

 AUTONOMIK
INDUSTRIE 4.0

Steffen Wischmann
Ernst Andreas Hartmann *Hrsg.*

Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung

OPEN

 Springer Vieweg

Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung

Steffen Wischmann · Ernst Andreas Hartmann
Hrsg.

Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung

Herausgeber

Steffen Wischmann
Institut für Innovation und Technik (iit) in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Berlin
Deutschland

Ernst Andreas Hartmann
Institut für Innovation und Technik (iit) in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Berlin
Deutschland



ISBN 978-3-662-49265-9 ISBN 978-3-662-49266-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6>

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

Springer Vieweg

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2018. 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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Inhaltsverzeichnis

1	Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Szenarien aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten	1
	Steffen Wischmann und Ernst Andreas Hartmann	
1.1	Gestaltungskonzepte für die Zukunft der Arbeit gespiegelt in Forschungs- und Entwicklungsprojekten.	1
1.2	Szenarien aus der Praxis	3
1.3	Aspekte und Perspektiven zukünftiger Arbeitssystemgestaltung	6
2	Prognostizierte Veränderungen der gestaltbaren Arbeitssystemdimensionen	9
	Steffen Wischmann und Ernst Andreas Hartmann	
2.1	Einleitung	9
2.2	Gestaltungsdimensionen	11
2.2.1	Bedarf.	11
2.2.2	Hierarchische Vollständigkeit	11
2.2.3	Sequentielle Vollständigkeit von Tätigkeiten.	20
2.2.4	Kontrolle und Autonomie.	22
2.2.5	Querschnittliche und gegenstandsspezifische Aspekte: Interdisziplinarität und IT-Kenntnisse	26
2.3	Gesamtbetrachtung der folgenden Anwendungsbeispiele.	26
	Literatur.	29
3	Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefendatenerkennung	33
	Andreas Bächler, Liane Bächler, Sven Autenrieth, Hauke Behrendt, Markus Funk, Georg Krüll, Thomas Hörz, Thomas Heidenreich, Catrin Misselhorn und Albrecht Schmidt	
3.1	Motivation	33
3.2	Forschungsprojekt motionEAP	35
3.2.1	Ziele und Herausforderungen	36

3.2.2	Technische Umsetzung	37
3.2.3	Pädagogisch-Psychologische Aspekte für die Nutzung von Assistenzsystemen	39
3.2.4	Ethische Implikationen von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz	40
3.3	Auswirkungen von Assistenzsystemen für manuelle Montagetätigkeiten auf betriebliche Funktionen	42
3.3.1	Betroffene Tätigkeiten	42
3.3.2	Bewertungskriterien	44
3.3.3	Auswirkungen auf betriebliche Funktionen	44
3.3.4	Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen	45
3.4	Danksagung	47
	Literatur	47
4	Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage	51
	André Hengstebeck, Kirsten Weisner, Jochen Deuse, Jürgen Rossmann und Bernd Kuhlenkötter	
4.1	Einleitung	51
4.2	Industrielle Servicerobotik in der Kleinteilemontage	52
4.3	Entwicklung eines hybriden Gestaltungskonzepts	54
4.4	Mögliche Auswirkungen des hybriden Systems auf betriebliche Rollen am Beispiel der Kleinteilemontage	56
4.5	Fazit	58
4.6	Danksagung	59
	Literatur	60
5	Erweiterte Horizonte – Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit	63
	Benedikt Mättig, Jana Jost und Thomas Kirks	
5.1	Projektbeschreibung	63
5.2	Anwendungsfall	64
5.3	Betroffene Tätigkeiten	66
5.4	Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen	69
5.5	Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen	71
6	Soziotechnische Assistenzsysteme für die Produktionsarbeit in der Textilbranche	73
	Mario Löhner, Jacqueline Lemm, Daniel Kerpen, Marco Saggiomo und Yves-Simon Gloy	
6.1	Einleitung	73
6.2	Demografischer Wandel in der deutschen Textilindustrie	74

6.3	Herausforderungen aus dem demografischen Wandel	75
6.4	Methodisches Vorgehen der Untersuchung	76
6.5	Anwendungsfall Weberei für technische Textilien	77
6.6	Arbeitsunterstützung durch Assistenzsysteme in der Weberei	78
6.7	Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen.	81
6.8	Zusammenfassende Betrachtung	82
6.9	Danksagung	84
	Literatur	84
7	Lernförderliche Arbeitssysteme für die Arbeitswelt von morgen	87
	Roman Senderek	
7.1	Wandel der Arbeitswelt	87
7.2	ELIAS in der Praxis: Kurzvorstellung der Unternehmen	90
7.3	Vorstellung der betrieblichen Teilprojekte.	91
	7.3.1 HELLA KGaA Hueck & Co.: Qualifizierungskonzept für technologiebezogene Kompetenzen.	91
	7.3.2 FEV GmbH: Modellbasierte Applikation von Steuergeräten	94
7.4	Zu erwartende Auswirkungen der erarbeiteten bzw. durchgeführten Maßnahmen	96
	7.4.1 Betroffene Tätigkeiten und Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen bei der HELLA KGaA Hueck & Co.	96
	7.4.2 Betroffene Tätigkeiten und Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen bei der FEV GmbH.	98
7.5	Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen.	99
	7.5.1 Auswirkungen bei der HELLA KGaA Hueck & Co.	100
	7.5.2 Auswirkungen bei der FEV GmbH.	102
7.6	Fazit	102
	Literatur	104
8	Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten.	107
	Carsten Ullrich, Axel Hauser-Ditz, Niklas Kreggenfeld, Christopher Prinz und Christoph Igel	
8.1	Einleitung	107
8.2	Zielsetzung und technische Lösung.	108
8.3	Betriebliche Anwendungsfälle.	111
	8.3.1 Hintergrund/Motivation	111
	8.3.2 Beschreibung der assistierten Prozesse und der Unterstützung.	112
	8.3.3 Veränderungen im Arbeitsprozess durch die Einführung des Assistenzsystems.	114

8.4	Projektansatz: Beteiligungsorientierte Entwicklung und Implementierung von Assistenzlösungen	117
8.4.1	Beteiligung der Benutzer an der Systemgestaltung	118
8.4.2	Absicherung des betrieblichen Rahmens durch Einbindung der Arbeitnehmersvertretung.	119
8.4.3	Betrieblicher Regulierungsbedarf im Rahmen der Systemimplementierung	120
8.5	Zusammenfassung	121
8.6	Förderkennzeichnung.	122
	Literatur.	122
9	Der Mensch in Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme	123
	Susanne Wolf, Christiane Dollinger, Andreas Hees und Gunther Reinhart	
9.1	Analyse der Umgebung für autonome Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme am Beispiel des Forschungsprojekts InnoCyFer	125
9.1.1	Auswirkungen des Einsatzes autonomer PPS-Systeme auf die Arbeit von Produktionsmitarbeitern	125
9.1.2	Handlungsempfehlungen für den Einsatz autonomer PPS-Systeme	128
9.2	Lösungsansätze für eine erfolgreiche Interaktion des Menschen mit autonomen Systemen.	129
9.3	Zusammenfassung und Fazit	131
	Literatur.	132
10	ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen	133
	Ulrich Reiser, Uwe Müller, Mike Ludwig, Mathias Lüdtkke und Yingbing Hue	
10.1	ReApp in a Nutshell.	133
10.1.1	Das ReApp-Projektconsortium	135
10.1.2	Der ReApp-Lösungsansatz	135
10.1.3	Auswirkungen auf betriebliche Funktionen.	136
10.2	Anwendungsfall: Bestücken in der Elektroindustrie – „Automatisches Verlöten von LED-Stripes“	138
10.2.1	Unternehmen	138
10.2.2	Beschreibung des Anwendungsfalls	138
10.2.3	ReApp-Lösungsansatz: mobile, roboterbasierte Lötstation.	139
10.3	Auswirkungen auf die betrieblichen Abläufe und die Personalstruktur	141
10.3.1	Auswirkungen für den Endanwender	141
10.3.2	Auswirkungen für den Systemintegrator.	144

10.4 Zusammenfassung und Fazit	145
10.5 Danksagung	145
Literatur	146
11 Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“	147
Wilhelm Bauer, Sebastian Schlund und Tobias Strölin	
11.1 Ausgangssituation	147
11.2 Notwendigkeit für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“	149
11.3 Modellansatz	151
11.4 Weiterentwicklung und Ausblick	155
11.5 Danksagung	156
Literatur	157
12 Die Zukunft der Arbeit im demografischen Wandel	159
Wenke Apt und Marc Bovenschulte	
12.1 Einleitung	159
12.2 Alterung und Schrumpfung der Erwerbsbevölkerung	160
12.3 Kognitive Leistungsfähigkeit im Alter	162
12.4 Technische Assistenzsysteme für ältere Belegschaften	164
12.5 Beispiele für Assistenz- und Tutorensysteme in der Arbeitswelt	166
12.6 Inklusion von Menschen mit Behinderungen	168
12.7 Inklusion von Menschen mit Migrationshintergrund	169
12.8 Ausblick: Der Wettlauf zwischen demografischem und digitalem Wandel	171
Literatur	171
13 „Social Manufacturing and Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion	175
Hartmut Hirsch-Kreinsen, Michael ten Hompel, Peter Ittermann, Johannes Dregger, Jonathan Niehaus, Thomas Kirks und Benedikt Mättig	
13.1 Einleitung	175
13.2 Stand der Forschung: Entwicklungstrends und Widersprüche	176
13.3 Konzeptionelle Perspektive: Industrie 4.0 als sozio-technisches System . . .	180
13.4 Schnittstellen zwischen Technologie, Mensch und Organisation in Industrie 4.0	183
13.4.1 Schnittstelle zwischen Technologie und Mensch	183
13.4.2 Schnittstelle zwischen Technologie und Organisation	185
13.4.3 Schnittstelle zwischen Mensch und Organisation	187
13.5 Ausblick: Leitbild der digitalisierten Arbeit in der Industrie 4.0	188
Literatur	190

14 Lernförderliche Arbeitsorganisation in der Industrie 4.0	195
T. Mühlbradt, P. Kuhlang und T. Finsterbusch	
14.1 Herausforderung „Lernen“ in der Industrie 4.0	195
14.2 Lernförderlichkeit	196
14.3 Arbeitsorganisation	197
14.4 Potenziale der Arbeitsorganisation in Bezug auf Lernförderlichkeit	198
14.5 Gestaltungsansätze lernförderlicher Arbeitsorganisation für Industrie 4.0 ..	199
14.6 Lernförderlichkeit als Strategie	201
Literatur	203
15 Decision Support Pipelines – Durchgängige Datenverarbeitungsinfrastrukturen für die Entscheidungen von morgen	207
Anne Meyer, Stefan Zander, Rico Knapper und Thomas Setzer	
15.1 Einleitung	207
15.2 Durchgängige Datenverarbeitungskette	209
15.2.1 Eigenschaften und Anforderungen	209
15.2.2 Decision Support Pipeline – Manifestation einer durchgängigen Datenverarbeitungskette	211
15.3 Anwendungsszenarien	216
15.3.1 Supergrid Logistics	216
15.3.2 Entscheidungsunterstützung bei der Produktionsplanung	217
15.3.3 Predictive Maintenance	218
15.4 Zusammenfassung	218
Literatur	219
16 Gerechtigkeit in flexiblen Arbeits- und Managementprozessen	221
Gregor Engels, Günter W. Maier, Sonja K. Ötting, Eckhard Steffen und Alexander Teetz	
16.1 Einleitung	221
16.2 Gerechtigkeitsaspekte in Entscheidungsprozessen von automatisierten Produktionsabläufen	223
16.3 Prozessunterstützung	225
16.4 Szenario: Mensch-Roboter-Team	226
16.5 Zusammenfassung und Ausblick	229
Literatur	230
17 Technologie, Organisation, Qualifikation	233
Ernst Hartmann und Steffen Wischmann	
17.1 Einleitung	233
17.2 Was können wir über zukünftige Technologie, Organisation und Qualifikationen wissen?	234
17.2.1 Überblick – ein methodischer Vorschlag	234

