenreiche Montage. *ATZproduktion* 2, 3-4, S. 18-21.
31. Rößler A (2016) Management-Handbuch, b-wise, Karlsruhe
32. Rumpe B (2011) Modellierung mit UML; Sprache, Konzepte Und Methodik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
33. Senderek R, Geisler K (2015) Assistenzsysteme zur Lernunterstützung in der Industrie 4.0. In: Rathmayer S, Pongratz H (Hrsg.) *Proceedings of DeLFI Workshops 2015 co-located with 13th e-Learning Conference of the German Computer Society (DeLFI 2015)*, München, S. 36–46
34. Sochor R, Riegel A, Merhar L, Rusch T, Merkel L, Kerber F, Braunreuther S, Reinhart G (2019) Kognitive und physische Assistenz in der Montage, *wt-online* 3-2019, Seite 122–127.
35. Sommerhoff B (2015) Eine neue Ära der Qualitätssicherung. *FAZ Frankfurter Allgemeine Zeitung*. Online-Archiv. Zugegriffen: 23.07.2019
36. Steil J. J., Maier G. W. (2018) Kollaborative Roboter. Universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt. In: Maier G.W., Engels G, Steffen E (Hrsg.): *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*, Springer, Berlin
37. Ullrich A, Vladova G, Gronau N, Jungbauer N (2016) Akzeptanzanalyse in der Industrie 4.0-Fabrik. Ein methodischer Ansatz zur Gestaltung des organisatorischen Wandels. In: Obermaier, R. (Hrsg.): *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016, S. 291–307
38. Ullrich C, Aust M, Blach, R, Dietrich M, Igel C, Kreggenfeld N, Kahl D, Prinz C, Schwantzer S (2015): Assistenz- und Wissensdienste für den Shopfloor. In: Rathmayer S, Pongratz H (Hrsg.) *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik*, München, S. 47-55
39. Venkatesh V, Morris M. G., Davis G. B., Davis F. D. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 37 (3), 425-478.
40. Weigert G, Henlich T, Klemmt A (2008) Methoden zur Modellierung und Optimierung von Montageprozessen. In: Rabe M (Hrsg) *Advances in simulation for production and logistics applications*. Tagungsband zur 13. Fachtagung, Berlin, S. 479–488.
41. Westkämper E, Löffler C (2016) Strategien der Produktion – Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
42. Westphal A (2011) Ethikbasierte Unternehmensführung und Commitment der Mitarbeiter, Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden
43. Wischmann S, Hartmann E.A (2018) *Zukunft der Arbeit*. Springer-Vieweg, Berlin

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



# Digitalisierung für Mensch und Organisation im Aftersales

# 8

Ein Beispiel der Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG

Marcus Pier, Carina Siedler, Stephanie Dupont, Klaus J. Zink und Jan C. Aurich

## Zusammenfassung

Der Wandel vom reinen Maschinenbauunternehmen zum Anbieter von Produkt-Service-Systemen stellt Landmaschinenhersteller wie die GRIMMELANDMASCHINENFABRIK GMBH & Co. KG vor große Herausforderungen. Um diesen Wandel vollziehen zu können, sind ein gut ausgebildetes Fachpersonal, kurzfristige Ersatzteilverfügbarkeit sowie moderne Systeme für Dokumentation und Kommunikation notwendig. Im Rahmen einer Pilotanwendung im Verbundforschungsprojekt InAsPro wird der Fokus auf den Personalentwicklungsprozess und damit auf ein gut ausgebildetes Fachpersonal gelegt. Durch ein Kursverwaltungssystem wird ein individueller Kompetenzaufbau der eigenen Servicemitarbeiter und der Servicetechniker der GRIMME-Servicepartner angestrebt. Zur nachhaltigen und individuellen Weiterbildung wird eine Kompetenzmatrix verwendet, welche zusätzlich um Lehrmodule ergänzt wird und so eine Sensibilisierung der Menschen im Bereich der Digitalisierung von Sach- und Serviceprodukten fördert.

---

M. Pier

Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, Kaiserslautern, Deutschland

E-Mail: [m.pier@grimme.de](mailto:m.pier@grimme.de)

C. Siedler (✉) · J. C. Aurich

Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland

E-Mail: [carina.siedler@mv.uni-kl.de](mailto:carina.siedler@mv.uni-kl.de); [jan.aurich@mv.uni-kl.de](mailto:jan.aurich@mv.uni-kl.de)

S. Dupont · K. J. Zink

Institut für Technologie und Arbeit (ITA), Kaiserslautern, Deutschland

E-Mail: [stephanie.dupont@ita-kl.de](mailto:stephanie.dupont@ita-kl.de); [klaus.zink@ita-kl.de](mailto:klaus.zink@ita-kl.de)

© Der/die Autor(en) 2021

T. Jeske und F. Lennings (Hrsg.), *Produktivitätsmanagement 4.0*, ifaa-Edition,

[https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3_8)

## 8.1 Vorstellung der Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG

Die Landwirtschaft steht in den nächsten Jahren vor tiefgreifenden Veränderungen. Grund dafür ist die wachsende Weltbevölkerung, welche bei gleichbleibender Versorgungsfläche auch in Zukunft ernährt werden muss. Die hierfür notwendige Produktivitätssteigerung kann u. a. durch datenbasierte Serviceprodukte ermöglicht werden, indem z. B. Landwirte bei der Ernte durch individuelle Handlungsempfehlungen unterstützt werden [19]. Voraussetzung für die Nutzung dieser Serviceprodukte sind Landmaschinen, welche Daten erheben und verarbeiten können. Diese Landmaschinen werden nicht nur von nationalen Anbietern, sondern zunehmen auch von internationaler Konkurrenz gebaut, die ebenfalls Ersatzteile und Serviceprodukte anbieten. Für die GRIMME LANDMASCHINENFABRIK GMBH & Co. KG (im Folgenden: GRIMME) [10] wird es daher die zentrale Herausforderung der nächsten fünf Jahre sein, das Unternehmen von einem Maschinenbauunternehmen zum Anbieter von Produkt-Service Systemen weiterzuentwickeln und dadurch Meilensteine im Aftersales zu setzen. Zentrale Elemente des Wandels sind dabei gut ausgebildetes Fachpersonal, kurzfristige Ersatzteilverfügbarkeit sowie Daten und moderne System für Dokumentation und Kommunikation. Um die genannte Zielsetzung zu erreichen, wurden für GRIMME sieben Zukunftstrends abgeleitet, die im Bereich Aftersales konsequent umgesetzt werden (Abb. 8.1), wobei ein besonderer Fokus auf der Kundenzufriedenheit liegt.

### Geschichte der Grimme Landmaschinefabrik GmbH & Co. KG

Bereits im Jahre 1861 fand die Grundsteinlegung von GRIMME am heutigen Standort in Damme statt. Die Schmiede wurde durch den Urgroßvater des heutigen Firmeneigentümers gegründet. Bis in die 1930er Jahre war die Familie Grimme einzig mit dem alltäglichen Schmiedebetrieb beauftragt [12].

Erst in den folgenden Jahren widmete sich GRIMME der Kartoffeltechnik und entwickelte einen Kartoffelablagekorb, welcher für damalige Verhältnisse in einer großen Stückzahl von circa 1000 Stück produziert wurde. In den folgenden Jahren wurde die Kartoffelerntetechnik weiter optimiert, bis im Jahre 1956 der erste in Serie gefertigte, gezogene Kartoffelroder der Landmaschinenfabrik auf dem Markt erschien. Im Jahr 1966 legte das Unternehmen mit dem ersten gezogenen Kartoffelroder mit hydraulischen Funktionen einen europaweiten Meilenstein. Durch diesen strategisch wichtigen Schritt konnte GRIMME neue Absatzmärkte in Europa gewinnen. Nur drei Jahre später entwickelte Franz Grimme Senior den ersten Kartoffelroder in Form eines Selbstfahrers mit eigenem Antrieb.



**Abb. 8.1** Zukunftstrends des Grimme Aftersales

1980 stieg Franz Grimme Junior in das Unternehmen ein. In den folgenden Jahren wurde das Produktprogramm des Unternehmens weiter ausgebaut. So gelang GRIMME 1999 der Einstieg in die Legetechnik, Pflorgetechnik sowie in die Einlagerungstechnik mit eigenen entwickelten Maschinen. Dieser Schritt ließ GRIMME zu einem Komplettanbieter, einem sog. Full Liner [3], in der Kartoffeltechnik heranwachsen.

Im Jahr 2003 gelang es dem Unternehmen durch den selbstfahrenden Rübenvollernter Maxtron 620 mit einem neuen Gesamtkonzept in die Rübentechnik einzusteigen [11]. 2013 übernahm GRIMME einen im Markt fest etablierten Rübentechnikhersteller. Mithilfe der durch die Übernahme neu erworbenen Kompetenzen will sich GRIMME auch in der Rübentechnik zum Full Liner entwickeln.

Der Hauptsitz von GRIMME befindet sich seit Firmengründung in Damme (auch Werk 1 genannt) und wurde im Jahr 2000 um das Werk 2 in Rieste erweitert, welches für die Montage von selbstfahrenden Arbeitsmaschinen zuständig ist. Insgesamt arbeitet an diesen zwei Standorten eine Stammebelegschaft von 1450 Mitarbeitern. Hinzu kommen noch ca. 125 Auszubildende und Studenten, die ihren zukünftigen Beruf in 14 verschiedenen Ausbildungs- und Studienrichtungen erlernen.

Die GRIMMELANDMASCHINENFABRIK GMBH & Co. KG befindet sich heute in vierter Generation in Familienbesitz (Abb. 8.2). Dabei entwickelte sich GRIMME im Lauf der Jahrzehnte vom Spezialisten in der Kartoffeltechnik für Feld und Halle zum weltweit agierenden Anbieter innovativer Kartoffel-, Gemüse- und Zuckerrübentechnik. Neben der Entwicklung und Fertigung der Maschinen übernimmt GRIMME zusammen mit weltweiten Servicepartnern auch deren Betreuung während der Nutzungszeit. Im Jahr 2017 erwirtschaftete das Unternehmen einen Umsatz von über 300 Mio. €.



**Abb. 8.2** Grimme Landmaschinenfabrik GmbH

Neben der Landmaschinenfabrik besteht die GRIMME Gruppe noch aus fünf weiteren Tochtergesellschaften. Dazu gehört der Rübenspezialist KLEINE, die Gemüsetechnikspezialisten ASA-LIFT, das Bänderwerk RICON, der Polyurethan (PU)-Gusspezialist INTERNORM, der Nordamerikanische Kartoffeltechnik Full Liner SPUDNIK sowie viele weitere Vertriebsgesellschaften, die die GRIMME-TECHNIK erfolgreich in 120 Länder vertreiben. Weltweit beschäftigt die GRIMME Gruppe damit über 2000 Menschen, die Entwicklung, Produktion und Verkauf von über 150 verschiedenen Maschinentypen vorantreiben [10].

Um einen flächendeckenden Service anbieten zu können, arbeitet GRIMME mit Partnern vor Ort zusammen. Diese müssen nicht nur in Beratung und Verkauf kompetente Ansprechpartner sein, sondern auch in den Bereichen Service, GRIMME-Originalteile und Gebrauchtmaschinenvermarktung die beste Lösung für den Kunden bieten. Dieser Anspruch wird insbesondere durch ausgesuchte GRIMME-Premium-Partner verwirklicht, die jederzeit engen Kontakt zum Stammsitz in Damme pflegen. Der enge Austausch zwischen Kunde, Vertriebspartner und Werksbeauftragtem ist wichtig, denn nur so kann GRIMME an Kundenbedarfen orientierte innovative und leistungsstarke Produkte entwickeln. Die Vertriebspartner werden in intensiven Trainings in Theorie und Praxis geschult, sodass im Bedarfsfall schnelle Unterstützung für den Kunden gewährleistet ist. Für diesen Zweck hat GRIMME eine Academy mit zwei Standorten in Damme und Cappeln gegründet.

## 8.2 Ausgangssituation der Pilotanwendung im Aftersales

### Motivation

Der GRIMME-Aftersales erbringt weltweit Serviceleistungen für die Kunden. Allerdings gerät diese Tätigkeit in Zukunft verstärkt unter Druck durch äußere Einflüsse, wie bspw. die sich verändernden Lebensbedingungen und Ernährungsgewohnheiten sowie Umweltkatastrophen. Um die bestmögliche Kundenzufriedenheit zu erreichen, werden heute nicht nur die Maschinen als „Produkt“ verkauft, sondern es werden Produkt-Service Systeme (PSS) entwickelt, die die Einsätze der Produkte begleiten. PSS bestehen dabei aus Sachprodukten, Serviceprodukten, Netzwerken von Akteuren und einer unterstützenden Infrastruktur [21]. Zur Realisierung solcher Systemlösungen müssen drei Aspekte berücksichtigt werden:

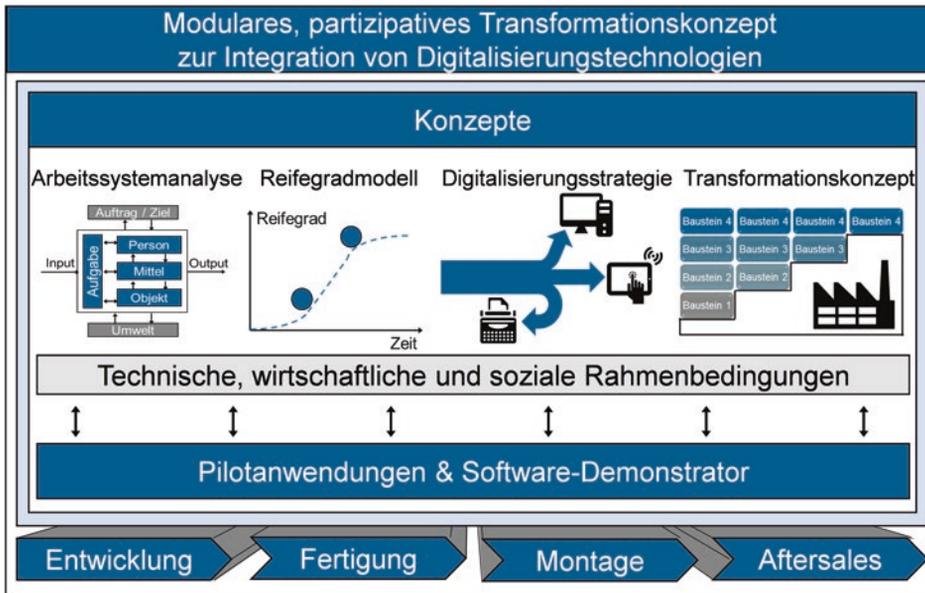
- Sehr gut ausgebildete Beschäftigte mit klarer Verantwortung
- Sofortige Teile-Verfügbarkeit im Service
- Up-to-date Systeme für Kommunikation, Organisation und Dokumentation [23]

Zur Erreichung dieser Ziele nimmt GRIMME am Verbundforschungsprojekt „Integrierte Arbeitssystemgestaltung in digitalisierten Produktionsunternehmen“ (InAsPro) [37] teil. Hierbei werden wesentliche Themen der Digitalisierung bei GRIMME, insbesondere hinsichtlich Beschäftigter und Arbeitsorganisation, adressiert.