17.2.2 Technologie-Roadmaps identifizieren und nutzen.	235
17.2.3 Generische Anforderungen an Qualifikationen	238
17.2.4 Qualitative Qualifikationsbedarfe: Erste Hypothesen	240
17.2.5 Organisationsszenarien	240
17.2.6 Technologie/Branchen-Matrizen	242
17.3 Fazit	243
Literatur.	245

Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Szenarien aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten

1

Steffen Wischmann und Ernst Andreas Hartmann

1.1 Gestaltungskonzepte für die Zukunft der Arbeit gespiegelt in Forschungs- und Entwicklungsprojekten

Der hier vorliegende Band ist einerseits eine in sich abgeschlossene, konzeptionell für sich stehende Publikation, zugleich kann er aber auch verstanden werden als zweiter Band zu dem bereits vorliegenden Sammelband „Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0“.¹

In dieser ersten Publikation wurden grundlegende Perspektiven, Herausforderungen, Technologiefelder sowie Forschungs- und Entwicklungsstrategien für die Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 dargestellt. Über die einzelnen Beiträge aus Wirtschaft, Sozialpartnerorganisationen und Wissenschaft hinweg lassen sich zentrale Thesen dieses ersten Bandes wie folgt zusammenfassen:

- Die Zukunft der Arbeit ist gestaltbar und gestaltungsbedürftig. Es gibt keinen technologischen Determinismus – die Folgen der unter „Industrie 4.0“ subsumierten neuen Technologien für Arbeitswelt und Arbeitsmarkt entstehen nicht unmittelbar aus Merkmalen dieser Technologien selbst, sondern aus den Anwendungs- und Einsatzmodellen für diese Technologien, aus Modellen und Szenarien der Gestaltung von Arbeit auf gesellschaftlicher, organisationaler und individueller, auf den Einzelarbeitsplatz bezogener Ebene.

¹ Botthof, A., & Hartmann, E. A. (Hrsg.) (2015). *Zukunft der Arbeit*. Berlin.

S. Wischmann (✉) · E.A. Hartmann
Institut für Innovation und Technik, Steinplatz 1, 10623 Berlin, Deutschland
e-mail: wischmann@iit-berlin.de; hartmann@iit-berlin.de

- Hinsichtlich dieser Folgen für Arbeitswelt und Arbeitsmarkt besonders bedeutsame Aspekte dieser Anwendungs- und Einsatzszenarien beziehen sich auf die zu Grunde liegenden Organisationsmodelle. Hier können zwei paradigmatische Modelle unterschieden werden. Das eine Modell stellt eine Substitution menschlicher Arbeit durch Technik in den Vordergrund (Automatisierungsszenario). Die Aufgabengestaltung orientiert sich an weitgehender Arbeitsteilung, so werden etwa operative und dispositive Aufgaben in der Regel verschiedenen Beschäftigten zugewiesen. Die Qualifikationsstruktur im Unternehmen tendiert zur Polarisierung: Hoch Qualifizierten auf der einen Seite stehen niedrig Qualifizierte auf der anderen Seite gegenüber; diese Spaltung vergrößert sich in diesem Szenario tendenziell.
- Ein alternatives Modell betrachtet Technik eher als Mittel zur Unterstützung und Verstärkung menschlicher Fähigkeiten (Werkzeugsszenario). Die Aufgabenteilung ist hier weniger stark ausgeprägt, operative und dispositive Tätigkeiten werden stärker gemischt, insbesondere in dem Sinne, dass operative Tätigkeiten mit dispositiven Tätigkeitsanteilen angereichert werden. Die Qualifikationsstruktur im Unternehmen ist weniger stark polarisiert, es besteht eher ein allgemeiner Trend zur Höherqualifizierung. Niedriger qualifizierte Tätigkeiten werden entweder durch neue Aufgabenverteilung aufgewertet oder durch Automatisierung obsolet. Das „Füllen von Automatisierungslücken“ mit menschlicher Arbeit findet sich deutlich weniger als im Automatisierungsszenario.
- In engem Zusammenhang mit diesen Organisationsmodellen lassen sich Prinzipien progressiver Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0 auf unterschiedlichen Aggregationsstufen formulieren. Ein übergeordnetes Gestaltungsprinzip ist die lernförderliche Arbeitsorganisation. Teilaspekte der lernförderlichen Arbeitsorganisation betreffen zunächst die Vollständigkeit von Arbeitstätigkeiten. Arbeitstätigkeiten sind hierarchisch vollständig, wenn sie anspruchsvolle und Routineaufgaben in angemessenen Anteilen verbinden. Sie sind sequentiell vollständig, wenn planerische, organisierende, ausführende und kontrollierende Tätigkeitsanteile an einem Arbeitsplatz kombiniert sind. Weitere Aspekte der Lernförderlichkeit sind Autonomie – Handlungs- und Entscheidungsfreiräume – sowie Transparenz: Kenntnis über die Ergebnisse der eigenen Arbeit und Kenntnis über andere, verbundene Arbeitsprozesse im Unternehmen.
- Lernförderliche Arbeitsorganisation ist zugleich innovationsförderliche Arbeitsorganisation. Dies hat einmal damit zu tun, dass mit komplexen Aufgaben höhere Kompetenzniveaus der Beschäftigten einhergehen. Das erleichtert sowohl die Wahrnehmung *externer* Innovationsimpulse (z. B. neue Bearbeitungsverfahren) wie auch die interne Verarbeitung, Umsetzung und Verbreitung dieser Innovationsimpulse. Zweitens erhöht die höhere Lernfähigkeit auch die Wahrscheinlichkeit, dass *intern* (z. B. im Zuge kontinuierlicher Verbesserungsprozesse) Innovationen erdacht und umgesetzt werden können.
- Die der Industrie 4.0 zu Grunde liegenden Technologien lassen sich beschreiben als verteilte, (semi-)autonome, intelligente und vernetzte cyber-physikalische Systeme. Diese technologischen Grundmerkmale finden sich einerseits in für die Industrie typischen Technologiebereichen (z. B. Produktionssysteme, Robotik, Logistiksysteme),

aber auch in anderen Wirtschaftszweigen (z. B. autonome Landmaschinen in der Landwirtschaft, Anwendungen der Künstlichen Intelligenz im Dienstleistungsbereich).

- Die technologischen Eigenschaften der cyber-physikalischen Systeme der Industrie 4.0 implizieren besondere Potenziale einer progressiven Arbeitsgestaltung. Dies liegt zunächst in der Mächtigkeit und Plastizität dieser Technologien begründet, was sie für die Umsetzung einer großen Palette möglicher Arbeitsgestaltungsmodelle geeignet erscheinen lässt. Ein besonderer Aspekt der Industrie 4.0 ist der Datenreichtum. Eine Vielzahl dezentraler und autonomer Sensoren erfasst in Echtzeit große Datenmengen, die durch neue Techniken der Datenverarbeitung analysiert und visualisiert werden können. Solche Analyse- und Visualisierungstools sind wichtige Elemente einer Gestaltungsstrategie, die Technik als Verstärker und Unterstützer menschlicher Fähigkeiten begreift.
- Neben diesen Potenzialen bestehen auch Risiken. Industrie 4.0 ist letztlich auch ein Automatisierungskonzept und damit anfällig für grundlegende Probleme der Automatisierung. Ein solches grundlegendes Problem zeigt sich in den sogenannten Automatisierungsdilemmata oder -paradoxien: Durch Automatisierung verschieben sich menschliche Tätigkeiten vom aktiven Steuern der Systeme zur Überwachung automatischer Regelung und zum Einspringen in Situationen, die der Automat nicht beherrscht. Solche Situationen sind tendenziell eher komplex. Mit einer solchen komplexen Situation sehen sich nun Menschen konfrontiert, die aus zwei Gründen nicht gut darauf vorbereitet sind, diese Situationen zu meistern. Erstens hat der Mensch diese Situation nicht selbst herbeigeführt und ist deswegen aktuell nicht „im Bilde“; dies ist ein Problem des Kurzzeitgedächtnisses. Zweitens fehlt durch die Automatisierung die Übung im aktiven Steuern des Systems und damit degradieren die Fähigkeiten, die zur Systemsteuerung notwendig sind; dies ist ein Problem des Langzeitgedächtnisses, das u. a. durch Simulatortraining adressiert werden kann. Für das Problem des Kurzzeitgedächtnisses – das „im Bilde sein“ über den aktuellen Systemzustand – gibt es Gestaltungsmethoden für automatisierte Systeme wie etwas das Ecological Interface Design, das Möglichkeiten anbietet, den Menschen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen in der Regelschleife des (semi-)automatischen Systems zu halten.

Diese theoriegeleiteten Überlegungen zur Gestaltung von Arbeit in Industrie 4.0 werden im hier vorliegenden Band bezogen auf ganz konkrete technisch-organisationale Lösungen, wie sie in industrienahen Forschungs- und Entwicklungsprojekten realisiert werden. Diesen Projekten ist der Hauptteil dieses Bandes gewidmet.

1.2 Szenarien aus der Praxis

Alle Szenarien, die in den Projekten entwickelt werden, lassen sich mit einem einheitlichen Beschreibungsmodell im Hinblick auf die Implikationen für die Arbeitsgestaltung darstellen. Dieses Beschreibungsmodell umfasst folgende Kategorien:

1. Bedarf: Wie wird sich das technisch-organisationale Szenario (bspw. eine konkrete Einsatzform von kollaborativen Robotern) auf den Bedarf nach verschiedenen Qualifikationsprofilen (z. B. Facharbeiter, Meister, Ingenieure) auswirken?
2. Hierarchische Vollständigkeit: Wie wird sich das Szenario auswirken hinsichtlich
 - Monotonie und komplexen Aufgaben?
 - problemlösenden und Optimierungsaufgaben?
 - Lernen in der Arbeit?
3. Sequentielle Vollständigkeit: Wie wird sich das Szenario auswirken hinsichtlich
 - Planungsaufgaben?
 - Kommunikation und Kooperation?
4. Kontrolle und Autonomie: Wie wird sich das Szenario auswirken hinsichtlich
 - der Kontrolle des Menschen über seine Arbeitssituation?
 - der Selbstbestimmung, den Handlungs- und Entscheidungsspielräumen in der Arbeitssituation?
5. Querschnittliche und gegenstandsspezifische Aspekte: Wie wird sich das Szenario auswirken hinsichtlich
 - der Interdisziplinarität in der Arbeitssituation?
 - der Bedeutung von IT-Kenntnissen?