### Das Projekt InAsPro

Das Ziel des Projekts InAsPro ist es, ein modulares Transformationskonzept für die bedarfsgerechte Implementierung von Digitalisierungstechnologien in Unternehmen zu entwickeln. Dabei wird ein partizipativer Ansatz verfolgt, der mitarbeiterbezogene, technische und organisatorische Faktoren bei der Auswahl und Integration von Digitalisierungstechnologien für die Produktlebenszyklusphasen Entwicklung, Fertigung, Montage und Aftersales berücksichtigt. Das Transformationskonzept besteht aus vier Einzelkonzepten: Arbeitssystemanalyse, Digitalisierungsgrad, Digitalisierungsstrategie und Digitalisierung des Arbeitssystems (Abb. 8.3) [32].

Im Konzeptbestandteil „Arbeitssystemanalyse“ wird ein Arbeitssystem im Unternehmen hinsichtlich seiner vorhandenen Digitalisierungstechnologien analysiert und zukünftige Potenziale identifiziert. Aktuelle und zukünftige Digitalisierungstechnologien werden unter Berücksichtigung ihrer Einsetzbarkeit in den verschiedenen Produktlebenszyklusphasen in einem Technologieatlas systematisch beschrieben [30, 36]. Das zweite Konzeptbestandteil ist ein neu entwickeltes Reifegradmodell zur Ermittlung des Digitalisierungsgrades eines Arbeitssystems innerhalb verschiedener Produktlebenszyklusphasen. Im dritten Konzeptbestandteil werden Digitalisierungsstrategien abgeleitet und mit der Unternehmensstrategie abgestimmt. Im letzten Konzeptbestandteil liegt der



**Abb. 8.3** Rahmenwerk des Projekts InAsPro

Fokus auf den operativen Umsetzungsmaßnahmen. Hier wird gezeigt, wie ein Unternehmen ausgewählte Digitalisierungstechnologien implementieren kann [28].

Diese vier Einzelkonzepte bilden zusammen das modulare Transformationskonzept. Die theoretische Entwicklung des Konzepts wird von vier industriellen Pilotanwendungen unter Berücksichtigung der vier Produktlebenszyklusphasen begleitet [9]. Zusätzlich wird das entwickelte Transformationskonzept in einem Softwaredemonstrator umgesetzt und auf der Homepage des Projekts ([www.inaspro.de](http://www.inaspro.de)) zur Verfügung gestellt, sodass die Ergebnisse auch nach Abschluss des Forschungsprojekts angewendet werden können [6, 7].

### Die Pilotanwendung „Digitalisierung für Mensch und Organisation im Aftersales“ bei Grimme

In den letzten Jahren wurden bei GRIMME insbesondere im Aftersalesbereich wesentliche digitale Systeme entwickelt und eingeführt. Hierzu zählt z. B. ein Online-Portal zur Dokumentationsbereitstellung und Abarbeitung von Serviceanfragen mithilfe eines Workflowmanagements. Parallel dazu wurde weltweit eine digitale Servicelösung für alle Außendienstmitarbeiter eingeführt, die mithilfe von Tablets genutzt werden kann. Eine umfassende Qualifikation der Servicetechniker stellt dabei ein wesentliches Element für die Erreichung einer hohen Servicequalität dar. Durch die GRIMME ACADEMY und den bei der Industrie- und Handelskammer (IHK) Lüneburg eingerichteten Ausbildungsgang „Servicetechniker für Bau- und Landmaschinen“ verfügen die

Servicetechniker von GRIMME über fachlich-technische, organisatorische sowie soziale Kompetenzen zur Bewältigung der sich stets wandelnden Kundenanforderungen.

Die Personalentwicklung von GRIMME ermittelt auf Grundlage der Unternehmensbedarfe berufsbegleitende und arbeitsplatznahe Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für die Mitarbeiter und leitet geeignete Maßnahmen und Strategien ab, die einen Beitrag zur Erreichung der Unternehmensziele liefern können. Aktuell werden Schulungsangebote unternehmensübergreifend und in vier Kompetenzstufen angeboten. Dabei findet zwar die Ausrichtung auf eine Zielgruppe statt, jedoch soll die Berücksichtigung der Entwicklungspotenziale und -wünsche jedes einzelnen Teilnehmers noch nachhaltiger angegangen werden.

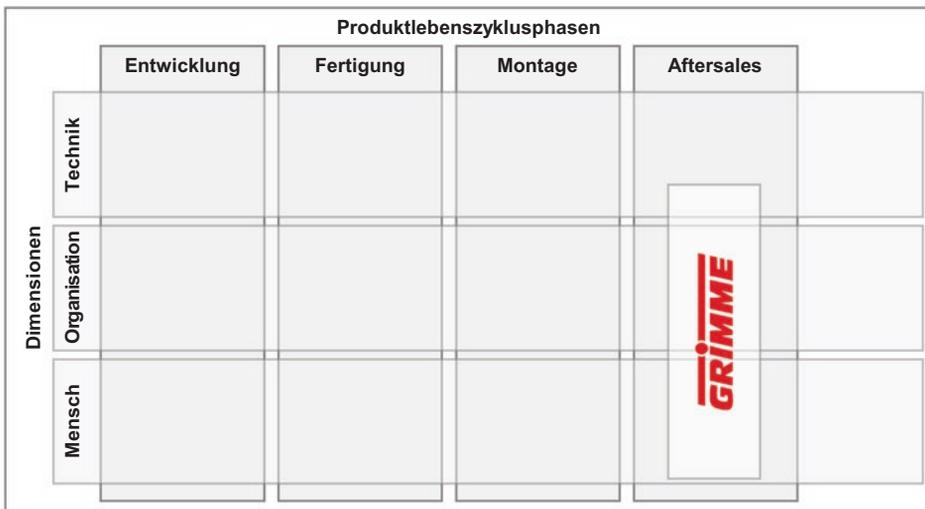
Im Rahmen von InAsPro betrachtet GRIMME vor allem die Rolle der Mitarbeiter in digitalisierten Produktionssystemen. Es soll untersucht werden, wie sich die Anforderungen an die Mitarbeiter im Kontext der zunehmenden Digitalisierung in cyber-physischen Produktionssysteme (CPPS) und weiteren Unternehmensbereichen wandeln. CPPS adressieren die enge Verbindung eingebetteter Systeme zur Überwachung und Steuerung physikalischer Vorgänge mit Sensoren und Aktuatoren über Kommunikationseinrichtungen mit den globalen digitalen Netzen [4]. Hierzu kann GRIMME auf Expertise aus dem Bereich der Mitarbeiterschulung zurückgreifen und die Ergebnisse des Forschungsprojekts in das Aus- und Weiterbildungsangebot einfließen lassen. Im Rahmen der Pilotanwendung werden die durch Digitalisierung ausgelösten Anforderungen gespiegelt sowie die erarbeiteten Lösungen angewendet und validiert.

Die Pilotanwendung im Projekt InAsPro setzt bei den Personalentwicklungsprozessen im Aftersales an. Dabei bildet das Aftersales die Schnittstelle zwischen dem Hersteller (hier: GRIMME) und den Endanwender von Anbaugeräten für die Landwirtschaft (Bodenbearbeitung, Saat- und Erntetechnik für Kartoffeln, Rüben und Gemüse). Der Fokus liegt dabei auf dem Kompetenzaufbau der eigenen Servicetechniker sowie der Servicetechniker, der in Vertrag stehenden Händler. Im Zentrum der angestrebten Digitalisierungslösungen steht eine personenbezogene Datenerhebung und –auswertung sowie eine resultierende empfehlungsbasierte Weiterbildungsmatrix. In der Pilotanwendung werden modulare Qualifikationsbausteine entwickelt und im genannten Funktionsbereich zur Anwendung kommen. Die Personalentwicklung soll zunächst unternehmensintern an der Zielgruppe „Aftersales“ stärker bedarfs- und händlerorientiert ausgerichtet werden [35].

Ein wesentlicher Entwicklungsansatz sind definierte und planbare Kompetenzentwicklungsschritte unter Berücksichtigung der Schulungshistorie, die individuell auf die Bedürfnisse einzelner Mitarbeiter angepasst werden können. Daraus entsteht ein Weiterbildungskonzept für Mitarbeiter, das sowohl Kompetenzen zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungstechnologien, als auch zum erfolgreichen Arbeiten betrachtet. Die dazu notwendigen Kompetenzprofile für Aftersales-Mitarbeiter werden entwickelt und Möglichkeiten der systematischen Abbildung dieser Kompetenzprofile geschaffen. Daraus werden Entwicklungsvorschläge für die Mitarbeiter abgeleitet, um zukunftsfähige Kompetenzbilder realisieren zu können. Dies geschieht mit einer im

Projekt definierten digitalen Kompetenzmatrix, die Handlungsfelder mit Entwicklungsmöglichkeiten der Mitarbeitenden abgleicht. Sie wird genutzt, um planbare Kompetenzentwicklungsschritte zu ermitteln, die zum einen die Schulungshistorie und zum anderen die individuellen Bedürfnisse der Mitarbeiter berücksichtigen. Daraus leitet sich ein Weiterbildungskonzept für Mitarbeiterkompetenzen in digitalisierten Arbeitssystemen ab, das zusätzlich durch Lehrmodule ergänzt wird. Die Lehrmodule werden zur Sensibilisierung von Mitarbeitern im Bereich der Digitalisierung von Sach- und Serviceprodukten (z. B. Händler- und Anwenderschulung, Instandhaltungsangebote) genutzt, wobei explizit auch arbeitswissenschaftliche Grundlagen integriert werden.

Der Schwerpunkt der Pilotanwendung liegt daher in der Produktlebenszyklusphase Aftersales im Bereich *Mensch* und *Organisation*. Der Dimension *Technik* kommt eine unterstützende Funktion zu, da er für die Umsetzung der digitalen Kompetenzmatrix benötigt wird Abb. 8.4 Die Umsetzung der Pilotanwendung erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Abteilungen und Akteuren Abb. 8.5. Während die Personalentwicklung die zentrale Organisationseinheit für die Umsetzung der Pilotanwendung im Aftersales darstellt, arbeitet eine Vielzahl weiterer Abteilungen dem Projekt zu: Die Abteilung Finanzen erstellt für die Pilotanwendung eine Kostenübersicht sowie eine Kostenkalkulation. Die IT-Abteilung entwickelt das IT-System, das sowohl Wissensstände erhebt, Schulungsangebote sichtbar macht und eine Anbindung an die vorhandene IT-Infrastruktur ermöglicht. Zur Erfüllung dieser Funktionen benötigt das IT-System personenbezogene Daten. Daher prüft zunächst die Rechtsabteilung, welche personenbezogenen Daten verwendet werden können, bevor der Betriebsrat entscheidet, ob diese im Unternehmen auch tatsächlich erhoben und verarbeitet werden dürfen.



**Abb. 8.4** Einordnung der Pilotanwendung in die Produktlebenszyklusphasen und Dimensionen



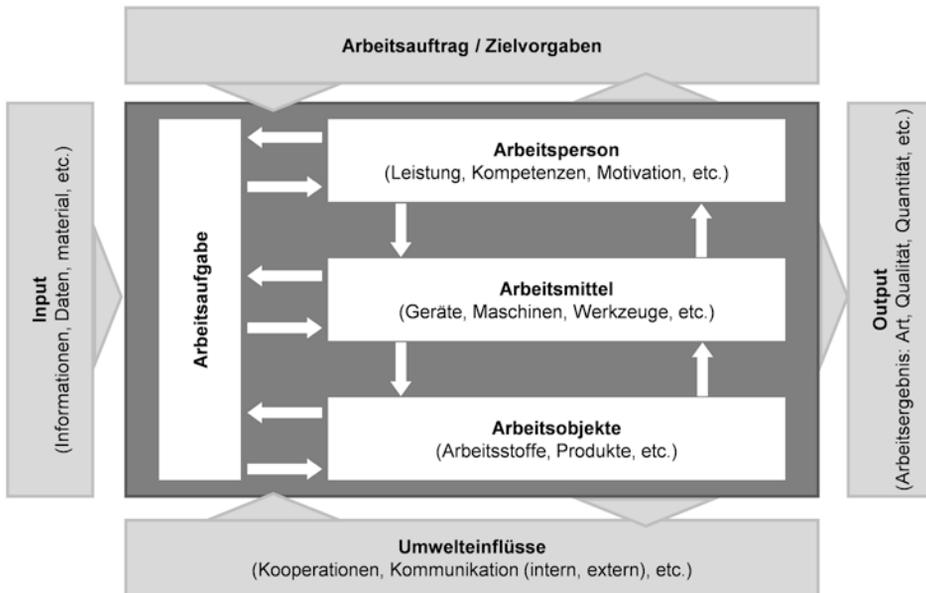
**Abb. 8.5** Beteiligte Abteilungen und Akteure an der Umsetzung der Pilotanwendung

Sollte die unternehmensinterne IT-Abteilung nicht ausreichend Kapazitäten für die Entwicklung bereitstellen können, wird der Einkauf involviert. Dieser führt gegebenenfalls Verhandlungen mit externen Anbietern der IT-Systeme bzw. externen Entwicklern durch. Das resultierende IT-System wird in der GRIMME ACADEMY genutzt, um passende Weiterbildungsangebote auszuwählen und die Kompetenzen der Mitarbeiter weiterentwickeln zu können.

### **Beschreibung des Arbeitssystems im Rahmen der Pilotanwendung**

Die Umsetzung der geplanten Pilotanwendungen geht mit erheblichen Veränderungen für den Bereich Aftersales einher. Um die Auswirkungen der Veränderung für das Unternehmen analysieren und darauf aufbauend bestmöglich gestalten zu können, bietet sich eine Betrachtung des Arbeitssystems an. Ein Arbeitssystem ist ein soziotechnisches System, das das Zusammenwirken von verschiedene Systemelementen beschreibt, die zur Erledigung einer Arbeitsaufgabe notwendig sind (Abb. 8.6). Das zentrale Element ist dabei der Mitarbeiter bzw. die Arbeitsperson, die auf Grundlage von Input, Zielvorgaben und Umwelteinflüssen unter Zuhilfenahme von Arbeitsmitteln und Arbeitsobjekten eine Arbeitsaufgabe erfüllt, wodurch Output erzeugt wird [15]. Die Wechselwirkungen dieser Elemente werden in Abb. 8.6 aufgezeigt.

Die Arbeitsperson ist der Mitarbeiter, der eine oder mehrere Tätigkeiten auf Grundlage seiner Motivation, Leistungsbereitschaft und individueller Kompetenzen, durchführt. Hierfür nutzt er Input, der aus Informationen, Daten oder Material bestehen kann, sowie vorhandene Zielvorgaben. Die hierfür verwendeten Arbeitsmittel sind Werkzeuge, die zur Erledigung der Aufgabe notwendig sind, einschließlich Hardware und Software, Maschinen, Fahrzeuge oder Einrichtungsgegenstände. Das zu bearbeitende Arbeitsobjekt kann als physischer Gegenstand oder beispielsweise auch in Form von Daten vorliegen. In jedem Fall wird das Arbeitsobjekt durch die Arbeitsperson verändert, um einen Output zu erzielen. Der Output ist das Arbeitsergebnis, das auf Basis von Art, Qualität und Quantität beschrieben werden kann. Grundlage für diesen Prozess bilden



**Abb. 8.6** Elemente des Arbeitssystems nach Schlick et al. [26]

Umwelteinflüsse, die die Art und Weise der Aufgabenerledigung beeinflussen, wie beispielsweise Kooperationsformen im Unternehmen oder Kommunikationsmöglichkeiten [26].

Um notwendige Entwicklungsschritte für die Planung von Veränderungsprozessen identifizieren zu können, bietet die Betrachtung von Arbeitssystemen die Möglichkeit, Veränderungen für alle Systemelemente zu beschreiben. Ausgehend von einem Istzustand werden Entwicklungsschritte unternommen, die zu einem Zielzustand führen.

Da es sich bei der hier vorgestellten Pilotanwendung um ein Digitalisierungsvorhaben handelt, ist der Zielzustand ein digitalisiertes Arbeitssystem. Änderungen von Elementen im Arbeitssystem führen durch die aufgezeigte enge Vernetzung der Elemente zwangsläufig auch zu Veränderungen von anderen Systemelementen. Obwohl die Pilotanwendung auf die Entwicklung und Einführung eines Kursverwaltungssystems (KVS), also die Veränderung des Arbeitsmittels, abzielt, können weitreichende Veränderungen von Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel, Arbeitsobjekt sowie Input und Output festgestellt werden. Umwelteinflüsse, beispielsweise der Schulungsbedarf von Monteuren sowie rechtliche Rahmenbedingungen, unterscheiden sich zwischen Ausgangssituation und Zielzustand nicht und können damit vernachlässigt werden. Auch die Arbeitsperson mit ihrer Zielvorgabe ändert sich nicht. Das Ziel ist weiterhin der Kompetenzaufbau der Mitarbeiter im Bereich Aftersales und dieses Ziel soll von der Arbeitsperson, in diesem Fall dem Personalentwickler in Zusammenarbeit mit der jeweiligen Fachabteilung, erreicht werden.

Die größten Veränderungen zwischen Istzustand und Zielzustand zeigen sich bei der Arbeitsaufgabe. In der Ausgangssituation wurden Personalentwicklungsmaßnahmen konzipiert und den jeweiligen Mitarbeitergruppen zugeordnet. Zukünftig werden darüber Wissensstände der jeweiligen Mitarbeiter ermittelt und die Mitarbeiter in Fähigkeitsklassen eingeordnet werden. Aufbauend darauf wird der individuelle Schulungsbedarf anhand einer Qualifizierungsmatrix ermittelt und gezielte Schulungsmaßnahmen durchgeführt werden. Um diese weiterführenden Arbeitsaufgaben erreichen zu können, wird der Arbeitsperson ein neues Arbeitsmittel zur Verfügung gestellt. Ursprünglich konnten Informationen über das unternehmensinterne ERP-System eingesehen werden, das mit einem Dokumentenmanagementsystem verknüpft war, in dem die Schulungsangebote hinterlegt sind. Aufbauend darauf wurde im Rahmen der Pilotanwendung ein KVS entwickelt, das interne Informationsquellen aus dem vorhandenen ERP-System mit externen Informationen von Monteuren zusammenführen kann und so die Schulungsplanung für die Arbeitsperson erleichtert. Dadurch verändert sich auch das Arbeitsobjekt, da nicht mehr einzelne Qualifizierungsmaßnahmen geplant werden, sondern Kompetenzprofile der Aftersales-Mitarbeiter bearbeitet werden. Die Veränderung wirkt sich auf Input und Output aus, da nun nicht mehr vorhandene Schulungsangebote aus einem Schulungskatalog als Inputinformationen genutzt werden, sondern strategische Kompetenzbedarfe, die Schulungshistorie von Mitarbeitern und Bedarfsmeldungen im KVS hinterlegt sind. Dadurch kann ein spezialisierter Output generiert werden. Schulungsangebote werden nicht mehr als E-Mail oder in Papierform verschickt und Rückmeldungen müssen nicht mehr händisch erfasst und verwaltet werden. Vielmehr können Entwicklungsmöglichkeiten individualisiert elektronisch ermittelt, dem Mitarbeiter zugewiesen und durch den Vorgesetzten freigegeben werden.

---

### **8.3 Vorgehensweise zur Zielerreichung für Unternehmen**

Um die gesetzten Ziele im Rahmen der Pilotanwendung zu erreichen, werden die genannten Einzelkonzepte angewandt. Zunächst wird der Digitalisierungsgrad des Unternehmens mit dem im Projekt InAsPro entwickelten Reifegradmodell erhoben, bevor die Digitalisierungsstrategie entwickelt und passende Digitalisierungslösungen identifiziert werden. Anschließend wird der Istzustand bei GRIMME detailliert aufgenommen und die Umsetzung zur Implementierung der gewählten Digitalisierungslösung geplant (Abschn. 8.3.1). Die Einzelkonzepte können im entwickelten Softwaredemonstrator durchlaufen werden, welcher auf der Homepage des Projekts zur Verfügung steht [37]. Abschließend erfolgt die Realisierung bei GRIMME vor Ort (Abschn. 8.3.2). Unterstützt wird diese Umsetzung durch Regelmeetings mit den beteiligten Projektpartnern (Abschn. 8.3.3).

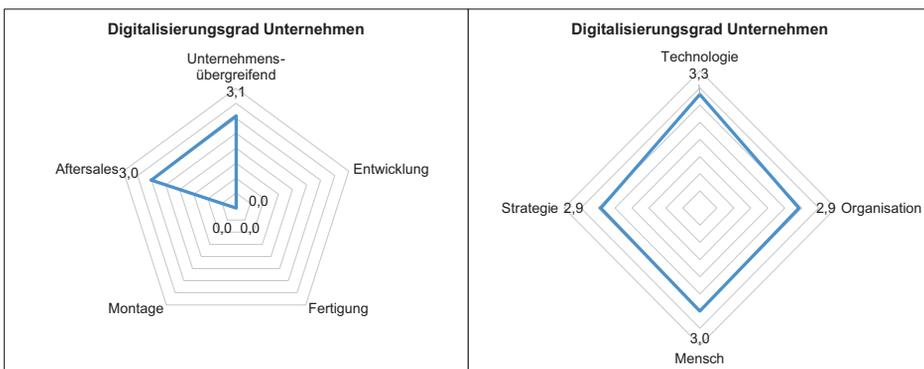
### 8.3.1 Analyse und Planung der Umsetzung

Durch die Verwendung des InAsPro-Reifegradmodells im Softwaredemonstrator [37] wird der Digitalisierungsgrad von GRIMME für das Gesamtunternehmen bestimmt. Die vier zugehörigen Reifegradstufen sind 1) Erkunder, 2) Anfänger, 3) Fortgeschrittener und 4) Experte. Aufgrund eines aus dem Softwaredemonstrator resultierenden Digitalisierungsgrades von 3,0 zählt Grimme zu den fortgeschrittenen Unternehmen im Bereich Digitalisierung. Dies bedeutet, dass die Digitalisierung überwiegend in den Unternehmensbereichen umgesetzt wird. Dabei sind die Bereiche größtenteils horizontal und vertikal vernetzt. Weiterhin ist die Digitalisierung in der Unternehmenskultur verankert [29].

Der Digitalisierungsgrad von GRIMME setzt sich aus dem unternehmensübergreifenden Reifegrad und aus dem Reifegrad der Produktlebenszyklusphase Aftersales zusammen (Abb. 8.7, links). Weiterhin wird der Digitalisierungsgrad anhand der Dimensionen *Technologie*, *Organisation*, *Mensch* und *Strategie* aufgeschlüsselt (Abb. 8.7, rechts) und in Radardiagrammen visualisiert. Mithilfe dieser Radardiagramme können Stärken und Schwachstellen identifiziert werden. Grimme weist z. B. in der Dimension *Organisation* einen Digitalisierungsgrad von 2,9 auf und in der Dimension *Technologie* einen Digitalisierungsgrad von 3,3. Das Beispiel zeigt, dass im Bereich *Organisation* mehr Potenzial zur Digitalisierung möglich ist, als im Bereich der *Technologie*, welche sich als Stärke des Unternehmens herausstellt.

Das InAsPro-Reifegradmodell zeigt den aktuellen Digitalisierungsgrad des Unternehmens auf, jedoch wird kein Zielzustand definiert. Dieser wird im nächsten Schritt mithilfe der Digitalisierungsstrategien festgelegt.

Grundlage für die Ermittlung der Digitalisierungsstrategie ist die bereits vorhandene Unternehmensstrategie, die im Fall von GRIMME eine Differenzierung des Produktportfolios anstrebt. Aufbauend darauf sowie auf dem ermittelten Digitalisierungsgrad



**Abb. 8.7** Digitalisierungsgrad des Unternehmens Grimme

für GRIMME wird das strategische Handlungsfeld *Prozesse* und das damit verbundene strategische Ziel *Prozesse automatisieren und vernetzen* ausgewählt. Mithilfe der anschließenden Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats (SWOT)-Analyse werden im Softwaredemonstrator strategische Optionen abgeleitet [37]. Diese werden vom Unternehmen anhand der Kriterien Aufwand (Zeit für Schnittstellenprogrammierung und –definition, Zeit für Umsetzung) und Nutzen (Reduzierung der Zeit für Mehrfacheingaben, Kostenreduzierung bei der Einführung bei weiteren Partnern) sowie anhand der Auswirkungen auf die Dimensionen *Mensch*, *Technologie* und *Organisation* bewertet. Auf Grundlage der Visualisierung der bewerteten Optionen wählt GRIMME zwei im Rahmen der Pilotanwendung zu verfolgende strategischen Optionen aus: Die Standardisierung der Schulungsverwaltung im gesamten Unternehmen sowie auch bei Partnern. Zur Konkretisierung werden für beide strategischen Optionen messbare Zielwerte sowie notwendige Investitionen festgelegt. Messbare Zielwerte sind beispielsweise der erste Test mit sechs Nutzern des neuen IT-Systems nach ca. 20 Monaten Projektlaufzeit oder die Nutzung des neuen IT-Systems von 80 % der Schulungsteilnehmer in den Ländern England und Frankreich bis in drei Jahren [6, 35].

Aufbauend auf der definierten Digitalisierungsstrategie wird die passende Digitalisierungslösung mithilfe des Technologieatlas im Softwaredemonstrator ausgewählt [36, 37]. Durch den Filterprozess wird das Anwendungsszenario „Unterstützung der Schulungsplanung“ konkretisiert. Mögliche Digitalisierungslösungen in diesem Anwendungsszenario sind das Kursverwaltungssystem sowie Onlineplanungs- und Qualifizierungstool. Für beide Lösungen erhält GRIMME Informationen zu benötigten Hard- und Softwarekomponenten, Chancen und Risiken für Mitarbeiter und Unternehmen sowie zu Wechselwirkungen mit anderen Digitalisierungslösungen. Letztlich wählte GRIMME die Digitalisierungslösung Kursverwaltungssystem aus, das im Rahmen des Projekts InAsPro als Pilotanwendung im Aftersales implementiert wird [35].

Aufbauend auf den theoretischen Erkenntnissen und der Auswahl des Kursverwaltungssystems als passende Digitalisierungslösung, wird anschließend die Pilotanwendung geplant. Hierbei werden Steckbriefe für die Pilotanwendung erstellt sowie eine Potenzialanalyse durchgeführt. Diese hat das Ziel, ein gemeinsames Verständnis des detaillierten Istzustands zu erhalten. Basierend darauf wird die Umsetzung geplant und potenzielle Risiken werden analysiert. Anschließend werden die Anforderungen an eine technische Lösung definiert.

### **Beschreibung der Pilotanwendung in einem Steckbrief**

Zur Veranschaulichung der Rahmenbedingungen der Pilotanwendung wird ein Steckbrief verwendet (Abb. 8.8). Hierbei wird die Idee für die Pilotanwendung strukturiert erfasst und konkretisiert. Der Steckbrief enthält in Kurzform alle relevanten Informationen über die Pilotanwendung. Er legt eindeutig Inhalte, Ziele, Nutzen, Herausforderungen und Verantwortliche bzw. Beteiligte fest [18]. Für einen ersten Überblick wurde die Pilotanwendung kurz beschrieben und durch ein Schaubild visualisiert. Aufbauend auf der Einordnung in die Produktlebenszyklusphase Aftersales und die

**lmAsPro**

## Beschreibung Pilotanwendung [Name Pilotanwendung]

[an der Beschreibung  
beteiligte Personen einschl.  
Unternehmen]

Fertigstellungshistorie

Geändert am ...	Von ...

**1 Beschreibung der Pilotanwendung**

**Hinweise zur Nutzung dieses Templates**

**Einteilung dieses Templates**

Die Pilotanwendung soll auf den folgenden **2 Ebenen** beschrieben werden:

1. **Allgemeine** Beschreibung der Pilotanwendung
2. **Prozessuale** Beschreibung der Pilotanwendung

**Bearbeitung dieses Templates**

- Die Beschreibungen der Kriterien sind in den jeweils dafür **vorgesehenen Boxen** auf den folgenden Folien einzutragen
- Die **Größe, Anordnung und Formatierung** der Boxen, Schriften etc. kann beliebig angepasst werden.

**Zusätzliche Dokumente**

- **Zusätzliche Dokumente** (Bilder, Prozessdokumentation etc.) dienen dem besseren Verständnis
- Diese Dokumente können dieser Datei direkt **angehängt** werden.