In einem einleitenden Kapitel stellen Steffen Wischmann und Ernst Hartmann diese Beschreibungsdimensionen vor und präsentieren eine integrierte Betrachtung der Auswirkungen hinsichtlich dieser Dimensionen über alle Praxisprojekte.

In einem ersten Praxisbeispiel stellen Andreas Bächler, Liane Bächler, Sven Autenrieth, Hauke Behrendt, Markus Funk, Georg Krüll, Thomas Hörz, Thomas Heidenreich, Catrin Misselhorn und Albrecht Schmidt Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefendatenerkennung vor. Konkret geht es um ein Assistenzsystem für manuelle Montageprozesse, das im vom BMWi geförderten Forschungsprojekt motionEAP entwickelt wurde. Neben der technischen Umsetzung werden die pädagogischen, psychologischen und ethischen Aspekte für die Nutzung dieses Assistenzsystems diskutiert. Ein besonderer Aspekt bezieht sich darauf, wie solche Systeme dazu beitragen können, leistungsgewandelte und leistungsgeminderte Menschen besser in die Arbeitswelt zu integrieren.

Ein zweites Szenario bezieht sich auf die industrielle Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage. André Hengstebeck, Kirsten Weisner, Jochen Deuse, Jürgen Rossmann und Bernd Kuhlenkötter berichten im Kontext des BMWi-geförderten Forschungsprojekts MANUSERV über die Entwicklung einer webbasierten Planungsumgebung, welche die Potenziale industrieller Robotersysteme mit den spezifischen Anforderungen manueller Arbeitssysteme und -prozesse verknüpft. Im konkreten Anwendungsfall wird die Montage eines Einbauradios mit Touch-Display, das auf Basis einer konkreten Produktspezifikation des Kunden hergestellt wird, betrachtet. Dabei werden die Potenziale der Nutzung von Leichtbau-Servicerobotern untersucht.

Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt SmARPro (Smart Assistance for Humans in Production Systems) wird ein System entwickelt, das über einheitliche und standardisierte Schnittstellen Daten aller umgebenden Systeme erfasst und diese in der SmARPro-Plattform zu kontextsensitiven Informationen aufbereitet. Diese werden dem Mitarbeiter über Wearables wie beispielsweise Datenbrillen, Smart Watches, Smartphones oder Tablets angezeigt. Benedikt Mättig, Jana Jost und Thomas Kirks beschreiben Anwendungsfälle im Bereich der Logistik, wo beispielsweise Kommissionierern und Wareneingangskontrolleuren ihren jeweiligen Rollen und der Situation angepasste Informationen in ihre Datenbrillen eingeblendet werden.

Mit den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeit in einer Weberei beschäftigen sich Mario Löhner, Jacqueline Lemm, Daniel Kerpen, Marco Saggiomo und Yves-Simon Gloy im Kontext der vom BMBF geförderten Nachwuchsforschungsgruppe SozioTex an der RWTH Aachen. In dieser Nachwuchsforschungsgruppe wurde eine interdisziplinäre Methode zur Entwicklung soziotechnischer Assistenzsysteme in der textilindustriellen Produktionsarbeit entwickelt. Der konkret beschriebene Anwendungsfall bezieht sich auf eine Weberei für technische Textilien, wo auf industriellen Webmaschinen beispielsweise Sicherheitsgurte für die Automobilbranche hergestellt werden. Dort wird ein Assistenzsystem zur Arbeitsunterstützung untersucht, das sich auf ein Tablet als mobiles Endgerät in Verbindung mit Augmented Reality (AR) stützt.

Roman Senderek präsentiert Ergebnisse des vom BMBF geförderten Verbundprojekts ELIAS (Engineering Lernförderlicher Industrieller Arbeitssysteme) anhand der Anwendungsfälle der HELLA KGaA Hueck & Co. und der FEV GmbH, zweier der größten Unternehmen aus dem deutschen Automotive-Sektor. In dem Projekt wird ein Konzept entwickelt, das das Lernen im Prozess der Arbeit in bestehende oder zukünftige Arbeitssysteme integriert. Die beiden Beispiele zeigen, dass Maßnahmen zur betrieblichen Weiterbildung eine immer größere Bedeutung gewinnen. Beide Unternehmen reagieren auf diesen Wandel mit dem verstärkten Einsatz des arbeitsnahen Lernens, in Form unterschiedlicher Lernlösungen.

„Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten“ ist das Thema von Carsten Ullrich, Axel Hauser-Ditz, Niklas Kreggenfeld, Christopher Prinz und Christoph Igel. Im Verbundprojektes APPSist, das vom BMWi gefördert wird, geht es um die Entwicklung mobiler, kontextsensitiver und intelligent-adaptiver Assistenzsysteme, welche die Mitarbeiter beim Wissens- und Kompetenzerwerb in der Interaktion mit Maschinen auf dem Shopfloor unterstützen. Im konkreten Anwendungsszenario soll der Wechsel eines Werkstoffes in einer teilautomatisierten Montagelinie durch eine angeleitete Montagekraft mithilfe von Assistenz durchgeführt werden. Durch die Assistenzsysteme sollen also an- oder ungeleitete Mitarbeiter/Innen dazu befähigt werden, komplexere Prozesse selbstständig und effizient durchzuführen.

Das Projekt InnoCyFer wird vom BMWi gefördert. Susanne Vernim, Christiane Dollinger, Andreas Hees und Gunther Reinhart berichten über die Entwicklung eines Planungs- und Steuerungssystems für eine autonome, auf cyber-physischen Systemen basierende Produktion. Die Produktionsplanung und -steuerung wird hier über einen sogenannten

bionischen Scheduler, der auf einem Ameisenalgorithmus basiert, mit dem physischen Produktionssystem gekoppelt. Der Produktionsplaner wird über die Planungsvorschläge oder Steuerungsentscheidungen des bionischen Schedulers informiert und kann bei Bedarf die gewünschte Möglichkeit auswählen oder bewerten. Dadurch kann er steuernd eingreifen und zu jeder Zeit Produktionsentscheidungen durch eine transparente Aufbereitung nachvollziehen.

Ebenfalls vom BMWi gefördert wird ReApp – wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen; dieses Projekt hat Werkzeuge und Modelle für die Entwicklung wiederverwendbarer Softwarebausteine (Apps) für Roboter zum Gegenstand. Im Beitrag von Ulrich Reiser, Uwe Müller, Mike Ludwig Mathias Lüttke und Yingbing Hue wird die Bestückung von Durchsteckbauelementen auf Leiterplatten als Szenario betrachtet. Dieser Prozess ist, trotz generell hoher Automatisierungsgrade bei der Bestückung von Leiterplatten, immer noch zum großen Teil Handarbeit. Als Lösung wurde hier ein automatischer LötKolben mit Lötdrahtvorschub als Bestandteil einer mobile Einheit konzipiert, die mit einem Leichtbauroboter, allen nötigen Steuereinheiten und auch Sicherheitseinrichtungen ausgestattet werden kann.

Alle diese Praxisbeispiele werden nach den am Anfang dieses Kapitels dargestellten Kriterien bzw. Beschreibungsdimensionen dargestellt. Dadurch wird es möglich, die unterschiedlichen Szenarien nach einheitlichen Maßstäben zu vergleichen und einen Eindruck über mögliche Implikationen und Auswirkungen von konkreten Implementierungen von Industrie 4.0 zu gewinnen.

1.3 Aspekte und Perspektiven zukünftiger Arbeitssystemgestaltung

Neben den Praxis-Szenarien aus aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekten werden einige übergreifend bedeutsame Aspekte und Perspektiven von Industrie 4.0 in weiteren Beiträgen dargestellt.

Wilhelm Bauer, Sebastian Schlund und Tobias Strölin stellen zunächst das arbeitsplatznahe Beschreibungsmodell für die Arbeitswelt Industrie 4.0 vor, das auch schon den Darstellungen der Praxis-Szenarien im Hauptteil dieses Bandes zu Grunde lag. Dieses Modell wird im Rahmend des GMA-Fachausschusses 7.22 „Arbeitswelt Industrie 4.0“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik aufgegriffen und weiterentwickelt.

Wenke Apt und Marc Bovenschulte stellen die Frage der Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0 in den Kontext des demografischen Wandels und diskutieren vor diesem Hintergrund die Relevanz von Assistenz- und Tutorensystemen in der Arbeitswelt. Apt und Bovenschulte plädieren dafür, zur Bewältigung des demografischen Wandels Systeme zur technischen Unterstützung zu entwickeln, die das Ziel einer befähigenden Digitalisierung anstelle einer substituierenden Automatisierung haben.

Ein Leitbild von sozialer, human- und kommunikationsorientierter Produktion und Logistik steht im Zentrum des Beitrags von Hartmut Hirsch-Kreinsen, Michael ten

Hompel, Peter Ittermann, Johannes Dregger, Jonathan Niehaus, Thomas Kirks und Benedikt Mättig. Zentral für eine solche Entwicklungsperspektive von Arbeit sind Tätigkeiten mit weitgehenden Gestaltungsmöglichkeiten und der Nutzung intelligenter Assistenzsysteme, vollständige Gesamtaufgaben, Lernförderlichkeit und neue Formen der Selbstorganisation bei dezentraler Steuerung.

Das viele Beiträge dieses Bandes prägende Thema der lernförderlichen Arbeits- und Organisationsgestaltung wird von Thomas Mühlbradt, Peter Kuhlmann und Thomas Finsterbusch ausführlich und im Zusammenhang diskutiert. Die Autoren betrachten Lernförderlichkeit als Kernelement einer unternehmerischen Strategie, die darauf abzielt, systematisch intellektuelles Kapital in den drei Dimensionen Human-, Struktur- und Beziehungskapital zu entwickeln.

Eine wesentliche Funktion im Kontext von Industrie 4.0 besteht darin, aus einer großen Menge an Daten Grundlagen für gute unternehmerische Entscheidungen zu gewinnen. Anne Meyer, Stefan Zander, Rico Knapper und Thomas Setzer präsentieren daher das Konzept der Decision Support Pipeline als Vision einer datengetriebenen System- und Werkzeuginfrastruktur. Sie demonstrieren Anwendungen dieses Konzepts in den Bereichen Logistik, Produktionsplanung und Predictive Maintenance.

Die völlig zu Unrecht selten thematisierte Frage nach Gerechtigkeit in flexiblen Arbeits- und Managementprozessen stellen Gregor Engels, Günter W. Maier, Sonja K. Ötting, Eckhard Steffen und Alexander Teetz. Während Gerechtigkeitswahrnehmungen bisher fast ausschließlich in der Mensch-Technik-Interaktion untersucht wurden, wird zunehmend überlegt, wie Prinzipien der Gerechtigkeit auch in die Mensch-System-Interaktion übertragen werden können. Dies ist eine der Fragestellungen, die im NRW Fortschrittskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschen-zentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ behandelt werden.

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.



Steffen Wischmann und Ernst Andreas Hartmann

2.1 Einleitung

In den folgenden Kapiteln werden aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte vorgestellt, die exemplarisch aufzeigen, wie die Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – bezogen auf ganz spezifische Anwendungsszenarien – aussehen könnte. Diese Beispiele erheben – auch in ihrer Gesamtheit – keinen Anspruch auf Repräsentativität für die Arbeitswelt der Zukunft. Sie sollen vielmehr exemplarisch und prototypisch aufzeigen, welche prinzipiellen Ansatzpunkte und Dimensionen der Gestaltung zukünftiger Arbeitssysteme und -prozesse im Hinblick auf die Gestaltungspraxis von Bedeutung sind. Dadurch sollen zugleich grundlegende Konzepte der Gestaltung der Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 (z. B. Botthof und Hartmann 2015) konkretisiert und hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit erprobt werden. Deswegen orientieren sich alle Beiträge an einem gemeinsamen Satz von Beschreibungs- und Gestaltungsdimensionen, die aus den genannten grundlegenden Konzepten abgeleitet sind.

In früheren Publikationen wurde besonders die Lernförderlichkeit von Arbeit als ein Leitmerkmal guter Arbeitsgestaltung herausgestellt (Hartmann 2005; Mühlbradt 2015; Hartmann und Garibaldo 2011; Henning et al. 1994). Dies lässt sich mehrfach begründen. Erstens ist angesichts des demografischen Wandels und längerer Erwerbsbiografien in Kombination mit beschleunigter technischer Innovation eine zunehmende Bedeutung des lebenslangen Lernens offensichtlich, wobei zugleich das informelle Lernen im

S. Wischmann (✉) · E. A. Hartmann

Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Steinplatz 1, 10623 Berlin, Deutschland

e-mail: wischmann@iit-berlin.de; hartmann@iit-berlin.de

Arbeitsprozess – ergänzend zu formalem und nicht-formalem Lernen in Weiterbildungseinrichtungen – besondere Aufmerksamkeit verdient (Erpenbeck et al. 2007).

Zweitens sind die spezifischen Merkmale lernförderlicher Arbeit den grundlegenden Merkmalen guter, menschengerechter Arbeit sehr ähnlich (Hacker 2005; Hartmann et al. 2014).

Drittens besteht ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen lernförderlicher Arbeit und Innovationen; lernförderliche Arbeit scheint in diesem Sinne ein wesentlicher Faktor der Innovationsfähigkeit von Unternehmen und Ländern zu sein (Lorenz 2015). Dies ist insofern auch plausibel, als einerseits Lernen und Innovation funktional nahe beieinander sind, andererseits Lernfähigkeit in allen Bereichen der Organisation, des Unternehmens wichtig ist, um neue Ideen von außen aufnehmen oder im Unternehmen selbst generieren und nachhaltig umzusetzen zu können.

Aus diesen Gründen werden viele der im Folgenden dargestellten Gestaltungsdimensionen einen Bezug zur lernförderlichen Arbeitsgestaltung aufweisen. Diese Dimensionen bilden zugleich die Grundlage für ein allgemeines arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ (Beitrag von Bauer, Schlund und Strölin in diesem Band).

In Anlehnung an die aktuelle Fachdiskussion (z. B. Hirsch-Kreinsen 2015; Hirsch-Kreinsen et al. 2015) ordnen wir für die Darstellung in diesem Kapitel die im Praxisteil dieses Buches – den folgenden Kapiteln – beschriebenen Tätigkeitsprofile zwei grundsätzlichen Kategorien¹ zu:

1. **Operative Tätigkeiten:** Hierzu zählen wir alle Tätigkeitsprofile, deren Arbeitsschwerpunkte auf ausführenden Tätigkeiten liegen, die zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung notwendig sind. In diesem Segment handelt es sich um Tätigkeitsprofile, die i. d. R. von Arbeitnehmern mit niedrigem und mittlerem Qualifikationsniveau wahrgenommen werden.
 - In diese Kategorie fallen insgesamt 24 der in den folgenden Kapiteln beschriebenen Tätigkeitsprofile, die sich in folgende Bereiche gruppieren lassen: Kommissionierung, Verpackung, Wareneingangskontrolle, gering qualifizierte Tätigkeiten, Fachkräfte, Applikateure, Maschinenmechaniker, Maschinenführer, Instandhaltung, Bediener, Monteure, Technischer Service, angelernte Montagemitarbeiter.²
2. **Dispositive Tätigkeiten:** Hierzu sollen alle Tätigkeitsprofile gehören, deren Arbeitsschwerpunkte auf der Planung, Organisation, Steuerung und Kontrolle liegen. In diesem Segment handelt es sich i. d. R. um Tätigkeitsprofile, die Arbeitnehmern mit gehobenem mittlerem und hohem Qualifikationsniveau zuzuordnen sind.

¹ Die Einteilung in diese beiden Kategorien erhebt keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Sie dient hier vielmehr dem praktischen Zweck, der Heterogenität der beschriebenen Tätigkeitsprofile gerecht zu werden und dabei dennoch konkrete qualitative Aussagen treffen zu können.

² Die Tätigkeitsbezeichnungen wurden unverändert aus den Anwendungsfallbeschreibungen übernommen.

- In diese Kategorie fallen insgesamt 18 der beschriebenen Tätigkeitsprofile, die sich in folgende Bereiche gruppieren lassen: Leitungspersonen, Meister, Prozessplaner, Konstrukteur, Entwicklung, SPS-Programmierer, Verwaltung, Qualitätssicherung, Produktionsplaner, IT-Spezialisten.

Die Entwicklungsrichtung der Gestaltungsdimensionen wird im Folgenden anhand dieser Kategorien zusammenfassend über alle Praxisbeiträge analysiert und diskutiert. In den folgenden Abbildungen sind jeweils über die Praxisbeiträge hinweg akkumulierte Einschätzungen zur Entwicklungstendenz der jeweiligen Dimension dargestellt.

2.2 Gestaltungsdimensionen

2.2.1 Bedarf

Dieser erste Aspekt ist weniger eine Gestaltungs- als eine Wirkungsdimension. Die neu gestalteten Arbeitssysteme werden oftmals zu veränderten Bedarfen im Hinblick auf unterschiedliche Beschäftigtentypen oder Qualifikationsprofile (z. B. Konstrukteure, Einrichter, SPS-Programmierer) führen. Diese Entwicklungen können auch durchaus gegenläufig sein: höherer Bedarf nach dem einen, geringerer Bedarf nach dem anderen Beschäftigtentypus.

Es liegen übergreifende, quantitative Analysen von Arbeitsmarktdaten vor, die sich einerseits auf die Substituierbarkeit von bestehenden Tätigkeiten durch Technologie (Dengler und Matthes 2015; Frey und Osborne 2013) oder auch andererseits eher auf die Generierung neuer Tätigkeiten durch Technologie (Stewart et al. 2015) beziehen. In den folgenden Praxisbeiträgen wird demgegenüber auf sehr konkreter, exemplarischer Ebene abgeschätzt, welche Auswirkungen technisch-organisatorische Änderungen auf die Nachfrage nach bestimmten Beschäftigtentypen in bestimmten Anwendungsszenarien haben können.

Über alle Tätigkeitsprofile hinweg gehen die Autoren der folgenden Beiträge deutlich öfter von einem Mehr- als von einem Minderbedarf an Arbeitskräften aus (Abb. 2.1 links). Dies gilt sowohl für operative als auch dispositive Tätigkeiten (Abb. 2.1 Mitte, rechts). In der Hälfte aller beschriebenen Tätigkeiten werden keine Veränderungen erwartet.

2.2.2 Hierarchische Vollständigkeit

Hacker unterscheidet zwischen einem hierarchischen und einem sequenziellen Aspekt der Vollständigkeit von Tätigkeiten (Hacker 2005). Die hierarchische Vollständigkeit bezieht sich auf die Mischung von weniger anspruchsvollen Tätigkeiten – z. B. Routine-tätigkeiten, Tätigkeiten, die nach klaren und einfachen Regeln zu bewältigen sind – und anspruchsvollen Tätigkeiten, z. B. schöpferische und problemlösende Tätigkeiten. Wenn

Personalbedarf

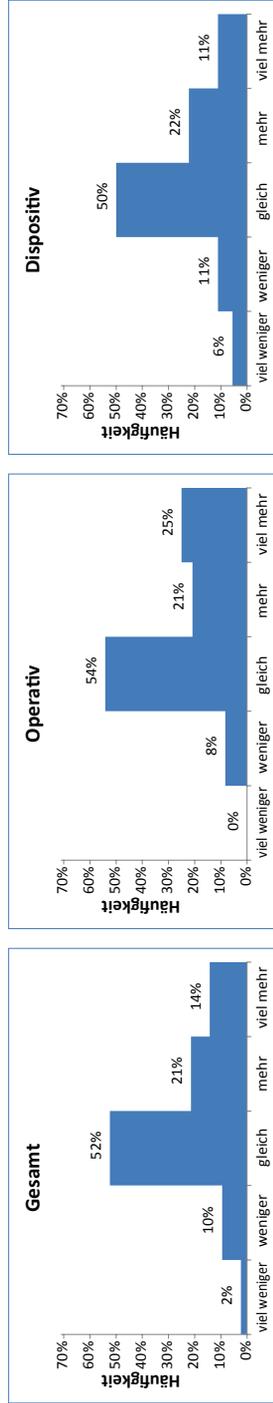


Abb. 2.1 Qualitative Personalbedarfsprognosen anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

im Aufgabenprofil eines Mitarbeiters (an einem Arbeitsplatz) ein ausgewogenes Verhältnis von anspruchsvollen und weniger anspruchsvollen Teiltätigkeiten besteht, ist insgesamt die Tätigkeit hierarchisch vollständig.

Das Anforderungsniveau dieser Tätigkeiten ist dabei immer im Hinblick auf ganz bestimmte Individuen oder Typen von Individuen zu beurteilen: Je nach persönlichen Merkmalen (z. B. Vorbildung, körperliche und geistige Leistungsfähigkeit) sind die gleichen Aufgaben für unterschiedliche Personen unterschiedlich anspruchsvoll (interindividuelle Unterschiede, differentieller Aspekt (Ulich 1978; 2016)).

Die hierarchische Vollständigkeit ist zugleich einem kontinuierlichen Wandel unterworfen: Durch Lernprozesse werden etwa vormals sehr anspruchsvolle Tätigkeiten für die gleichen Individuen über die Zeit weniger anspruchsvoll³ (intraindividuelle Unterschiede, dynamischer Aspekt (Ulich 1978; 2016)). Aus der Sicht der praktischen Arbeitssystemgestaltung ist deshalb das Konzept der evolvierend vollständigen Tätigkeit bedeutsam: Um über die Zeit hinweg hierarchisch vollständig zu bleiben, muss eine Tätigkeitsstruktur mit dem Kompetenzzuwachs des Individuums „mitwachsen“ (Hacker und Richter 1990).