Pilotanwendung Beschreibung\_V\_1.1 lmAsPro

27.05.2019

**Abb. 8.8** Template Steckbrief für die Beschreibung der Pilotanwendungen

Dimensionen *Mensch* und *Organisation*, wird im nächsten Schritt die Zielsetzung näher erläutert und mögliche Problemstellungen und Herausforderungen bei der Umsetzung der Pilotanwendung werden beschrieben. Die Pilotanwendung wird anschließend anhand des für die Umsetzung ausgewählten Arbeitssystems analysiert (siehe auch Abschn. 8.2). Dies geschieht in drei Schritten für jede Kategorie des Arbeitssystems: 1) die aktuelle Ausgangssituation zum Projektstart, 2) der angestrebte Zielzustand des digitalisierten Arbeitssystems und – sofern bereits in Planung – 3) die Entwicklungsschritte, die hierfür notwendig sind, insbesondere die angestrebte Digitalisierungslösung. Mitunter sind nicht in allen Kategorien Veränderungen durch die Umsetzung der Pilotanwendung zu erwarten. Dies kann mithilfe der Kurzbeschreibung erkannt werden.

### **Potenzialanalyse in der Pilotanwendung und Einbindung der Mitarbeiter in den Planungsprozess**

Um die Mitarbeiter frühzeitig in die Planung der Pilotanwendung einzubinden, werden Interviews bei GRIMME durchgeführt [31]. Neben Mitarbeitern werden auch Führungskräfte zur aktuellen Situation im Unternehmen sowie zu den geplanten Veränderungen befragt. Das Ziel ist es, eine detaillierte Analyse des Istzustands zu erhalten, indem Bedenken, Wünsche und Ideen der Mitarbeiter erfasst und den Einschätzungen der Führungskräfte gegenübergestellt werden. Aus den Befragungsergebnissen können anschließend Implikationen für die Umsetzung der Pilotanwendung extrahiert werden.

Durch die Gegenüberstellung der Einschätzung von Mitarbeitern und Führungskräften können zudem Kommunikations- und Anpassungsbedarfe abgeleitet werden [35].

Im Rahmen der Interviews werden vier Bereiche adressiert: Technologie, Mitarbeiter, Digitalisierungsstrategie und Einführungsprozess. Im Bereich Technologie zeigen die Befragungsergebnisse, dass sowohl Mitarbeiter als auch Führungskräfte zu ähnlichen Einschätzungen hinsichtlich der technischen Ausstattung des Unternehmens kommen. Digitale Technologien werden bei GRIMME bereits in allen Unternehmensbereichen eingesetzt, wobei vielfältige Lösungen genutzt werden, z. B. das GRIMME-CONNECT-SYSTEM, das auch im Rahmen der Pilotanwendung als Grundlage der technischen Lösung fungiert. Die Weitergabe von Informationen über Systemschnittstellen hinweg und auch die Integration von Daten aus verschiedenen Systemlösungen in ein Gesamtsystem erfolgt im Unternehmen hingegen bisher nur teilweise automatisch. Dem möchte das Unternehmen durch die Pilotanwendung begegnen [35].

Das größte Potenzial der Pilotanwendung sehen Führungskräfte und Mitarbeiter dabei in der Steigerung der betrieblichen Effizienz und Kundenzufriedenheit. Auch der Arbeitsaufwand für Mitarbeiter soll sich deutlich reduzieren, da Prozesse vereinfacht und Fehler durch die digitale Informationsbereitstellung und –weitergabe vermieden werden können. Als größte Risiken bei der Umsetzung der Pilotanwendung wird vonseiten der Führungskräfte der Einführungszeitpunkt der technischen Lösung gesehen. Die Kursverwaltung ist stark saisonal geprägt, da die Kurstermine für das Folgejahr im Herbst bekanntgegeben werden und sich die Servicetechniker daraufhin für Schulungen anmelden. Daher sollte eine Einführung des KVS idealerweise im Sommer stattfinden. Die Mitarbeiter sehen neben dem Risiko des Systemausfalls auch die Möglichkeit, dass ineffiziente Arbeitsprozesse entstehen, falls nicht alle Mitarbeiter das neue System nutzen. So können parallele Arbeitsprozesse etabliert werden, die zu einem erhöhten Koordinationsaufwand führen würden.

Im Bereich Mitarbeiter werden die zuvor beschriebenen Elemente des Arbeitssystems sowohl in ihrem Ist- als auch in Ihrem Zielzustand betrachtet. Die bisherige Arbeitsaufgabe der Kursverwaltung wird von den Mitarbeitern meist als abwechslungsreich charakterisiert. Zwar sind die Aufgaben festgelegt, dennoch existiert eine zeitliche Flexibilität der Aufgabenbearbeitung. Zukünftig wird sich die Arbeitsaufgabe aus Sicht der Führungskräfte jedoch stark verändern, da die eigentliche Arbeitsaufgabe der manuellen Kursverwaltung entfällt und neue Tätigkeiten, beispielsweise die Ermittlung von Kompetenzbedarfen, entstehen. Dabei sehen Mitarbeiter und Führungskräfte gleichermaßen das Risiko, dass einzelne Mitarbeiter die neue Arbeitsaufgabe nicht akzeptieren oder überfordert sind. Dem soll frühzeitig mit entsprechenden Maßnahmen entgegengewirkt werden, wobei sowohl Führungskräfte als auch Mitarbeiter die Notwendigkeit sehen, Schulungen für alle Mitarbeiter anzubieten, um die neuen Arbeitsaufgaben und den Umgang mit dem KVS zu erlernen. Chancen für die Mitarbeiter entstehen, da der manuelle Arbeitsaufwand deutlich reduziert wird und Fehler vermieden werden können. Die so entstehenden zeitlichen Freiräume können für neue Arbeitsaufgaben genutzt werden, wodurch Entwicklungsmöglichkeiten geschaffen werden.

Hinsichtlich des geplanten Einführungsprozesses zeigen die Interviews, dass sowohl aus Mitarbeiter-, als auch aus Führungskräfte-sicht noch Verbesserungsmöglichkeiten bei der Einbindung in die Pilotanwendung und die Kommunikation der Veränderungen bestehen. Um dem entgegenzuwirken, planen die Führungskräfte die Mitarbeiter an der Entwicklung der technischen Lösung zu beteiligen und Testrunden mit Key Usern durchzuführen. In diesen Testrunden kann das Feedback der Key User erfasst und anschließend eingearbeitet werden. Zudem sollen die Mitarbeiter regelmäßig in außerordentlichen Terminen und monatlichen Meetings über den aktuellen Umsetzungsstand der Pilotanwendung informiert werden. Die gesammelten Informationen der Interviews werden in der Umsetzungsplanung genutzt.

### **Umsetzungsplanung der Pilotanwendung**

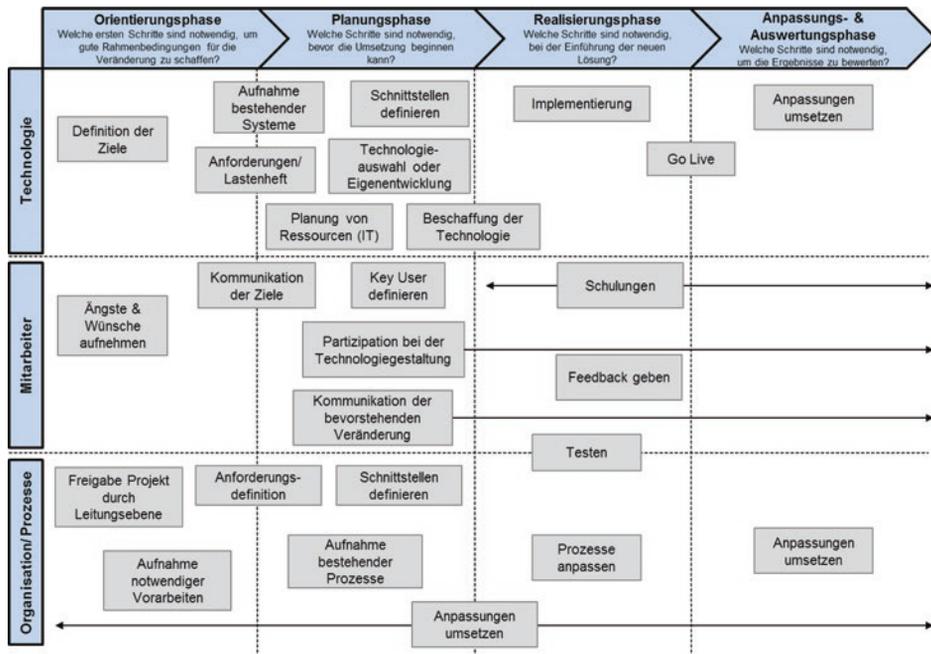
Für die Planung zur Umsetzung der Pilotanwendung werden drei Schritte durchgeführt. In einem ersten Schritt wird eine Grobplanung der Umsetzung basierend auf den zuvor durchgeführten Interviews erstellt, welche einen ersten Überblick über die Pilotanwendung gibt. In einem weiteren Schritt wird diese dann weiter konkretisiert und in ein Gantt-Chart überführt. Um die Zielerreichung der Umsetzung gewährleisten zu können wird im letzten Schritt eine Risikoanalyse durchgeführt. Die identifizierten Risiken werden bewertet und entsprechende Gegenmaßnahmen definiert [31].

Die Grobplanung basiert auf einem Veränderungsprozess nach [38], der vier Phasen unterscheidet: Orientierung, Planung, Realisierung und Anpassung. In der Orientierungsphase werden Trends und Entwicklungen im Umfeld des Unternehmens vor dem Hintergrund der Unternehmensstrategie analysiert, um mögliche Optionen für die Veränderung zu bestimmen. Aus diesen Überlegungen werden Ziele abgeleitet, die in der Planungsphase weiter konkretisiert werden. Dabei werden Anpassungsbedarfen im technologischen und organisatorischen Bereich und Mitarbeiterinteressen berücksichtigt. In der Realisierungsphase wird die Veränderung umgesetzt, bevor in der Anpassungsphase Verbesserungspotenziale ermittelt und umgesetzt werden. Basierend auf den Ergebnissen der Interviews wurde eine Grobplanung für GRIMME entwickelt, welche in Abb. 8.9 dargestellt ist.

Aufbauend auf der Grobplanung wird im Rahmen eines Workshops die Umsetzung weiter detailliert und in einem Gantt-Chart zusammengefasst (Abb. 8.10). Die Umsetzung erfolgt in vier Schritten: 1) Festlegen der Kern-Team Mitglieder, 2) Aufgaben mit Dauer festlegen und in Zeitplan einordnen, 3) Abhängigkeiten zwischen den Aufgaben identifizieren sowie 4) Identifikation des kritischen Pfades [20, 31].

Im ersten Schritt wird das Kern-Team festgelegt. Dieses besteht bei GRIMME intern aus einem Mitarbeiter im Aftersales, einem Mitarbeiter der GRIMME ACADEMY sowie aus Mitarbeitern aus der IT-Abteilung.

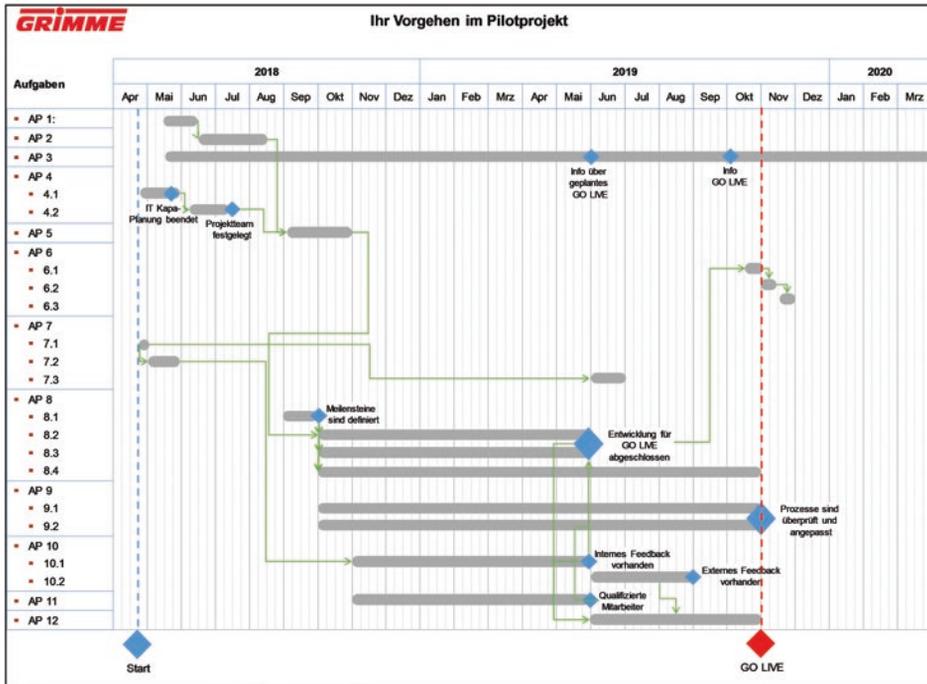
Im zweiten Schritt werden die notwendigen Aufgaben zur Umsetzung mit ihrer Dauer festgelegt und in einen Zeitplan eingeordnet. Zunächst werden die Aufgaben zur Umsetzung der Pilotanwendung gesammelt, wie z. B. die Planung der Ressourcen



**Abb. 8.9** Grobplanung der Pilotanwendung bei Grimm

in der IT, die Definition der Key User (intern und extern) oder auch die Durchführung von internen Schulungen für Key User während der Testphasen in der Entwicklung. Dabei werden mehrere Teilaufgaben zu einem Arbeitspaket (AP) zusammengeführt. Anschließend werden jeder Aufgabe eine Umsetzungsdauer sowie eine verantwortliche Person zugeordnet. Die genannte Person ist während der Umsetzung sowohl für die inhaltliche Bearbeitung der Aufgabe als auch für die Einhaltung des zugehörigen Zeitplans verantwortlich. Zur Erstellung des Zeitplans werden die identifizierten Aufgaben chronologisch geordnet und um fehlende Aufgaben ergänzt. Zusätzlich werden Meilensteine definiert, welche als Orientierungshilfen bei der Umsetzung dienen, da sie Zielzustände beschreiben, die bei der Umsetzung zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht werden müssen. Meist liegt zwischen den Meilensteinen ein relativ kurzer, zeitlicher Abstand, was das Überwachen des Fortschritts der Umsetzung erleichtert.

Im dritten Schritt werden die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Aufgaben identifiziert. Wenn ein Lastenheft entwickelt wurde und ein Projektteam aus der IT-Abteilung zur Umsetzung zur Verfügung steht, können erst Schnittstellen des einzuführenden IT-Systems hinsichtlich weiterer Technologien, der Organisation und vorhandener Prozesse definiert werden. Das IT-System wird externen Händlern erst nach dem GO LIVE, also der Inbetriebnahme des Systems unter realen Bedingungen, vorgestellt und somit auf dem Markt eingeführt.