Vor diesem Hintergrund werden in den folgenden Abschnitten im Kontext der hierarchischen Vollständigkeit folgende Aspekte angesprochen:

- Monotone und komplexe Aufgaben
- Problemlösung und Optimierung
- Lernen

2.2.2.1 Monotone und komplexe Aufgaben

Monotonie als psychischer Zustand wird hervorgerufen durch reizarme Situationen und repetitive Tätigkeiten. Unmittelbare Symptome sind Müdigkeit, Interessenlosigkeit und Gefühle der Langeweile. Zwischen dem Anteil monotoner Aufgaben und der Lernförderlichkeit der Arbeitsaufgaben insgesamt besteht ein negativer Zusammenhang (Bergmann et al. 2000; Bergmann et al. 2004).

Zugleich stellen monotone Aufgaben auch grundsätzlich eine Fehlbeanspruchung dar, die zu Leistungsminderung, Leistungsschwankungen und sinkender Lernfähigkeit sowie -bereitschaft führt (Ulich 2005; Richter und Hacker 1997). Besonders kritisch sind monotone Aufgaben, die zugleich hohe und kontinuierliche Aufmerksamkeit erfordern (z. B. Überwachungstätigkeiten) (Bainbridge 1983). In solchen Fällen ist es nicht möglich, den Monotoniezustand durch Aufgabenwechsel zu beenden bzw. zu unterbrechen.

Ein hoher Anteil monotoner Aufgaben beeinträchtigt die hierarchische Vollständigkeit von Tätigkeiten. Ansatzpunkte für die Gestaltung liegen hier im Bereich der Technik – bis hin zur vollständigen Automatisierung monotoner Tätigkeiten – und im Bereich der Arbeitsorganisation mit dem Ziel, monotone und anspruchsvolle Aufgaben an Arbeitsplätzen zu kombinieren.

³Umgekehrt kann der subjektive Anspruchsgehalt von Aufgaben durch Verluste in der individuellen Leistungsfähigkeit auch steigen.

Komplexe Aufgaben können als Gegenpol zu den monotonen Aufgaben betrachtet werden, sie stellen ein wesentliches Merkmal lernförderlicher Arbeitsplätze dar (Bergmann et al. 2004; Frieling et al. 2006; Bergmann et al. 2000). Komplexe Aufgaben erfordern ein hohes Kompetenzniveau der Beschäftigten und ermöglichen zugleich die fortlaufende Kompetenzentwicklung in der Arbeit.

Auch die Innovationsfähigkeit von Unternehmen und Ländern scheint in besonderer Weise vom Anteil komplexer Aufgaben abzuhängen (Lorenz und Valeyre 2005; Lorenz 2015; Hartmann et al. 2014). Dieser Zusammenhang stellt sich über zwei Mechanismen her. Einerseits gehen mit komplexen Aufgaben, wie oben bereits angesprochen, auch höhere Kompetenzniveaus der Beschäftigten einher. Dies erleichtert sowohl die Wahrnehmung *externer* Innovationsimpulse (z. B. neue Bearbeitungsverfahren) wie auch die interne Verarbeitung, Umsetzung und Verbreitung dieser Innovationsimpulse (Cohen und Levinthal 1990). Andererseits erhöht die höhere Lernfähigkeit auch die Wahrscheinlichkeit, dass *intern* (z. B. im Zuge kontinuierlicher Verbesserungsprozesse) Innovationen erdacht und umgesetzt werden können.

Der Anteil komplexer Aufgaben ist, wie oben angesprochen, auch eng verbunden mit dem arbeitspsychologischen Konzept der hierarchisch vollständigen Tätigkeit (Hacker 1995, 2005). Hierarchische Vollständigkeit bedeutet, dass Aufgaben unterschiedlichen Anforderungsniveaus in einem angemessenen Mischungsverhältnis an einem Arbeitsplatz vorhanden sein sollten. In diesem Sinne ist auch ein gewisser Anteil anforderungsarmer oder sogar monotoner Aufgaben hinnehmbar, wenn auch hinreichend viele komplexe Aufgaben zum Portfolio eines Arbeitsplatzes gehören.

Aus den Praxisbeiträgen wird eine klare Tendenz deutlich. Sowohl auf operativer als auch auf dispositiver Ebene wird mit einer deutlichen Abnahme von monotonen Aufgabenanteilen bei gleichzeitiger starker Zunahme von komplexen Aufgabenanteilen ausgegangen (siehe Abb. 2.2). Aus Sicht der oben diskutierten Innovationsfähigkeit handelt es sich dabei sicherlich um eine sehr positive Entwicklungstendenz. Auch im Hinblick auf gut gestaltete Arbeit ist eine solche Entwicklung wünschenswert, weil durch die tendenziell steigende Komplexität der Aufgaben auch bei kontinuierlichen Kompetenzgewinnen der Individuen hierarchisch vollständige Tätigkeiten – und insbesondere *evolvierend* vollständige Tätigkeiten – entstehen bzw. erhalten bleiben (Hacker und Richter 1990).

2.2.2.2 Problemlösung und Optimierung

Problemlösende Tätigkeiten haben eine besonders enge Beziehung zur Lernförderlichkeit des Arbeitsplatzes; je höher der Anteil problemlösender Aufgaben, desto höher auch die Lernchancen (Hacker 2005; Pietzcker 2010). Es ist daher ein wichtiges Ziel der Arbeitsorganisation, Arbeitsaufgaben so zu gestalten und an Arbeitsplätzen zu kombinieren, dass zumindest ein Minimum problemlösender Tätigkeiten möglichst überall vorhanden ist.

Der Anforderungsgehalt problemlösender Tätigkeiten kann weiter danach unterschieden werden, inwieweit der Ist-Zustand, der Soll-Zustand und die Operatoren, die den Ist- in den Soll-Zustand überführen können, dem Problemlöser bekannt sind. Sind alle diese Aspekte bekannt, handelt es sich nicht um Probleme, sondern um nach bekannten Regeln zu bearbeitende Aufgaben (Sell und Schimweg 2002).

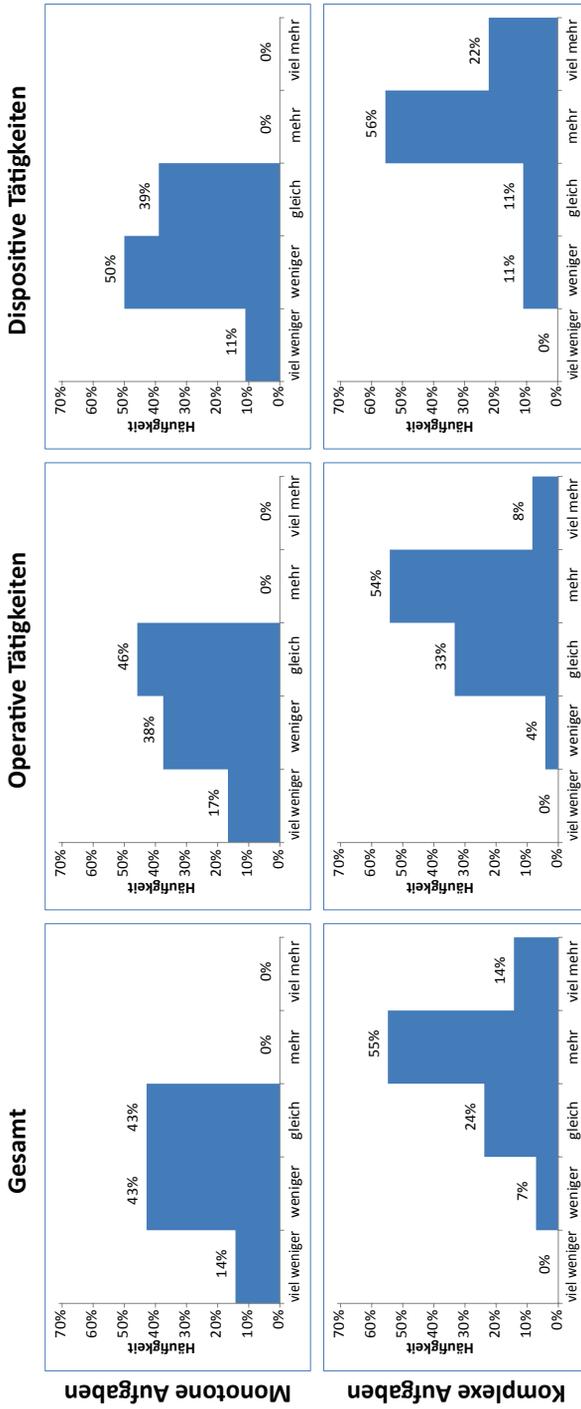


Abb. 2.2 Qualitative Prognosen für die Entwicklung der monotonen und komplexen Aufgabenanteile anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

Problemlösende Aufgaben sind grundsätzlich eher komplex, in Abhängigkeit vom konkreten Anforderungsgehalt der gestellten Probleme (vgl. vorigen Abschnitt). Zugleich sind problemlösende Aufgaben traditionell solche, die eher Menschen als Maschinen zugewiesen werden. Dies könnte sich allerdings durch steigende Leistungsfähigkeit künstlicher Intelligenz ändern. Gerade deshalb sollten aber die technischen und arbeitsorganisatorischen Möglichkeiten ausgenutzt werden, die dazu beitragen, einen hinreichenden Anteil problemlösender Tätigkeiten für die Menschen zu schaffen und zu erhalten.

Optimierungsaufgaben beziehen sich etwa auf die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen im Arbeitskontext, auf Qualitäts- und Effektivitätssteigerungen. Optimierungsaufgaben haben eine große praktische Bedeutung, auch für die Anreicherung industrieller Arbeitstätigkeiten in Richtung auf eine lernförderliche Arbeitsgestaltung. Strukturell und auf die jeweiligen kognitiven Anforderungen bezogen sind Optimierungen Spezialfälle von Problemlöseprozessen (Kauffeld 2007).

Aus den Praxisbeiträgen ergibt sich ein gemischtes Bild. Sowohl auf operativer als auch auf dispositiver Ebene wird einerseits bei ungefähr der Hälfte aller beschriebenen Tätigkeitsprofile mit einer Zunahme an problemlösenden Aufgaben gerechnet (Abb. 2.3, oben). Das ist auf Grund der prognostizierten, oben diskutierten steigenden Aufgabenkomplexität durchaus erwartbar. Allerdings nimmt der Anteil an problemlösenden Aufgaben nach dieser Prognose auch bei rund einem Drittel aller beschriebenen Tätigkeiten ab (bei 38 % der operativen und 28 % der dispositiven Tätigkeiten). Hier spielt sicherlich die steigende Intelligenz der neuen Technologien eine entscheidende Rolle, die zunehmen in der Lage sein wird, Probleme zu lösen, die bislang nur durch menschliches Denken gelöst werden konnten.

Hinsichtlich der Optimierungsmöglichkeiten der Arbeitsprozesse und der Effizienz wird von einer deutlichen Zunahme ausgegangen, interessanterweise besonders stark bei den operativen Tätigkeiten (Abb. 2.3, unten). Hier zeigen sich Potenziale der Aufwertung von operativen Tätigkeiten.

2.2.2.3 Lernen

Grundsätzlich soll unterschieden werden zwischen informellem und formellem Lernen.⁴ Informelles Lernen tritt als ungeplanter und oftmals auch unintendierter „Nebeneffekt“ vielfältiger Tätigkeiten – Arbeit, soziale Engagement, Spiel – auf. Formelles Lernen hingegen findet in explizit dafür vorgesehenen Settings (z. B. Seminarraum) als geplanter und gezielt auf das Lernen hin gestalteter Prozess statt.

⁴ Oftmals wird zwischen informellem, non-formalem und formalem Lernen unterschieden. Im Unterschied zu informellem Lernen findet non-formales Lernen nicht „nebenbei“ statt, sondern in expliziten Lernprozessen und -umgebungen; im Unterschied zum formalen Lernen werden keine allgemein akzeptierten Zertifikate (z. B. Abiturzeugnis, Hochschulabschluss) vergeben. Im Kontext dieses Kapitels werden das non-formale und das formale Lernen – gemäß ihrer gemeinsamen Merkmale der bewusst und gezielt gestalteten Lernumgebungen und -prozesse – unter dem Begriff des formellen Lernens subsummiert und vom informellen Lernen abgegrenzt.

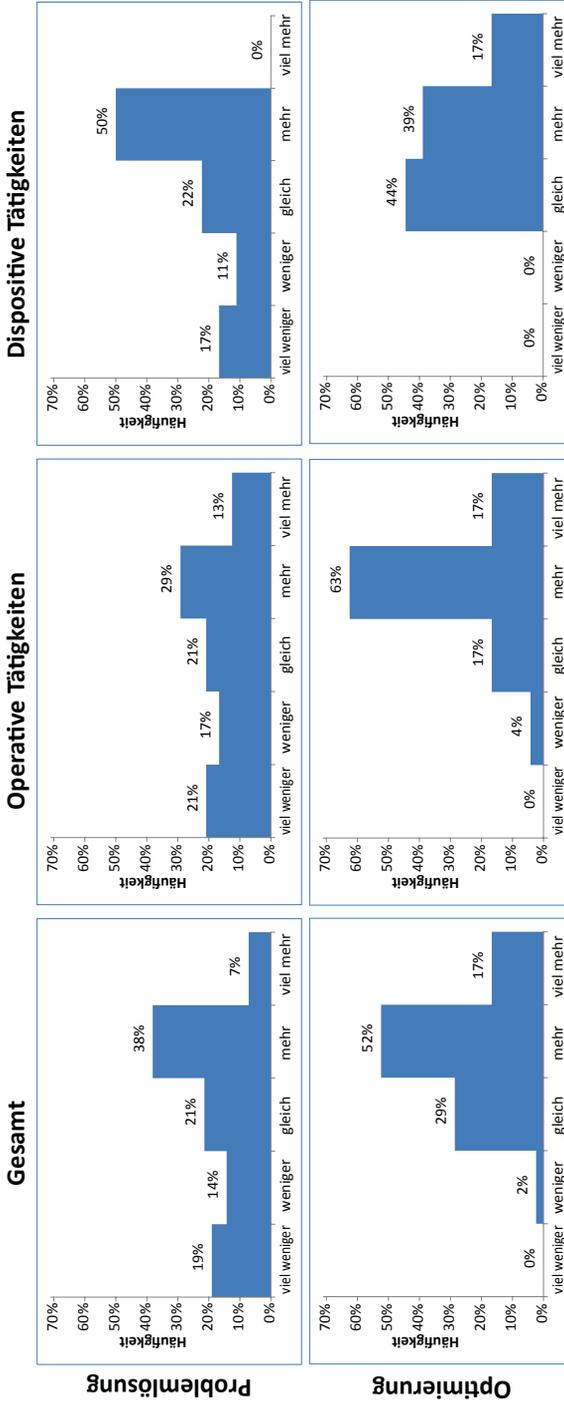


Abb. 2.3 Qualitative Prognosen für die Entwicklung von problemlösenden Tätigkeitsanteilen und Optimierungsaufgaben anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

Aus einer arbeitswissenschaftlichen Perspektive ist informelles Lernen eine unmittelbare Folge lernförderlicher Arbeitsorganisation (Bergmann et al. 2004; Frieling et al. 2006). Aus einer bildungspolitischen Perspektive gewinnt gegenüber dem formellen Lernen (s. u.) das informelle Lernen außerhalb von Bildungseinrichtungen als wesentliches Element des lebenslangen Lernens an Bedeutung (Erpenbeck et al. 2007). Aus einer innovationsbezogenen Perspektive schließlich ist die Intensität des Lernens in der Arbeit – gemeinsam mit Kontrolle und Selbstbestimmung – ein zentrales Merkmal innovationsförderlicher Arbeitsgestaltung (OECD 2010; Lorenz 2015; Lorenz und Valeyre 2005).

Der relative Bedeutungsgewinn des informellen Lernens führt nicht zu einem grundlegenden Bedeutungsverlust des formellen Lernens. Im Gegenteil, es sind sowohl berufliche wie hochschulische Bildungsangebote in neuen Formaten und mit neuen Inhalten notwendig, um die mit dem technologischen Wandel einhergehenden Qualifikationsbedarfe zu decken. Dabei wird – vor dem Hintergrund des demografischen und technologischen Wandels – die Fort- und Weiterbildung gegenüber der initialen (Berufs-)Bildung an Bedeutung gewinnen.

Wie genau sich die Qualifikationsbedarfe entwickeln werden, hängt – auch bei gleichen Berufsgruppen und Anwendungsfeldern – sehr stark von der organisatorisch-technischen Gestaltung der jeweiligen Arbeitssysteme und -umgebungen ab. Es sind hochautomatisierte, tayloristische Gestaltungsszenarien denkbar, die quantitativ eher zu einem geringeren Bedarf an Arbeitskräften und qualitativ zu einer Polarisierung innerhalb der Beschäftigten führen könnten: Wenige Hochqualifizierte würden in einem solchen Szenario relativ vielen Geringqualifizierten gegenüberstehen.

Andererseits sind ebenso für fast alle Berufsgruppen und Anwendungsfälle Organisationsszenarien denkbar, die sehr viel stärker auf eine Nutzung, Unterstützung und kontinuierliche Erweiterung menschlicher Kompetenz – auch und gerade mit technischer Unterstützung (tutorielle Assistenzsysteme) – setzen. Hier würde kaum eine Tendenz zur Polarisierung auftreten und auch insgesamt wären die Qualifikationsanforderung andere (Hartmann und Bovenschulte 2013). In diesem Sinne ist das Maß an notwendiger Qualifikation eine abhängige Variable, die von der Ausprägung von Gestaltungsdimensionen wie Problemlösung, komplexe Aufgaben, Planen und Kontrolle abhängt.

Schließlich zeigen sich Tendenzen dahingehend, dass formelles und informelles Lernen auch stärker integrativ verstanden werden kann, etwa durch projektbasierte Bildungsangebote.

Gemäß der Prognose unserer Autoren werden sowohl formelles wie informelles Lernen deutlich an Bedeutung gewinnen, sowohl auf operativer als auch auf dispositiver Ebene (Abb. 2.4). Insbesondere das informelle Lernen wird mittels der neuen digitalen Technologien eine ganz zentrale Rolle spielen.

Das formelle Lernen wird es jedoch nicht ersetzen. Auf operativer Ebene wird erwartet, dass bei weit über der Hälfte der beschriebenen Tätigkeitsprofile ein zusätzlicher Bedarf besteht, neue Qualifikationen beispielsweise im Rahmen von Weiterbildungsmaßnahmen zu erwerben. Interessant ist, dass dies sogar noch stärker auf der dispositiven Ebene erwartet wird. Bei knapp 75 % der beschriebenen Tätigkeitsprofile wird ein Anstieg der Anteile

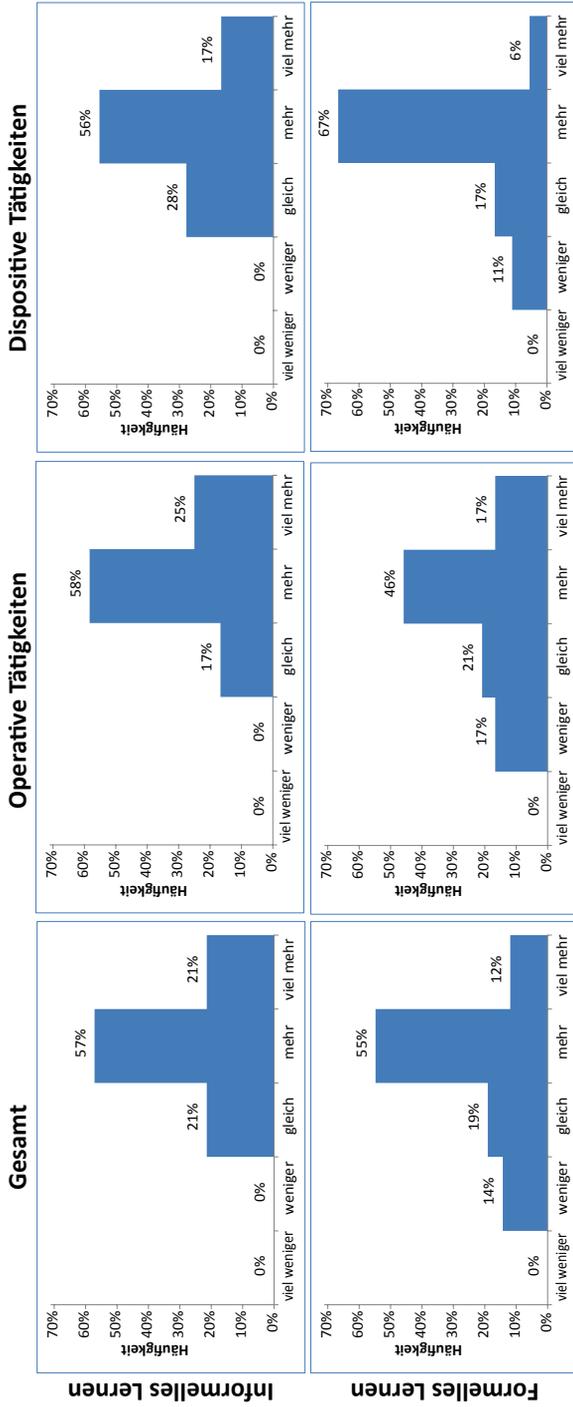


Abb. 2.4 Qualitative Prognosen für die Entwicklung des Anteils von informellem und formellem Lernen anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

des formellen Lernens erwartet. Dies überrascht insoweit, als das es sich bei den betroffenen Mitarbeitern in der Regel um bereits hochqualifizierte Mitarbeiter handelt.