**Abb. 8.10** Gantt-Chart der Pilotanwendung bei Grimme [35]

Im vierten Schritt wird der kritische Pfad anhand der zuvor identifizierten Abhängigkeiten bestimmt. Die längste Kette voneinander abhängenden Aufgaben stellen den kritischen Pfad dar. Verzögern sich Aufgaben auf dem kritischen Pfad, so verlängert sich das Gesamtprojekt, da die nachfolgenden Aufgaben nicht rechtzeitig begonnen werden können. Um dies zu vermeiden ist es wichtig, dass den Aufgaben auf dem kritischen Pfad eine hohe Priorität zugeordnet wird.

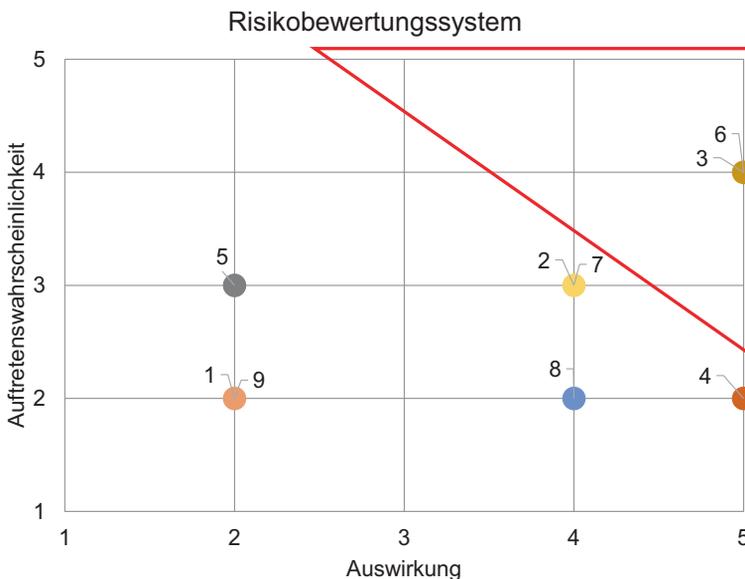
### Risikoanalyse

Um potenzielle Risiken bei der Umsetzung der Pilotanwendung identifizieren zu können, wird eine Risikoanalyse anhand der Kategorien Markt, Technik, Termin, Kosten, Qualität und Mensch durchgeführt [20]. Für GRIMME wurden neun Risiken identifiziert: Ein Technik-Risiko ist bei GRIMME z. B., dass das zu entwickelnde IT-System intern nicht anschlussfähig an andere Systeme ist oder zu langsam läuft. Weiterhin stellt die Entwicklerkapazität ein Termin-Risiko dar. Da im Unternehmen viele verschiedene Entwicklungsprojekte durchgeführt werden und dabei meistens die IT-Abteilung eingebunden ist, sind deren Kapazitäten eingeschränkt, was zu Verzögerungen führen kann. Weiterhin stellen notwendige Anpassungsmaßnahmen des IT-Systems auf Grundlage des Feedbacks der Key-User ein Termin-Risiko dar. Dadurch würde der Fortschritt im Projekt deutlich verzögert werden [31].

Die identifizierten Risiken werden anschließend bezüglich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit (P) und ihrer möglichen Auswirkungen (A) jeweils auf einer Skala von 1 (sehr gering) bis 5 (sehr hoch) bewertet. Je höher die Bewertung für A und P ist, desto wichtiger ist die Definition von Gegenmaßnahmen zur Vermeidung dieser Risikofaktoren [20]. Die Risiken 3 und 6 erhalten die höchste Bewertung hinsichtlich Auftretenswahrscheinlichkeit und Auswirkung (Abb. 8.11). Für beide werden entsprechende Gegenmaßnahmen zur Risikominimierung definiert.

### Anforderungsdefinition an die technische Lösung

In einem nächsten Schritt werden anhand der bereits definierten Ziele Anforderungen an eine technische Lösung abgeleitet und in einem Anforderungskatalog gesammelt. Dadurch kann die Anzahl der potenziell einsetzbaren Digitalisierungstechnologien verkleinert werden [2]. Die Anforderungen werden in Muss- und Kann-Kriterien unterteilt. Muss-Kriterien sind Anforderungen, welche zwingend erfüllt sein müssen, damit die Digitalisierungslösung funktionsfähig ist und die gesetzten Ziele erreicht werden können. Kann-Kriterien sind optional Anforderungen. Auch ohne ihre Erfüllung ist die Inbetriebnahme der Digitalisierungslösung möglich [25]. Meist bilden Kann-Kriterien Zusatzfunktionen ab, die zwar einen höheren Nutzen generieren, jedoch häufig auch mit überproportional erhöhten Kosten verbunden sind. Ein Auszug des Anforderungskatalogs von GRIMME für die Pilotanwendung ist in Tab. 8.1 dargestellt.



**Abb. 8.11** Risikoanalyse der Pilotanwendung

**Tab. 8.1** Auszug aus dem Anforderungskatalog von GRIMME [35]

Anforderungen	Muss-Kriterium	Kann-Kriterium
<b>Systemeinbindung</b>		
Kompatibel mit GRIMME CONNECT	X	
– Verknüpfung mit Schulungsinhalten	X	
– Single Sign On (für Händler)		
Verbindung mit MS Outlook	X	X
– Kalendereintrag zur Schulung für den Trainer		
– Kalendereintrag für Teilnehmer		
...		
<b>Personal/Personaldaten</b>		
Automatischer Abgleich Schulungshistorie + Schulungsanmeldungen	X	
– Kursvoraussetzungen definieren	X	
Schulungscoupons bei Anmeldung und Abrechnung berücksichtigen		X
...		
<b>Verwaltung</b>		
Automatischer Versand von Kursbestätigungen nach Kontrolle/manueller Freigabe	X	
Warteliste, wenn Kurs ausgebucht ist		X
...		
<b>Qualitätssicherung</b>		
Möglichkeit zum Feedback	X	
Kursbezogene Gestaltung der Feedbackbögen		X
...		
[Tabellenfußzeile – bitte überschreiben]		

### 8.3.2 Umsetzung bei GRIMME

Ausgehend von der analysierte Pilotanwendung und der geplanten Umsetzung wird bei GRIMME ein Team zur Implementierung der Pilotanwendung aus dem Aftersalesbereich und der IT-Abteilung zusammengestellt. Dieses interdisziplinäre Team gliedert die Pilotanwendung zu Beginn in einzelne Arbeitspakete (Abb. 8.12) analog zum Gantt-Chart aus dem vorherigen Kapitel (vgl. Abschn. 8.3.1, Abb. 8.10). Die Abarbeitung der einzelnen Arbeitspakete erfolgt mithilfe agiler Methoden, u. a. mit Scrum. Dabei werden die Aufgaben in kurzen Sprints mit GRIMME-internen Softwareentwicklern umgesetzt.

In einem ersten Schritt zur Umsetzung der Pilotanwendung wurde der Istzustand nochmals genauer betrachtet und notwendige Vorarbeiten zur Umsetzung der Pilotanwendung aufgenommen. Darauf aufbauend wurden die Anforderungen an ein

Arbeitspaket	Bezeichnung	Verantwortliche Person	Laufzeit
AP 1	Aufnahme notwendiger Vorbereiten → „Blick über den Tellerrand	Hr. Stubbe	15.05.-15.06.18
AP 2	Überarbeitung Anforderungen / Lastenheft (Technologie + Prozesse)	Hr. Stubbe	15.06.-15.08.18
AP 3	Regelmäßige Kommunikation der Ziele (intern)	Hr. Stubbe	01.04.18-30.03.20
AP 4	Ressourcenplanung IT	Hr. Pier / Hr. Stubbe / Hr. Rahner	23.04.-15.07.18
AP 4.1	Planung der Ressourcen in der IT	Hr. Rahner	23.04.-21.05.18
AP 4.2	Festlegen des Projektteams	Hr. Pier / Hr. Stubbe / Hr. Rahner	15.06.-15.07.18
AP 5	Schnittstellen definieren (Technologie + Orga / Prozesse)	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.09.-01.11.18
AP 6	Kommunikation der bevorstehenden Änderungen (extern)	Fr. Meyer	15.10.-01.12.19
AP 6.1	Kommunikationsform festlegen (extern)	Fr. Meyer	15.10.-21.10.19
AP 6.2	Planung der benötigten Schulungen (extern)	Fr. Meyer / Hr. Blömer	22.10.-11.11.19
AP 6.3	Durchführung der Schulungen (extern)	Fr. Meyer	12.11.-01.12.19
AP 7	Key User	Hr. Stubbe / Fr. Meyer	20.04.18-30.06.19
AP 7.1	Key User definieren (intern + extern)	Hr. Stubbe / Fr. Meyer	20.04.-30.04.18
AP 7.2	Absprache mit Key User (intern)	Hr. Stubbe / Fr. Meyer	01.05.-31.05.18
AP 7.3	Absprache mit Key User (extern)	Fr. Meyer	01.06.-30.06.19
AP 8	Entwicklung und Implementierung des Schulungsverwaltungssystems	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.09.18-30.10.19
AP 8.1	Festlegung der Meilensteine zur Entwicklung und Implementierung (IT-seitig)	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.09.-30.09.18
AP 8.2	Durchführung Entwicklung und Implementierung	Hr. Ruf	01.10.18-31.05.19
AP 8.3	Abnahme / Freigabe des entwickelten Systems (Zwischenstände, GO LIVE-Stand; Optimierungen)	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.10.18-31.05.19
AP 8.4	Testläufe der entwickelten Technologie	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.10.18-31.10.19
AP 9	Prozesse anpassen	Hr. Stubbe	01.09.18-31.10.19
AP 9.1	Prüfen der Prozesse auf Veränderung	Hr. Stubbe	01.09.18-31.10.19
AP 9.2	Prozesse nach Überprüfung entsprechend anpassen (optional)	Hr. Stubbe	01.09.18-31.10.19
AP 10	Feedback	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.10.18-31.08.19
AP 10.1	Feedback der Key User (intern)	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.10.18-31.05.19
AP 10.2	Feedback der Key User (extern)	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.06.-31.08.19
AP 11	Interne Schulungen für Key User über Testphasen in der Entwicklung	Fr. Meyer	01.10.18-31.05.19
AP 12	Anpassungen der Entwicklung / Implementierung für GO LIVE	Fr. Meyer / Hr. Ruf	01.06.-31.10.19

**Abb. 8.12** Zeitplan zur Entwicklung der Pilotanwendungen bei Grimme

IT-System aus technologischer, aber auch aus organisatorischer Sicht analysiert und in einem Lastenheft festgehalten. Das Lastenheft präzisiert und ergänzt den Projekt-auftrag. Im Lastenheft werden alle Anforderungen beschrieben, die der Auftraggeber an die Erreichung des Projektziels stellt. Folgende Angaben werden typischerweise berücksichtigt: 1) Einführung, 2) Beschreibung des Ist-Zustands, 3) Beschreibung des Soll-Konzepts, 4) Beschreibung von Schnittstellen, 5) Funktionale Anforderungen, 6) Nichtfunktionale Anforderungen, 7) Risikoakzeptanz, 8) Skizze des Entwicklungszyklus und der Systemarchitektur oder auch ein Struktogramm, 9) Lieferumfang, 10) Abnahmekriterien [14].

Basierend auf dem Lastenheft wurden die notwendigen Ressourcen in der IT geplant. Ein wesentlicher Meilenstein im Projektfortschritt bei GRIMME ist die Planung und Freigabe der Ressourcen in der IT-Abteilung. Aufgrund der hohen Priorität der Digitalisierung bei GRIMME stellen diese Ressourcen oft den Engpass bei der Umsetzung eines Projekts dar. Gleichzeitig wurde ein interdisziplinäres Team zur Umsetzung der Pilotanwendung zusammengestellt. Durch ein interdisziplinäres Team können verschiedene Anforderungen an das zu entwickelnde KVS berücksichtigt werden. Weiterhin werden interne Key User bestimmt, die die interne Situation bei GRIMME gut beurteilen können. Ziel ist es, Arbeitserleichterung durch Digitalisierungstechnologien zu erreichen, indem möglichst viele manuelle Tätigkeiten digitalisiert werden. Zeitgleich

muss aber abgewogen werden, welche Eigenschaften eine Hilfestellung bieten und welche eine Überbelastung durch zu viele Informationen zu Folge haben können. Durch die internen Key User erhielt das interdisziplinäre Team weitere Anforderungen und Verbesserungspotenziale für das KVS. Dadurch kann eine zielgerichtete Förderung durch die Anpassung an die Bedürfnisse des einzelnen Lernenden erreicht werden. So können die genutzten Medien z. B. angepasst werden an

- die jeweilige Arbeitssituation
- den Wissensstand
- den Qualifizierungsbedarf
- die Sprache [34].

Für weitere Tests werden externe Key User ausgewählt. Hierzu wählt GRIMME Mitarbeiter im Handel aus, die auch in der Vergangenheit schon bei der Entwicklung des Händlerportals GRIMME unterstützt oder auch Erfahrung mit Systemen anderer Hersteller haben. Die ersten Tests mit externen Key Usern ergeben weitere Anforderung an die Nutzerfreundlichkeit eines Systems sowie auch Erkenntnisse zu notwendiger Information, die dem Servicetechniker bereitgestellt werden sollen. Diese werden bei der Entwicklung des Frontends berücksichtigt.

Zur informationstechnischen Umsetzung und Implementierung des KVS werden Meilensteine definiert. Bis zu diesen Zeitpunkten soll ein festgelegter Entwicklungsstand erreicht sein, welcher dann abgenommen und freigegeben wird. Nach Freigabe dieses jeweiligen Entwicklungsstandes können keine weiteren grundlegenden Änderungen vorgenommen werden, sodass nur eine Weiterentwicklung bzw. Optimierung des Zustandes des KVS möglich ist. Die finale Freigabe des KVS erfolgt für das GO LIVE.

Parallel zur Entwicklung werden Testläufe des KVS mithilfe der Key User durchgeführt und das erhaltene Feedback wird bei der Weiterentwicklung berücksichtigt. Diese Testphasen dienen ebenfalls dazu, die Key User in der Anwendung des KVS zu schulen. Demnach sind die Key User zum Zeitpunkt des GO LIVE in der Lage, das entwickelte KVS im Alltag anzuwenden.

Ebenfalls parallel zur Entwicklung des KVS werden zusammenhängende organisatorische Prozesse wie z. B. Workflows oder auch bestehende Arbeitsschritte auf mögliche Veränderungen geprüft. Um einen reibungslosen Einsatz des KVS gewährleisten zu können, werden diese Veränderungen nach der Überprüfung entsprechend angepasst.