2.2.3 Sequentielle Vollständigkeit von Tätigkeiten

Wie oben bereits angesprochen, unterscheidet Hacker zwischen einem hierarchischen und einem sequenziellen Aspekt der Vollständigkeit von Tätigkeiten (Hacker 2005). Während sich die hierarchische Vollständigkeit auf die Mischung von mehr und weniger anspruchsvollen Tätigkeiten bezieht, orientiert sich die sequentielle Vollständigkeit an der Handlungssequenz (bzw. dem Handlungszyklus) bestehend aus:

- Organisieren im Sinne der Abstimmung der eigenen Tätigkeit mit den Tätigkeiten anderer Personen
- Planen der eigenen Tätigkeit
- Ausführen der Tätigkeit
- Kontrollieren der Ergebnisse der eigenen Tätigkeit

Im Folgenden wird zunächst – wegen der besonderen Bedeutung für die Arbeitsgestaltung – auf planerische Tätigkeitsanteile eingegangen. Daran schließt sich eine Diskussion von Kooperation und Kommunikation als Aspekte der organisierenden Abstimmung mit anderen an. Der Aspekt der Kontrolle wird in einem etwas weiter gefassten Sinn, der über die bloße Kontrolle eigener Arbeitsergebnisse hinausgeht, weiter unten (Abschn. 2.2.4) angesprochen.

2.2.3.1 Planen

Während monotone, problemlösende und komplexe Aufgaben in besonderer Weise mit dem Konzept der hierarchischen Vollständigkeit verbunden sind, hat der Anteil planender Aufgaben eine hohe Bedeutung für die sequentielle Vollständigkeit von Tätigkeiten (Hacker 1995, 2005). Sequentielle Vollständigkeit ist dann gegeben, wenn planende, organisierende, ausführende und kontrollierende Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz vereint sind.

Die Automatisierung ausführender Tätigkeiten hat in der Vergangenheit oftmals zu einem relativen Bedeutungsgewinn planender Tätigkeiten für die Beschäftigten geführt. Dies könnte sich allerdings durch steigende Leistungsfähigkeit künstlicher Intelligenz insofern ändern, als dann auch zunehmend planende Aufgaben von technischen Systemen übernommen werden können.

Umso wichtiger ist es, die organisatorischen und technischen Möglichkeiten auszunutzen, um einen hinreichenden planerischen Aufgabenanteil an möglichst allen Arbeitsplätzen zu sichern.

Die Autoren der Anwendungsfälle erwarten über alle Tätigkeitsprofile hinweg keine Veränderung im Hinblick auf planerische Tätigkeitsanteile (Abb. 2.5). Interessant ist der

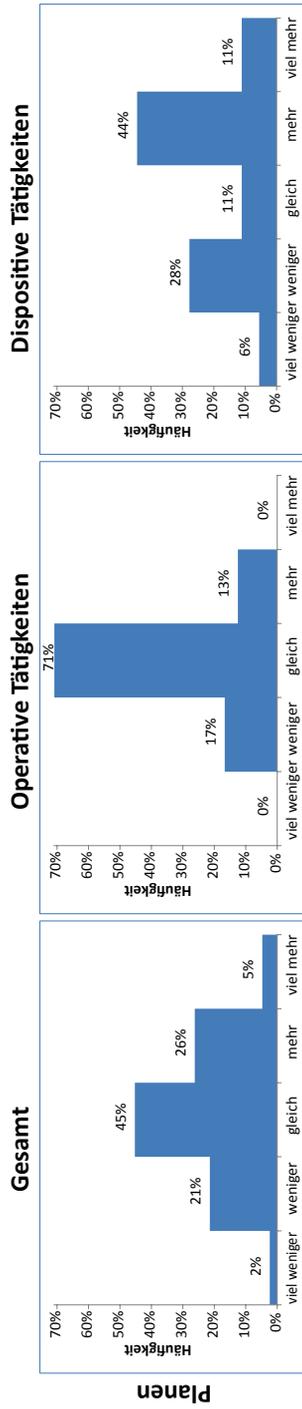


Abb. 2.5 Qualitative Prognosen für die Entwicklung von Anteilen planerischer Tätigkeitsanteile anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

Vergleich zwischen operativen und dispositiven Tätigkeiten: Während bei den operativen Tätigkeiten im Wesentlichen keine Veränderungen erwartet werden, halten sich bei den dispositiven Tätigkeiten Ab- und Zunahme planerischer Tätigkeitsanteile ungefähr die Waage. Es zeigt sich hier erneut die Ambivalenz „smarter“ Systeme, die menschliche Planung sowohl unterstützen wie auch bis zur Überflüssigkeit vereinfachen und automatisieren können.

2.2.3.2 Kooperation und Kommunikation

Ein Aspekt sequentieller Vollständigkeit ist das Planen der eigenen Arbeitstätigkeit (s. o.), ein anderer ist das Organisieren, die Abstimmung des eigenen Handelns mit dem Handeln Anderer. Auch generell kann man die Möglichkeit, in der Arbeit mit anderen zu kooperieren, als ein Merkmal menschengerechter Arbeitsgestaltung begreifen (Zölch et al. 1999).

An dieser Stelle können durchaus Zielkonflikte der Arbeitssystemgestaltung auftreten. Je autonomer (s. u., [Abschn. 2.2.4](#)) etwa ein Individuum oder eine Gruppe in ihrer Arbeitstätigkeit ist, desto geringer können Kooperationsanforderungen und -notwendigkeiten in Bezug auf Andere ausfallen.

In ähnlicher Weise wie bei der Kooperation kann auch die Kommunikation – in Sinne von Gelegenheit oder auch Notwendigkeit der Kommunikation mit Anderen – als ein Merkmal *sui generis* menschengerechter Arbeitsgestaltung verstanden werden (Oesterreich und Dunckel 1993). Auch mögliche Zielkonflikte stellen sich ähnlich dar, wie oben im Falle der Kooperation beschrieben.

Hinsichtlich der Aspekte Kommunikation und Kooperation zeigt sich ein einheitliches Bild über alle im Praxisteil betrachteten Tätigkeitsprofile ([Abb. 2.6](#)). Beachtlich ist, dass in fast keinem diskutierten Arbeitsfeld mit einem Rückgang an kooperativen und kommunikativen Arbeitsanteilen gerechnet wird. Im Gegenteil – in ca. 70 % aller Tätigkeitsprofile sowohl auf operativer als auch auf dispositiver Ebene wird mit einer deutlichen Zunahme beider Aspekte menschengerechter Arbeit gerechnet. Dies stellt allerdings auch neue Herausforderungen an die kommunikativen und kooperativen Fähigkeiten der Mitarbeiter.

2.2.4 Kontrolle und Autonomie

Die bislang unter den Kategorien der hierarchischen und sequentiellen Vollständigkeit diskutierten Gestaltungsdimensionen betonen eher kognitive Aspekte der Arbeitstätigkeit. Im Unterschied dazu stehen im Folgenden motivationale Faktoren im Vordergrund: Sowohl das Streben des Menschen nach Kontrolle über seine Umweltbedingungen als auch das eng damit zusammenhängende Streben nach Selbstbestimmung kennzeichnen zentrale menschliche Motive. Kontrolle im Sinne der Kontrolle des Menschen über seine Umweltbedingungen gehört zu den wichtigsten Gestaltungsaspekten menschlicher Arbeit (Grote 1997). Wichtige verwandte Konzepte sind Handlungs- und Entscheidungsspielräume

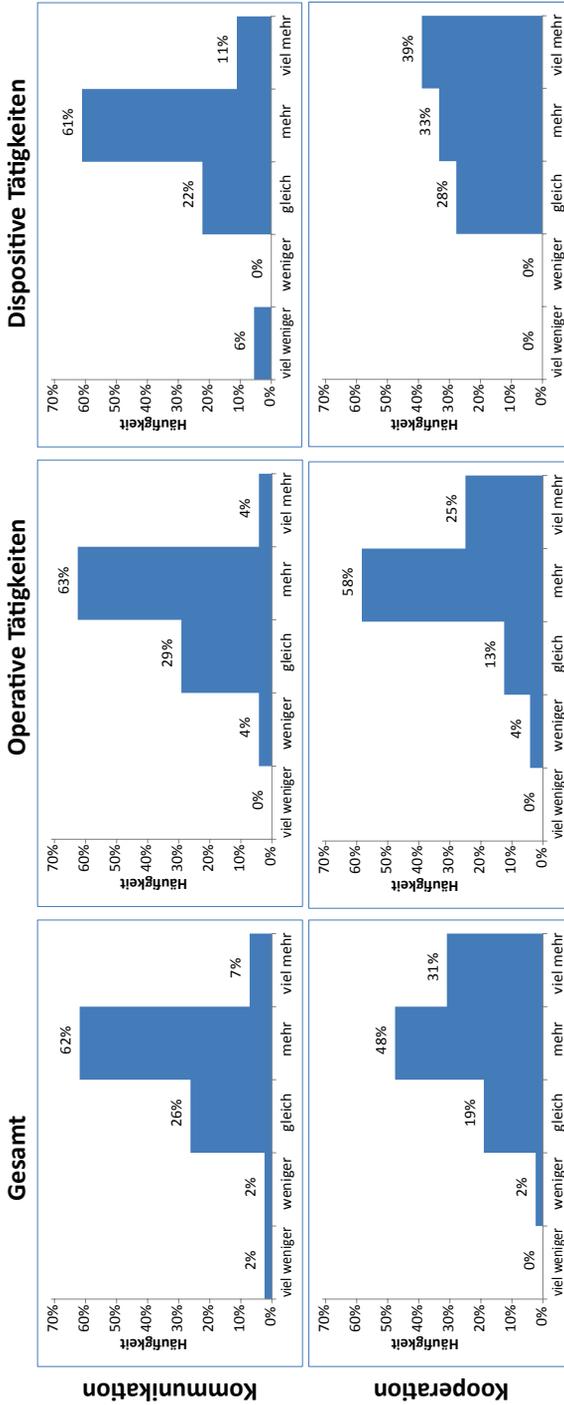


Abb. 2.6 Qualitative Prognosen für die Entwicklung der kooperativen und kommunikativen Arbeitsanteile anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

sowie Freiheitsgrade in der Arbeit (Hacker 2005). Für eine nachhaltige Sicherung der psychischen, aber auch der physischen Gesundheit ist eine Arbeitsgestaltung wichtig, welche die Beeinflussung der objektiven Arbeitsbedingungen durch die Arbeitenden ermöglicht. Ist dies nicht der Fall, wird von den Beschäftigten subjektiv keine Kontrolle über die Umwelt erlebt und es stellen sich Phänomene wie die erlernte Hilflosigkeit ein (Seligman 1995).

Eng verbunden mit Fragen der Kontrolle sind Automatisierungsdilemmata (Bainbridge 1983). In automatisierten Systemen übernehmen Menschen oftmals Überwachungstätigkeiten. Unkritische Situationen werden in der Regel vom automatischen System beherrscht. Situationen, in denen der überwachende Mensch eingreifen muss, sind tendenziell eher komplexe Situationen. Daraus entstehen zwei Dilemmata.

Erstens ist der Mensch in dieser Situation schlecht vorbereitet, die Kontrolle zu übernehmen, weil er die Situation nicht selbst herbeigeführt hat. Dadurch ist er weniger „im Bilde“. Dieser Effekt betrifft das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis.

Zweitens stellt sich über die Zeit auch eine durch mangelnde Übung verursachte Rückentwicklung der Fähigkeiten ein, die zur aktiven Bewältigung der Situation notwendig wären (*skill erosion*). Dieser Effekt betrifft das Langzeitgedächtnis.