Um eine flächendeckende Nutzung des KVS im Händlerportal GRIMME CONNECT zu realisieren muss dessen Verfügbarkeit an die Händler kommuniziert und gegebenenfalls Schulungen zu dessen Nutzung geplant werden. Anhand des Feedbacks der zuvor definierten Key User können die Schulungsbedarfe und -inhalte abgeleitet und bei der Durchführung der Schulungen berücksichtigt werden. Schulungen können hierbei vor Ort oder auch im Rahmen des Händlerportals mithilfe einer Schritt-für-Schritt-Anleitung durchgeführt werden.

Während der Umsetzung der Pilotanwendung wird eine regelmäßige Kommunikation angestrebt, um so die Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber der neuen Technologie bzw. der Veränderung zu verbessern. Hierbei wird zu Beginn nicht nur die vom Management erarbeitete Vision an Mitarbeiter kommuniziert, sondern auch Erstinformationen zur anstehenden Pilotanwendung wie z. B. Name und Ziel der Pilotanwendung, strategischer Hintergrund, Meilensteine/Timing. Dabei ist die Informationstiefe von der Zielgruppe abhängig. Während der Realisierung der Pilotanwendung werden Erfolge offensiv kommuniziert. Nach der Umsetzung der Pilotanwendung werden die Erfolge konsolidiert und weitere Veränderungen eingeleitet. Weiterhin wird die Veränderungsbereitschaft in der Unternehmenskultur verankert [17, 22].

Zusätzlich zur Umsetzung der Pilotanwendung, wird das im Projekt InAsPro entwickelte Reifegradmodell angewandt (Abschn. 8.2) [29]. Anhand des resultierenden Digitalisierungsgrads können konkrete Handlungsbedarfe im Hinblick auf technologiegestützte Prozesse im Aftersales gewonnen werden. Basierend auf dem Gesamtergebnis und der entsprechenden Einstufungen hinsichtlich Digitalisierung können Tätigkeitsfelder der Abteilungen priorisiert und gezielt umgesetzt werden. Weiterhin können anhand des resultierenden Digitalisierungsgrads Informationen für die zu entwickelnde Digitalisierungsstrategie abgeleitet werden. Durch die Definition einer Digitalisierungsstrategie ergibt sich für den GRIMME-Aftersalesbereich eine gute Möglichkeit, die aktuellen und noch geplanten Digitalisierungsvorhaben auf Umsetzbarkeit und Zielsetzung zu prüfen. Anhand der Bewertung können diese geplanten Digitalisierungsvorhaben priorisiert werden.

Erste Einblicke in das KVS sind in Abschn. 8.4.1 dargestellt. Das KVS wird aktuell im GRIMME eigenen Händlerportal GRIMME CONNECT weiter umgesetzt, mit dem Ziel diese ab Herbst 2019 zu nutzen.

### 8.3.3 Unterstützende Methoden bei der Umsetzung

Im Rahmen der Pilotanwendung wird zwischen den beteiligten Abteilungen und Akteure Regelmeeting initiiert und durchgeführt. Durch den Austausch mit allen Beteiligten sollen Herausforderungen und mögliche Risiken frühzeitig identifiziert und bewältigt bzw. minimiert werden, bevor daraus Probleme entstehen können, die die Umsetzung der Pilotanwendung verzögern oder gefährden könnten. Weiterhin stehen die Abteilungen für fachlichen Input zur Verfügung, indem sie aktuelle Erkenntnisse einbringen und somit Lösungsalternativen aufzeigen können.

Zur Unterstützung der Regelmeetings wird ein Template verwendet, welches den jeweiligen aktuellen Bearbeitungsstand widerspiegelt (Abb. 8.13). und so einen schnellen Überblick zur Pilotanwendung ermöglicht [1]. Der Stand der inhaltlichen Bearbeitung sowie die noch zur Verfügung stehende Zeit werden mithilfe einer Ampel angezeigt. Sind beide Ampeln grün, so erfolgt die Umsetzung der Pilotanwendung nach dem vordefinierten Zeitplan. Eine gelbe Ampel bedeutet eine inhaltliche bzw. zeitliche

Status: TT/MM/JJJJ		AP Verantwortlicher: XXX
Inhalt	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Wichtigste Ergebnisse der letzten 4 Wochen
Zeit	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	▶ <Bitte ausfüllen>
Zielerreichung	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
High level Meilensteine		
Start: 04/2018		
IT Kapa-Planung beendet: 05/2018		
Projektteam festgelegt: 07/2018		
Meilensteine Entwicklung festgelegt: 09/2018		
Info über geplantes GO LIVE: 05/2019		
Entwicklung GO LIVE abgeschlossen: 05/2019		
Internes Feedback vorhanden: 05/2019		
Qualifizierte Mitarbeiter: 05/2019		
Externes Feedback vorhanden: 08/2019		
Info GO LIVE: 09/2019		
GO LIVE: 10/2019		
Prozesse überprüft und angepasst: 10/2019		
Projektende: 30.03.2020		
		Prioritäten der kommenden 4 Wochen
		▶ <Bitte ausfüllen>
Aktuelle Risiken		
▶ <Bitte ausfüllen>		

**Abb. 8.13** Template der Regelmeetings

Verzögerung der Umsetzung. Hier sollten entsprechende Maßnahmen zur Problemlösung identifiziert und ungesetzt werden. Eine rote Ampel spiegelt einen Stillstand der inhaltlichen Bearbeitung bzw. zeitliche Probleme wider. Die Zielerreichung der Umsetzung wird durch eine Prozent-Leiste visualisiert. Je weiter die Pilotanwendung fortgeschritten ist, desto weiter nach rechts wird der Balken verschoben. Eine Orientierung hierfür liefert auch der Meilensteinplan. So können die wichtigsten Zielzustände immer im Blick behalten und bei möglichen Abweichungen Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Neben den Statusanzeigen werden auch die inhaltlichen Aktivitäten genannt. Zum einen werden die wichtigsten Ergebnisse der vergangenen vier Wochen aufgezeigt und zum anderen die Prioritäten der kommenden vier Wochen. Für den folgenden Regeltermin vier Wochen später, werden die Inhalte neu eingefüllt. Im Idealfall werden die Aktivitäten aus den kommenden vier Woche zu den erledigten Aktivitäten der letzten vier Wochen. Ist dies nicht der Fall, wird geprüft wodurch die Verzögerung ausgelöst wurde und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um den Zeitplan weiterhin einzuhalten. Zusätzlich werden identifizierte Risiken aufgeführt, für die gegebene Lösungs- und Vermeidungsstrategien entwickelt werden.

## 8.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die erarbeiteten Ergebnisse der Pilotanwendung bei GRIMMEausführlich vorgestellt (Abschn. 8.4.1). Weiterhin werden die durch die Digitalisierung hervorgerufenen Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung (Abschn. 8.4.2)

sowie auf die Produktivität (Abschn. 8.4.3) näher untersucht und erläutert. Das Kapitel schließt mit dem Beitrag der Ergebnisse der Pilotanwendung zu übergeordneten Zielen des Förderschwerpunkts (Abschn. 8.4.4).

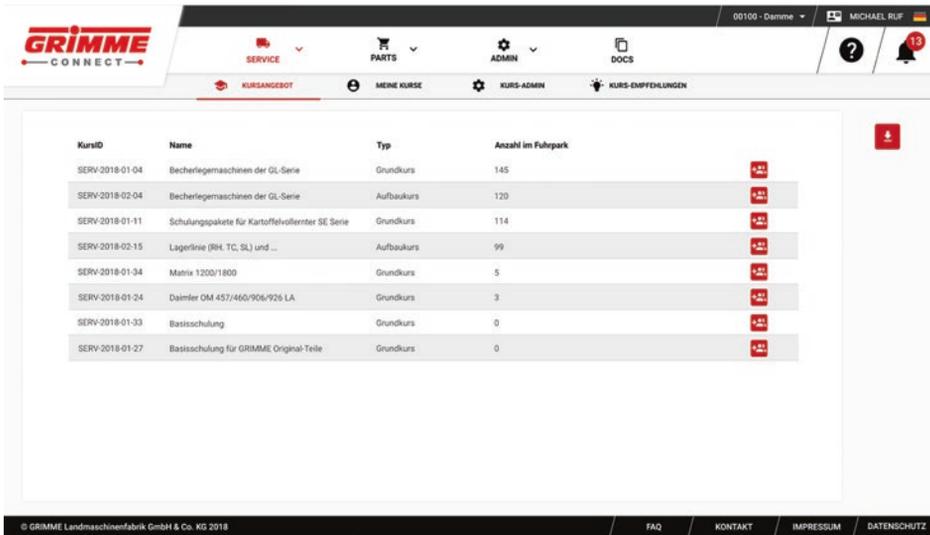
### 8.4.1 Darstellung der erarbeitenden Ergebnisse

Bereits im Projekt InnoServPro [1] entwickelte GRIMME ein Kompetenzkonzept, um zukünftig PSS mithilfe von individualisierten, verfügbarkeitsorientierten Geschäftsmodellen anbieten zu können. Dabei steht das Zusammenwirken von Sach- und Serviceprodukten, auf der Grundlage von intelligent vernetzten Produkten und Serviceprozessen im Fokus der Betrachtungen. Hierfür wurden die technisch-organisatorischen Rahmenbedingungen auf Service-seite (z. B. Kommunikationsanforderungen der Servicetechniker) in der Lebenszyklusphase des Aftersales betrachtet. Darauf aufbauend wurde in der Pilotanwendung in InAsPro ein IT-System entwickelt, mit dem Personalentwicklungsprozesse digital organisiert und auf die individuellen Bedarfe der Mitarbeiter abgestimmt werden können. Dabei wurde das IT-System an das bestehende Händlerportal (GRIMME CONNECT) angebunden.

Folgend werden nun die einzelnen Tätigkeits- und Informationsschritte aufgezeigt, die im Rahmen einer Schulungsanmeldung von Aftersales-Mitarbeitern in GRIMME CONNECT durchzuführen sind [35]. Bisher wurden Schulungsanmeldungen rein papierbasiert verarbeitet. Zunächst wurde der Seminarkatalog ausschließlich in gedruckter Form an potenzielle Schulungsteilnehmer verschickt. Daraufhin erfolgte eine Anmeldung per Fax, woraufhin eine Kursbestätigung manuell erstellt und versendet wurde. Die Kurs- und Ressourcenplanung erfolgte in einem separaten Planungstool ohne Schnittstellen zu anderen Systemen. Auch hier wurde eine Integration angestrebt. Zur Zielerreichung wurde ein KVS entwickelt, welches den papierbasierten Seminarkatalog von GRIMME unmittelbar ersetzt (Abb. 8.14). Hier erhält der potenzielle Kursteilnehmer eine Übersicht, welche Qualifikationsmöglichkeiten angeboten werden, wobei neben dem Kursniveau auch das Potenzial des Kursangebots für den jeweilige Händler und die Service-Angebote aufgezeigt werden.

Um den Unternehmen eine einfache Möglichkeit zu bieten, Schulungsteilnehmer anzumelden und bspw. Reisezeiten und Unterbringung zu planen, sind zu den Kursangeboten jeweils alle Termine, Orte und Verfügbarkeiten abgebildet (Abb. 8.15). Wollten potenzielle Kursteilnehmer diese Informationen in der Vergangenheit ermitteln, waren häufig umfangreiche Recherche per Telefon und E-Mail erforderlich. Durch das neue KVS kann die Geschwindigkeit des Informationsaustauschs zwischen GRIMME und den Partnern erheblich gesteigert und eine Schulungsplanung im Moment der Informationsbereitstellung ermöglicht werden.

Auch über die Schulungsbuchung hinaus bietet das KVS den Partnern einen Mehrwert, indem sich der verantwortliche Mitarbeiter des Partners u. a. einen Gesamtüber-

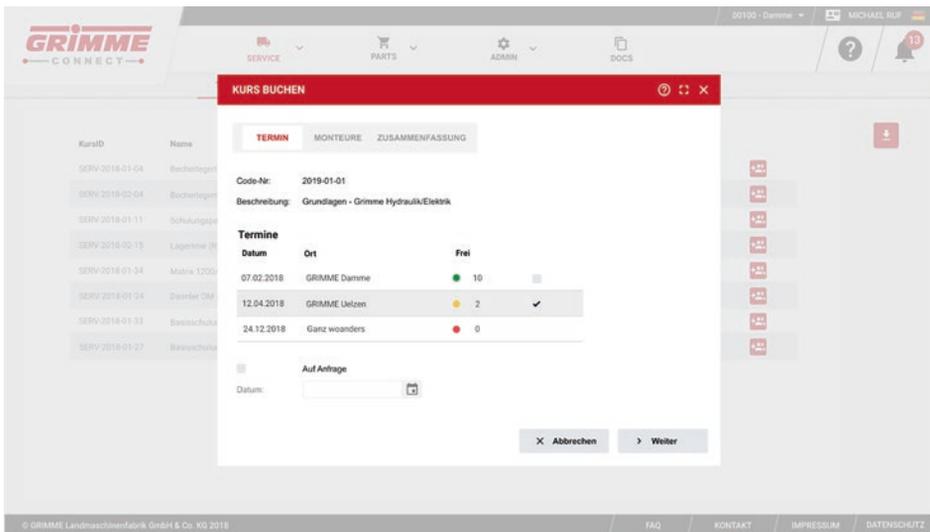


The screenshot shows the 'KURSANGEBOT' (Course Offer) section of the GRIMME CONNECT web application. The interface includes a top navigation bar with 'SERVICE', 'PARTS', 'ADMIN', and 'DOCS' menus, and a user profile for 'MICHAEL RUF'. The main content area displays a table of available courses with the following data:

KursID	Name	Typ	Anzahl im Fuhrpark
SERV-2018-01-04	Becherlegemaschinen der GL-Serie	Grundkurs	145
SERV-2018-02-04	Becherlegemaschinen der GL-Serie	Aufbaukurs	120
SERV-2018-01-11	Schulungspakete für Kartoffelvolleter SE Serie	Grundkurs	114
SERV-2018-02-15	Lagerfräse (RH, TC, SL) und ...	Aufbaukurs	99
SERV-2018-01-34	Matrix 1200/1800	Grundkurs	5
SERV-2018-01-24	Dämmer OM 457/460/906/926 LA	Grundkurs	3
SERV-2018-01-33	Basisschulung	Grundkurs	0
SERV-2018-01-27	Basisschulung für GRIMME Original-Teile	Grundkurs	0

Each row in the table has a red '+21' icon on the right side. The footer of the page contains the copyright notice '© GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG 2018' and links for 'FAQ', 'KONTAKT', 'IMPRESSUM', and 'DATENSCHUTZ'.

Abb. 8.14 Kursübersicht der verfügbaren Angebote



The screenshot shows the 'KURS BUCHEN' (Book Course) modal window in the GRIMME CONNECT web application. The window is titled 'KURS BUCHEN' and has tabs for 'TERMIN', 'MONTEURE', and 'ZUSAMMENFASSUNG'. The 'TERMIN' tab is active, displaying the following information:

Code-Nr.: 2019-01-01  
 Beschreibung: Grundlagen - Grimme Hydraulik/Elektrik

**Termine**

Datum	Ort	Frei
07.02.2018	GRIMME Damme	10
12.04.2018	GRIMME Uelzen	2
24.12.2018	Ganz woanders	0

Below the table, there is a section for 'Auf Anfrage' (On Request) with a 'Datum:' field and a calendar icon. At the bottom of the modal, there are buttons for 'Abbrechen' (Cancel) and 'Weiter' (Next).

The background shows the same course overview table as in Abb. 8.14, but it is partially obscured by the modal window. The footer of the page contains the copyright notice '© GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG 2018' and links for 'FAQ', 'KONTAKT', 'IMPRESSUM', and 'DATENSCHUTZ'.

Abb. 8.15 Verfügbare Plätze mit Ort der Durchführung

blick über die Anzahl der besuchten Schulungen je Monteur und Jahr verschaffen kann (Abb. 8.16). Um Kunden einen Anreiz zu bieten, an den Schulungen teilzunehmen, hat GRIMME ein Vergütungssystem etabliert. Es ermöglicht dem Partner bei der Abrechnung

**DETAILS FÜR KARTOFFELVOLLERNTER SE 260 (TYP.04110)**

FUHRPARK
MONTEURE
KURSE

Fähigkeiten je Monteur im Zeitlichen Verlauf

NAME	2013	2014	2015	2016	2018	Gesamt
Herr Beuke, Morten				1	1	2
Herr Kröger, Marek					1	1
Herr Martens, Cord	1	1	1	1		4
Herr Meyer, Alfred	1	1	1	1	1	5
Herr Schiller, Torsten	1	1	1	1	1	5
Herr Spreen, Dieter	1	1	1	1	1	5
<b>Gesamt</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>22</b>

**Abb. 8.16** Schulungshistorie als Gesamtübersicht pro Händler

seiner Arbeitseinsätze den Stundensatz um eine Stufe zu erhöhen, wenn mindestens ein Mitarbeiter des Partners eine entsprechende Schulung besucht hat. Dadurch profitiert der Partner von höheren Einkünften, während für GRIMME die Wahrscheinlichkeit steigt, dass Monteure an Schulungen teilnehmen.

Eine weitere Ansicht im Kursverwaltungssystem zeigt die Fähigkeiten je Monteur über mehrere Jahre an (Abb. 8.17). Häufig beruht die Grundqualifikation der Monteure auf einer Berufsausbildung zum Land- und Baumaschinemechaniker. Aufgrund der Bedarfe des Unternehmens oder den Entwicklungspotenzialen des Monteurs kann der Partner einen Qualifikationsaufbau planen. Mit Hilfe des KVS wird ersichtlich, welche Fähigkeiten der Monteur bereits erworben hat und ob eine Spezialisierung vorliegt.

Weiterhin kann der Händler im KVS seine ihm zugewiesenen Maschinen identifizieren und nach Maschinentyp sortieren (Abb. 8.18). Darin erkennt er dann im zeitlichen Verlauf die Anzahl des ausgewählten Maschinentyps. Diese Übersicht kann er mit den Fähigkeiten seiner Mitarbeiter abgleichen und ggf. Weiterbildungsbedarfe in einzelnen Technologiebereichen identifizieren. Aufgrund der zusätzlichen Kompetenz können Servicetätigkeiten übernommen werden die in der Vergangenheit nur vom Hersteller selbst oder besonders qualifizierter Mitarbeiter durchgeführt werden durften. Darüber hinaus bildet der Partner durch seine Mitarbeiter den hohen Qualitätsanspruch von GRIMME ab wofür der Kunde auch bereit ist einen höheren Stundensatz zu zahlen. Als dritte Säule reduziert ein Kompetenter Servicemitarbeiter durch schnelle Arbeits erledigung sowohl in Diagnose wie auch in der Reparatur die Stillstands Zeiten der Produkte beim Anwender. Somit kann der Partner mehr Service-Geschäft realisieren. Weiterhin hat der Partner durch die Systemanbindung an das Händlerportal GRIMME

**DETAILS FÜR MONTEUR "Jasper van dem Berg"**

KURSHISTORIE   FÄHIGKEITEN   AKTUELLE KURSE

Fähigkeiten im zeitlichen Verlauf

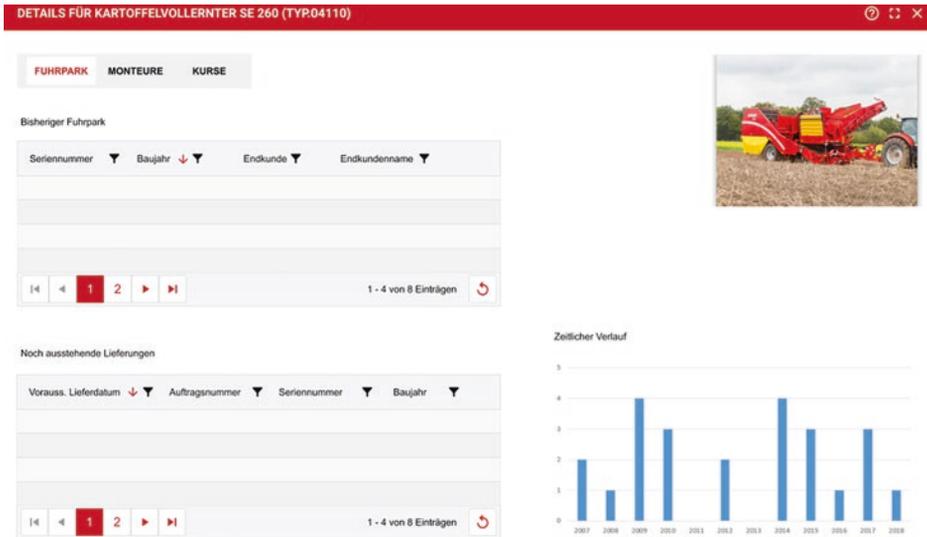
HRMSKILLID	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	Gesamt
TYP.01220	1					1	2	1	1	1	1	8
TYP.01230	1					1	2	1	1	1	1	8
TYP.01250	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	10
TYP.01270						1	1	1	1	1	1	5
TYP.02020			1			1	1	1				4
TYP.02030								1	1			2
TYP.02040			1			1	1	1				4
TYP.02100		1	1	1								3
TYP.02120		1	1	1								3
TYP.02200		1	1	1			1					4
TYP.02210		1	1	1			1	1	1			6
TYP.02220	1	1	1	1			1	1	1			7
TYP.02230							1	1	1			3
TYP.02300		1	1	1								3
TYP.02320	1	1	1	1								4
TYP.02400		1	1	1			1					4
TYP.02410		1	1	1			1					4
TYP.02430		1	1	1			1					4
TYP.02440		1	1	1			1					4
TYP.02460		1	1	1								3
TYP.02470		1	1	1								3
TYP.02480		1	1	1								3
TYP.02490		1	1	1			1	1	1			6
TYP.02510							1	1	1			3
TYP.02520							1	1	1			3
TYP.02521							1	1	1			3
TYP.02550								1	1			2
TYP.02600		1	1	1			1					4
<b>Gesamt</b>	<b>63</b>	<b>65</b>	<b>71</b>	<b>64</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>72</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>514</b>

**Abb. 8.17** Absolvierte Schulungen pro Mitarbeiter

CONNECT die Möglichkeiten sich einen Überblick über ausstehende Produktlieferungen zu verschaffen. Basierend auf den bestellten Produkten lassen sich ggf. zukünftige Weiterbildungsbedarfe der Mitarbeiter identifizieren.

### 8.4.2 Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung

Die beschriebenen Veränderungen bieten für GRIMME den Vorteil, dass Prozesse effizienter gestaltet werden und so nicht nur der Service für Kunden, sondern auch die Datenbereitstellung und –verarbeitung verbessert werden können. Gleichzeitig bietet die Umsetzung der Pilotanwendung das Potenzial, Aftersales-Mitarbeiter bei der Ausführung ihrer Arbeitsaufgabe zu entlasten. Papierbasierte, koordinations- und abstimmungsintensive Prozesse werden digitalisiert, wodurch Arbeitsschritte vereinfacht werden. Dadurch können Mitarbeiter die anfallenden Arbeitsaufgaben nicht nur in kürzerer Zeit erfüllen und somit Freiräume für neue Aufgaben erhalten. Auch Fehler werden ver-



**Abb. 8.18** Übersicht über Maschinen im Kundenstamm sowie folgende Maschinen

mieden, die früher durch das händische Übertragen von Informationen gemacht wurden. Durch die Digitalisierung des Arbeitsprozesses entstehen jedoch auch Risiken, denen GRIMME bei der Einführung des KVS begegnen musste. Übernimmt das IT-System zu viele der Arbeitsaufgaben von den Mitarbeitern, droht die Gefahr der Unterforderung und Monotonie. Die Arbeitsbelastung kann durch verringerte körperliche oder geistige Anforderungen so weit sinken, dass der mangelnde Trainingsreiz zu Abbau der Funktions- und Leistungsfähigkeit führen kann. Unterforderung kann dabei sowohl durch einen zu geringen Anspruch an die Qualifikationen des Mitarbeiters ausgelöst werden, als auch durch ein zu geringes Arbeitsvolumen [13]. Dem begegnet GRIMME dadurch, dass die Mitarbeiter weitere Aufgaben im Unternehmen übernehmen und so ihr Aufgabenspektrum erweitern.

Da das IT-System eine Vielzahl von Entscheidungen und Prozessen selbst ausführt, besteht die Gefahr, dass Mitarbeiter langfristig eine Technikabhängigkeit entwickeln. Dies geschieht, wenn die Interaktion von Menschen und Technik zu stark vertieft wird, sodass Arbeitsaufgaben ohne technische Unterstützung nicht mehr ausgeführt werden können [16]. Insbesondere für GRIMME stellt dies eine große Herausforderung dar. Die Firma fertigt und vertreibt komplexe, innovative technische Produkte, die von den Mitarbeitern ein ausgeprägtes technisches Verständnis, Analysefähigkeit sowie das Denken in vernetzten Prozessen fordern. Kontinuierliche Weiterbildungsangebote und ein intensiver Erfahrungsaustausch sind daher für das Unternehmen zwingende Voraussetzungen, um Wissen im Unternehmen zu halten und notwendige Kompetenzen weiter auszubauen.

### 8.4.3 Produktivitätswirkung bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Durch die Einführung des KVS kann GRIMME die Wettbewerbsfähigkeit im Aftersales deutlich steigern und die derzeitige Marktposition stärken. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse wird GRIMME im Aftersales des Unternehmens implementieren. Somit werden nach Umsetzung der Pilotanwendung die Kompetenzen der Mitarbeiter im Aftersales bezüglich Digitalisierung gestärkt und stetig ausgebaut. Durch das Einsetzen einer Qualifikationsmatrix kann für jeden Mitarbeiter ein individuelles Kompetenzkonzept erstellt werden.

Aufgrund der Produktivitätseinschätzung unterschiedlicher Mitarbeiter (Alter und Nutzung der Systeme) wird die Digitalisierungslösung der Kursverwaltung bei GRIMME und GRIMME Partnern rund 20 % Arbeitszeit in der Administration einsparen da es nun keine Systembrüche mehr durch papierunterstützte Arbeitsabläufe in der Kursauswahl gibt. Dies schließt auch einen positiven Produktivitätseffekt durch häufige Nutzung der Digitalisierungslösung durch die Prozess Innovation ein. Eine weitere Produktivitätswirkung kann sich in der GRIMME Gruppe durch Implementierung der Digitalisierungslösung im weltweiten Aftersalesnetzwerk bei Tochterunternehmen ergeben.

Im Rahmen der Produktivitätsbetrachtung wird es zunehmend wichtiger, nicht nur die Kommunikation mit Kunden zu verbessern, sondern auch einen reibungslosen Ablauf des Service beim Kunden sicherzustellen. Im besten Fall erreicht GRIMME eine Fehlerbehebung beim Kunden beim ersten Vor-Ort-Termin (sog. „First Visit Success“). Hierfür ist eine professionelle Durchführung des Service mit detaillierter Planung und Einsatzorganisation, ein definierter Service-Prozess mit ausreichenden Standards, ein zeitnahes Controlling der Leistungserbringung und eine ausreichende Nähe zum Kunden unverzichtbar [24].

### 8.4.4 Beitrag zu übergeordneten Zielen im Förderschwerpunkt

Durch die angestoßene anwenderorientierte Transformation der Aftersales-Prozesse soll die Digitalisierung zusammen mit den Mitarbeitern bestmöglich gestaltet werden. Die Maßnahmen sollen dazu beitragen das übergeordnete wirtschaftliche Verwertungsziel – die Verbesserung der Unternehmensprozesse – bei GRIMME erreicht wird.

Durch die Umsetzung der Pilotanwendung sammelt GRIMME wichtige Ergebnisse, die in weiteren internen Projekten in allen Produktlebenszyklusphasen von Bedeutung sein werden. Zudem wird aufgrund des gewonnen Erfahrungswissens ein Abschätzen der Potenziale und Risiken der Digitalisierung sowie die Erfolgsaussichten der Realisierung in unterschiedlichen Arbeitssystemen hinsichtlich *Mensch, Technik* und *Organisation* für GRIMME erleichtert.

Durch die Entwicklung eines Transformationskonzepts sollen humane und organisatorische Arbeitsbedingen geschaffen werden die zu einer positiven Produktivi-

tätswirkung führen wie im vorherigen Kapitel beschrieben. Die Ziele aus dem Projekt „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ werden auch unternehmensintern fokussiert. Digitalisierung kann Arbeit substituieren, nur ist es bei dieser Lösung gelungen durch sozialverträgliche Arbeitsgestaltung und ergonomische Arbeitsbedingungen die Produktivität zu steigern und schon in der Planung der Lösung sehr praxisnah zu bleiben um die Umsetzung sicher zu stellen.

Ein Transfer dieser wissenschaftlichen und praktischen Ergebnisse des Projekts und der Pilotanwendung in die Praxis, erfolgt zum einen im eigenen GRIMME-Aftersalesbereich aber auch in den internationalen Tochterunternehmen. Die Verbreiterung der Projekterkenntnisse wird zudem durch die Mitgliedschaft in Arbeitskreisen, wie z. B. im Verband-Deutscher-Maschinen-und-Anlagenbau (VDMA)-Arbeitskreis „Kundendienst“ [5], sichergestellt. Somit können mittelfristig auch andere Unternehmen von den Ergebnissen des Projekts InAsPro profitieren.

---

## 8.5 Lessons learned

Im Rahmen der Analyse des Istzustands im Arbeitssystem mittels einer Potenzialanalyse können Stärken und Schwächen aufgedeckt werden. Anhand der Gegenüberstellung der Einschätzung der Mitarbeiter und der Führungskräfte wurden Kommunikations- und Anpassungsbedarfe abgeleitet. Die Planung der Umsetzung mittels eines Gantt-Charts ermöglichte das Sichtbarwerden der Aufgaben sowie ihrer Dauer zur Abarbeitung. Weiterhin wurden Zusammenhänge zwischen den Aufgaben visualisiert, sodass deutlich wurde, welche Aufgaben zuerst bearbeitet werden müssen, bevor eine andere begonnen werden kann. Zusätzlich kann durch die bildliche Darstellung der Arbeitsfortschritt dargestellt werden, sodass jeder Beteiligte zu jedem Zeitpunkt einen Orientierungspunkt hat. Dies dient gleichzeitig einem Soll-Ist-Vergleich. Die Durchführung einer Risikoanalyse ermöglichte den Mitarbeitern, sich mit potenziellen Risikosituationen im Projekt auseinander zu setzen, zu bewerten und geeignete Gegenmaßnahmen zu formulieren. Dadurch konnten die potenziellen Risikosituationen und ihre Bewertung dokumentiert und transparent dargestellt werden. Durch eine Priorisierung der Risiken konnte bereits bei kleinen Anzeichen proaktiv gegengesteuert und dadurch unnötige Aufwände wie z. B. Zeit oder Kosten vermieden werden.

Zur Umsetzung der Pilotanwendung wurde ein interdisziplinäres Team gebildet, in dem ebenfalls Mitarbeiter vertreten waren, welche später die gewählte Digitalisierungstechnologie anwenden. Dadurch konnten die Mitarbeiter ihre konkreten Mitarbeiterwünsche an die Digitalisierungstechnologie direkt miteinbringen und Experten aus den jeweiligen Abteilungen konnten zur Umsetzung das relevante Wissen beisteuern. Somit konnten die Mitarbeiter aktiv involviert und motiviert werden. Bei der Umsetzung der Pilotanwendung hat sich eine transparente, regelmäßige Kommunikation bei GRIMME bewährt. Die Regelmeetings wurden im zweiwochen-Rhythmus mit allen beteiligten Abteilungen und Akteuren durchgeführt, sodass die Abarbeitung der einzelnen Arbeits-

pakete agil erfolgte. Dies ermöglichte den Beteiligten einen direkten Einfluss auf den Projektverlauf und führte zu effektiveren Arbeitsabläufen und schnelleren Ergebnissen. Weiterhin konnte bei Problemstellungen während der Umsetzung der Pilotanwendung flexibel und schnell reagiert werden.

---

## 8.6 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Globalisierung hat der deutsche Maschinenbau mehr als eine Milliarde Maschinen weltweit verkauft. Digitale Komponenten sowie eine digitale Infrastruktur ermöglichen eine globale Vernetzung dieser Maschinen, sodass sie weltweit von jedem Ort aus betrieben werden können [19]. Damit wird das traditionelle Wissen um Handel und Technik (Mechanik) infrage gestellt. Allerdings stellt dies gleichzeitig eine Chance für den Maschinenbau dar. Die Anforderungen der Digitalisierung können bereits in der Produktentwicklung berücksichtigt werden, sodass produzierte Maschinen mit digitalen Komponenten ausgestattet und mit digitaler Infrastruktur verknüpft werden. Dadurch bleibt der deutsche Maschinenbau wettbewerbsfähig und kann den Wirtschaftsstandort Deutschland nachhaltig sichern REF\_Ref15649822 \n \h [3].

Die Digitalisierung wird in vielen Bereichen Wettbewerbsvorteile generieren. Sie wird aber auch die Beschäftigten vor die Herausforderung stellen, mit den verwendeten Digitalisierungstechnologien umzugehen. Dazu müssen die Mitarbeiter keine IT-Spezialisierung durchlaufen, sie sollten aber die grundlegenden Funktionen der Digitalisierungstechnologien kennen und den Umgang mit diesen beherrschen. GRIMME wird Weiterbildungsangebote für den Umgang mit Digitalisierungstechnologien schaffen, die die Mitarbeiter aktiv und auch selbstverantwortlich wahrnehmen können. Die Informationsweitergabe und Begründung, warum und wie eine neue Digitalisierungstechnologie eingeführt wird, kann schon zur Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter beitragen. Die transparente Kommunikation dient aber auch dazu, Ängste und Befürchtungen abzubauen und dadurch die Motivation und die Begeisterung der Mitarbeiter für die Digitalisierung zu steigern. Zur Unterstützung des Angebots im Umgang mit Digitalisierungstechnologien bedarf es eines Kompetenzkonzeptes, basierend auf dem Digitalisierungsgrad des Unternehmens. Wird dieser nicht berücksichtigt, droht eine unzureichende Vorbereitung auf die Digitalisierung, da die Wissensvermittlung und der Kompetenzaufbau am Digitalisierungsgrad ansetzen. Erfahrungswissen und Intuition sind Bestandteile der Kompetenzen und Erfahrungswissen erfolgt aus Beschäftigung mit diesen Themen [33].

Das Wissen über den Digitalisierungsgrad des Unternehmens oder der betroffenen Arbeitsbereiche ist die Voraussetzung zur Innovation durch Digitalisierung. Es kann sonst passieren, dass eine Digitalisierungslösung gewählt wird die aufgrund der Mitarbeiter, Kompetenzen oder bereits vorhandener Technologien gar nicht umsetzbar ist. Dieser Digitalisierungsgrad wird vor der Auswahl der Technologie ermittelt und führt damit zum „Lernenden Unternehmen“ von Prozessinnovation durch Digitalisierung.

Durch den im Projekt InAsPro entwickelten Technologieatlas erhalten unternehmensinterne Führungskräfte eine Orientierungshilfe bei der Prüfung verschiedener Digitalisierungslösungen. Die Beschreibung der Vor- und Nachteile auf Unternehmens- und Mitarbeiterebene unterstützt dabei die Auswahl geeigneter Digitalisierungslösungen und zeigt Potenziale und Risiken auf [30,36]. GRIMME strebt eine Verankerung des Technologieatlas für weitere Verwendung und Nutzung im Unternehmen über das Projektende hinaus an.

Das entwickelte Transformationskonzept begleitet den Einführungsprozess von Digitalisierungstechnologien in produzierenden Unternehmen. Bei sorgfältiger Nutzung des ausgearbeiteten Transformationskonzeptes unter Berücksichtigung der betroffenen Mitarbeiter können Fehlentscheidungen frühzeitig vermieden werden und Digitalisierungstechnologien erfolgreich eingeführt werden [27].

---

## Literatur

1. Aurich JC, Koch W, Kölsch P, Herder CF (2019) Entwicklung datenbasierter Produkt-Service Systeme. Ein Ansatz zur Realisierung verfügbarkeitsorientierter Geschäftsmodelle. Springer Vieweg
2. Balzert H (2009) Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
3. BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2018) Digitalisierung in der Landwirtschaft. Chancen nutzen – Risiken minimieren. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/DigitalpolitikLandwirtschaft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/DigitalpolitikLandwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile). Zugegriffen: 2. August 2019
4. Broy M (2010) Cyber-Physical Systems. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
5. Buschle P, Thomin P (2019) Arbeitskreis Kundendienst. <https://www.vdma.org/v2viewer/-/v2article/render/15963925>. Zugegriffen: 2. August 2019
6. Dupont S, Siedler C, Tafvizi Zavareh M, Göbel JC, Zink KJ (2019) Entwicklung eines modularen und partizipativen Transformationskonzepts zur Digitalisierung produzierender Unternehmen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Arbeit interdisziplinär. analysieren – bewerten – gestalten. GfA-Press. Dortmund
7. Dupont S, Siedler C, Tafvizi Zavareh, Schröder D (2020) Technologieatlas zur Auswahl von Digitalisierungslösungen. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 53–66
8. Dupont S, Tafvizi Zavareh M, Zeihsel F, Zink KJ (2020) Entwicklung von Digitalisierungsstrategien. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 37-52
9. Ehemann T, Tafvizi Zavareh M, Dupont S, Siedler C, Sinnwell C, Pier M, Prezer A, Jenne F, Batzler F, Zink KJ, Göbel JC (2019) Entwicklung eines Transformationskonzepts zur Digitalisierung in Produktionsunternehmen. In: Bauer, Wilhelm; Stowasser, Sascha; Mütze-Niewöhner, Susanne; Zanker, Claus; Brandl, Karl-Heinz. TransWork – Arbeit in der digitalisierten Welt. Stand der Forschung und Anwendung im BMBF-Förderschwerpunkt. Fraunhofer IAO. Stuttgart120–129

10. Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG (2019) Grimme Gruppe. <https://www.grimme.com/de/page/grimmegroup>. Zugegriffen: 29. Juli 2019
11. Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG (2019). Selbstfahrende Ertetechnik – 22 Tonenn-Bunker | MAXTRON 620. <https://www.grimme.com/de/producttypes/selbstfahrende-ertetechnik-ruebe/maxtron-620>. Zugegriffen: 2. August 2019
12. Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG (2019) Über 150 Jahre Grimme. <https://www.grimme.com/de/page/grimmegroup-history>. Zugegriffen: 2. August 2019
13. Hammer W (Hrsg) (1997) Wörterbuch der Arbeitswissenschaft. Begriffe und Definitionen. Hanser, München
14. DIN 69901–5, Januar 2009 (2009) Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe
15. DIN EN ISO 6385:2016, Dezember 2016 (Dezember 2016) Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen
16. Junghaus A, Wodrich K, Jeretin-Knopf M, Haas R (2014) Unterstützung von Wartungsarbeiten durch verteilte AR-Assistenzsysteme. In: Weidner R, Redlich T (Hrsg) Erste Transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg, S. 328–338
17. Kotter JP (2007) Leading Change. Why Transformation Efforts Fail. Harvard Business Review (1):3- 11
18. Kuster J, Bachmann C, Huber E, Hubmann M, Lippmann R, Schneider E, Schneider P, Witschi U, Wüst R (2019) Handbuch Projektmanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
19. Maaß W, Pier M, Moser B (2018) Smart Services in der Landwirtschaft. In: Meyer, Kyrrill; Klingner, Stephan; Zinke, Christian. Service Engineering. Springer Fachmedien Wiesbaden. Wiesbaden, S.167–181
20. Mascitelli R, Thurnes CM (2015) Mastering lean product development. Geschwindigkeit, Erfolg und Qualität der Produktentwicklung mit Lean-Events maximieren. Synnovating, Kaiserslautern
21. Mont O (2004) Product-service systems. Panacea or myth? Dissertation, Lund University
22. Pfannenberg J (2007) Veränderungskommunikation: Unterstützung von Change-Prozessen. In: Piwinger M, Zerfaß A (Hrsg) Handbuch Unternehmenskommunikation. Gabler Verlag, Wiesbaden
23. Pier M (2015) Standards of mobile Service and predictions for 2020 regarding aftersales, taking an example from Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. 73. International Conference Agricultural Engineering
24. Posselt T, Fuhrmann O, Hofmann B, Danzinger F Industrial Services Excellence Circle. Abschlussbericht 2015, Nürnberg
25. Rupp C, die SOPHISTen (2014) Requirements-Engineering und -Management. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München
26. Schlick CM, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
27. Siedler C, Dupont S, Ehemann T, Zeihsel F, Sinnwell C, Aurich JC (2020) Vorgehen zur Anwendung des Transformationskonzepts. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 67-79
28. Siedler C, Dupont S, Tafvizi Zavareh M, Zeihsel F, Aurich JC (2020) Das Transformationskonzept im Überblick. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 17-20

29. Siedler C, Dupont S, Tafvizi Zavareh M, Zeihsel F, Aurich JC (2020) Reifegradmodell zur Bestimmung des Digitalisierungsgrads. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 21-36
30. Siedler C, Sadaune S, Tafvizi Zavareh M, Eigner M, Zink KJ, Aurich JC (2019) Categorizing and selecting digitization technologies for their implementation within different product lifecycle phases. *Procedia CIRP* 79, S. 274–279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.066>
31. Siedler C, Sinnwell C, Aurich JC (2020) Herangehensweise zur pilothaften Konzeptumsetzung. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 83-88
32. Sinnwell C, Siedler C, Pier M, Jenne F, Braun S, Schuck M, Zeihsel F, Zink KJ, Göbel JC, Aurich JC (2020) Ausgangssituation und Ziele des Projekts InAsPro. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 5-14
33. Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“ (2019) Kompetenzen der Beschäftigten in 4.0-Prozessen. In: Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“. Umsetzungshilfen Arbeit 4.0. Künstliche Intelligenz für die produktive und präventive Arbeitsgestaltung nutzen: Hintergrundwissen und Gestaltungsempfehlungen zur Einführung der 4.0-Technologien. Prodis GbR. Heidelberg, S.123–129
34. Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“ (2019) Lernformen 4.0. In: Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“. Umsetzungshilfen Arbeit 4.0. Künstliche Intelligenz für die produktive und präventive Arbeitsgestaltung nutzen: Hintergrundwissen und Gestaltungsempfehlungen zur Einführung der 4.0-Technologien. Prodis GbR. Heidelberg, S.137–142
35. Stubbe M, Dupont S (2020) Digitalisierung für Mensch und Organisation im Aftersales. In: Aurich JC, Pier M, Siedler C, Sinnwell C (Hrsg) Bedarfsgerechte Digitalisierung von Produktionsunternehmen. Ein modulares Transformationskonzept als praxisorientierter Ansatz. Synnovating, Kaiserslautern. S. 89-100
36. Tafvizi Zavareh M, Sadaune S, Siedler C, Aurich JC, Zink KJ, Eigner M (2018) A Study on the socio-technical Potentials of industrial Product Development Technologies for future digitized integrated Work Systems. *Proceedings of NordDesign 2018*
37. TUK – Technische Universität Kaiserslautern (2017) Verbundforschungsprojekt InAsPro. Integrierte Arbeitssystemgestaltung in digitalisierten Produktionsunternehmen. <https://www.inaspro.de/>. Zugegriffen: 2. August 2019
38. Zink KJ, Kötter W, Longmuß J, Thul MJ (2015) Veränderungsprozesse erfolgreich gestalten. 2. Auflage, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