Im Endeffekt wird der Mensch tendenziell mit besonders anspruchsvollen Situationen konfrontiert, zu deren Bewältigung er – automatisierungsbedingt – aus den zwei genannten Gründen weniger fähig ist. Hier besteht eine besondere Herausforderung an die Technikgestaltung. Es gilt, Mensch-Maschine-Schnittstellen zu entwerfen, die es den Menschen auch in hochautomatisierten Systemen erlauben, „im Bilde“ zu sein und Kontrolle auszuüben; hierfür stehen auch geeignete Methoden zur Verfügung (Lüdtke 2015).

Der Aspekt der Selbstbestimmung (Autonomie) hängt eng mit dem oben angesprochenen Konstrukt der Kontrolle zusammen, geht aber weiter. So hat das Konzept der Selbstbestimmung eine deutliche normative, wertende Bedeutung, die tief im kulturellen Gewebe moderner, demokratischer, offener Bürgergesellschaften verankert ist. Weiterhin wird das Konzept der Selbstbestimmung oder Autonomie auch oftmals auf die kollektive Handlungsorganisation in Gruppen angewandt, man spricht dann auch von (teil-)autonomen Arbeitsgruppen (Weber 1997).

Die Autoren der Praxisfallbeschreibungen sehen tendenziell eine Zunahme der Kontrollmöglichkeiten der arbeitenden Menschen (Abb. 2.7). Dieser Effekt ist allerdings nur bei den dispositiven Tätigkeiten klar und relativ widerspruchsfrei erkennbar. Für einen gewissen Anteil operativer Tätigkeiten (rund 20 %) wird auch eine Abnahme der Kontrolle des Menschen über sein Arbeitsumfeld gesehen. Offensichtlich sehen die Autoren hier für die operativen Tätigkeiten eine höhere Gefahr des Kontrollverlusts durch „smarte“ Automatisierung.

In krassem Gegensatz dazu wird hinsichtlich der Selbstbestimmung nur für die operativen Tätigkeiten ein Zuwachs erwartet; hier wird möglicherweise für die dispositiven Tätigkeiten ein Deckeneffekt gesehen. Die Selbstbestimmung ist hier bereits sehr weit ausgeprägt und kann sich – gemäß dieser Einschätzung – kaum noch weiter entwickeln.

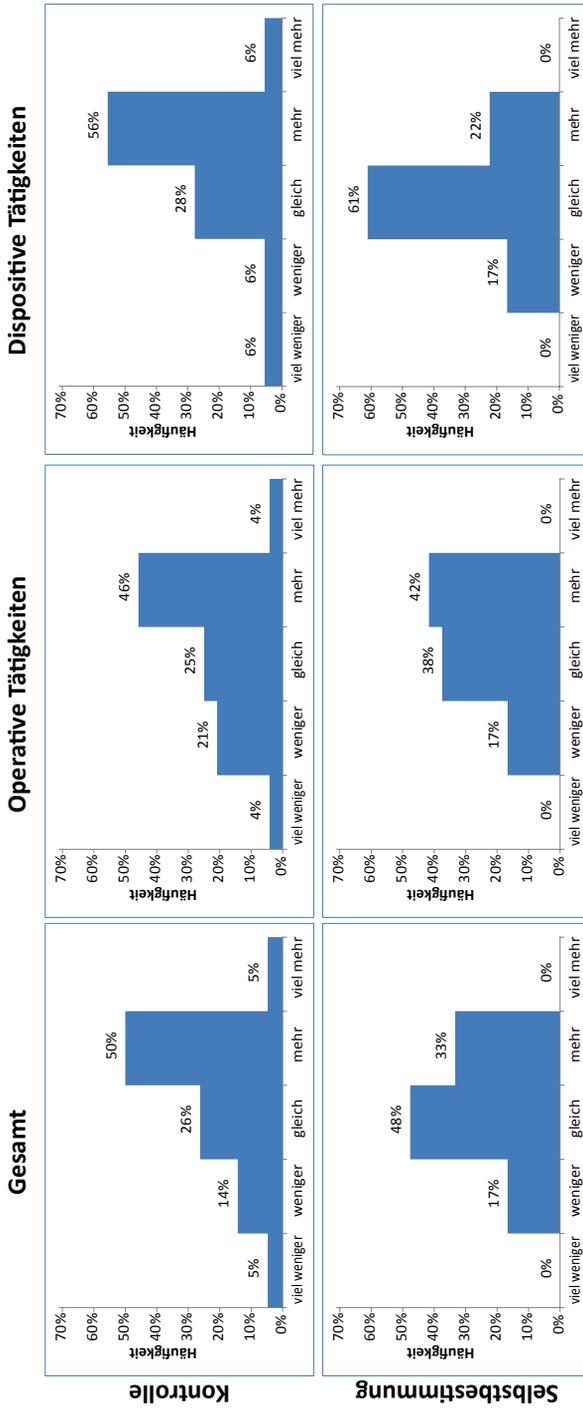


Abb. 2.7 Qualitative Prognosen für die Entwicklung von Kontrolle und Selbstbestimmung anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dispositiven Tätigkeiten (n = 18).

2.2.5 Querschnittliche und gegenstandsspezifische Aspekte: Interdisziplinarität und IT-Kenntnisse

Die Dimension der Interdisziplinarität hat einen querschnittlichen Charakter, weil sie sich sowohl auf Kooperationen im Arbeitsumfeld (ein Aspekt der sequentiellen Vollständigkeit) als auch auf Qualifikationserfordernisse (ein Aspekt der hierarchischen Vollständigkeit) bezieht. Im Hinblick auf Kooperationen ist hier die Zusammenarbeit zwischen Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen gemeint. Im Hinblick auf Qualifikationserfordernisse geht es um zunehmende Interdisziplinarität in bestimmten Bildungsprofilen, also Interdisziplinarität nicht nur, wie oben angesprochen, zwischen Personen, sondern auch innerhalb einer Person.

Im Kontext der Diskussion um Industrie 4.0 betrifft diese Interdisziplinarität speziell die Integration IT- oder informatikbezogener Kenntnisse mit anderen, bereits etablierten Qualifikationen, insbesondere in der Mechanik und Elektronik. Damit wäre zugleich übergeleitet zur folgenden und letzten Beschreibungsdimension.

Ein Spezifikum der technischen Grundlagen von Industrie 4.0 ist die Digitalisierung, die Integration von informationstechnischen und informatischen Komponenten in mechanische oder mechatronische Systeme. In diesem Sinne sind Anforderungen hinsichtlich neuer und spezifischer IT-Kenntnisse für bestimmte Berufsgruppen in bestimmten Anwendungsfeldern von besonderem Interesse.

Bei der Interdisziplinarität erwarten die Autoren tendenziell Zuwächse, allerdings bei den operativen Tätigkeiten sehr viel weniger deutlich als bei den dispositiven Tätigkeiten (Abb. 2.8). Verwundern könnte, dass für beide Tätigkeitsprofile kein nennenswerter Zuwachs an notwendigen IT-Kenntnissen erwartet wird, obwohl viele Beobachter davon ausgehen, dass die Digitalisierung alle Bereiche des Arbeitslebens durchdringen wird. Andererseits kann die Vereinfachung der Nutzung digitaler Systeme (bspw. durch entsprechende Assistenzsysteme oder vereinfachte Programmierumgebungen) bei deren gleichzeitiger Zunahme erklären, warum in vielen Fällen nicht prognostiziert wird, dass zunehmend IT-Kenntnisse notwendig sein werden.

2.3 Gesamtbetrachtung der folgenden Anwendungsbeispiele

Es sollen nun abschließend die sowohl im Gesamtüberblick als auch in der Detailbetrachtung auffällige Ergebnisse diskutiert werden. Abb. 2.9 fasst die oben im Detail beschriebenen Aspekte in einer Gesamtübersicht zusammen.

Hinsichtlich der hierarchischen Vollständigkeit von Tätigkeiten zeigen sich deutliche Effekte im Sinne einer Abnahme monotoner und einer Zunahme komplexer Aufgaben, auch Optimierung scheint wichtiger zu werden. Hinsichtlich der Problemlösung scheint die Mittelwertsdarstellung in Abb. 2.9 darauf hinzudeuten, dass keinerlei Dynamik zu erwarten ist, Tatsächlich zeigte die differenzierte Betrachtung aber eine ambivalente

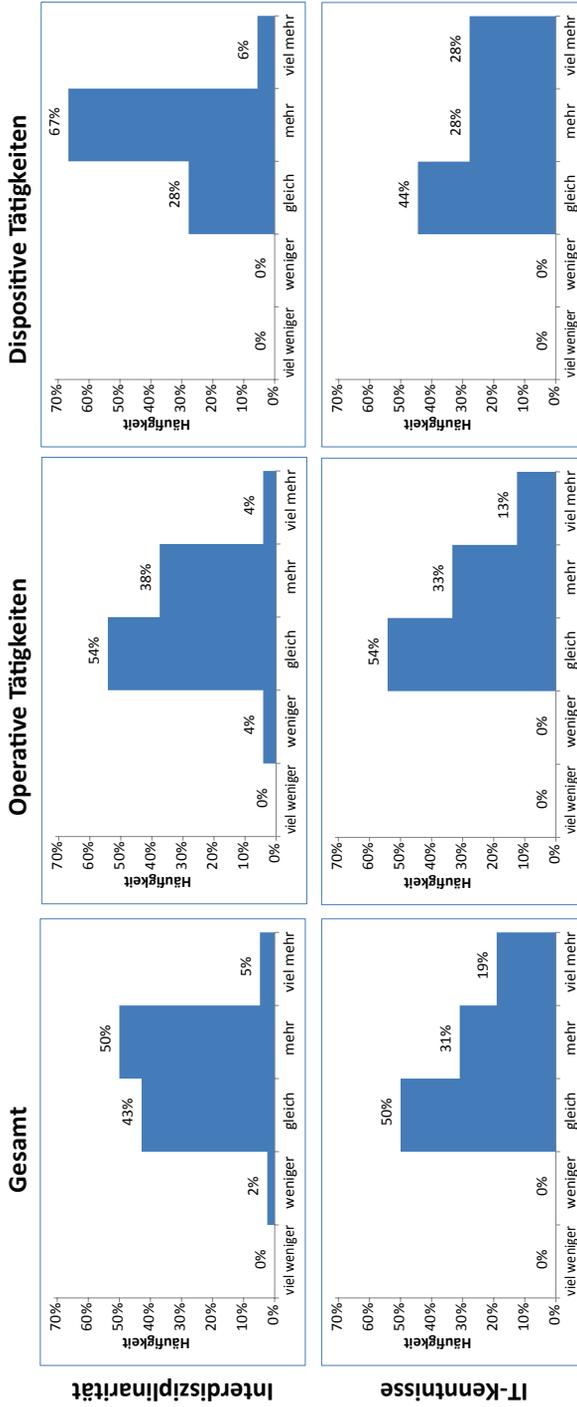


Abb. 2.8 Qualitative Prognosen für die Entwicklung der Interdisziplinarität und der notwendigen IT-Kenntnisse anhand der im Praxisteil dieses Buches beschriebenen Tätigkeitsprofile über die Gesamtmenge (n = 42) sowie differenziert nach überwiegend operativen Tätigkeiten (n = 24) und dis-positiven Tätigkeiten (n = 18).

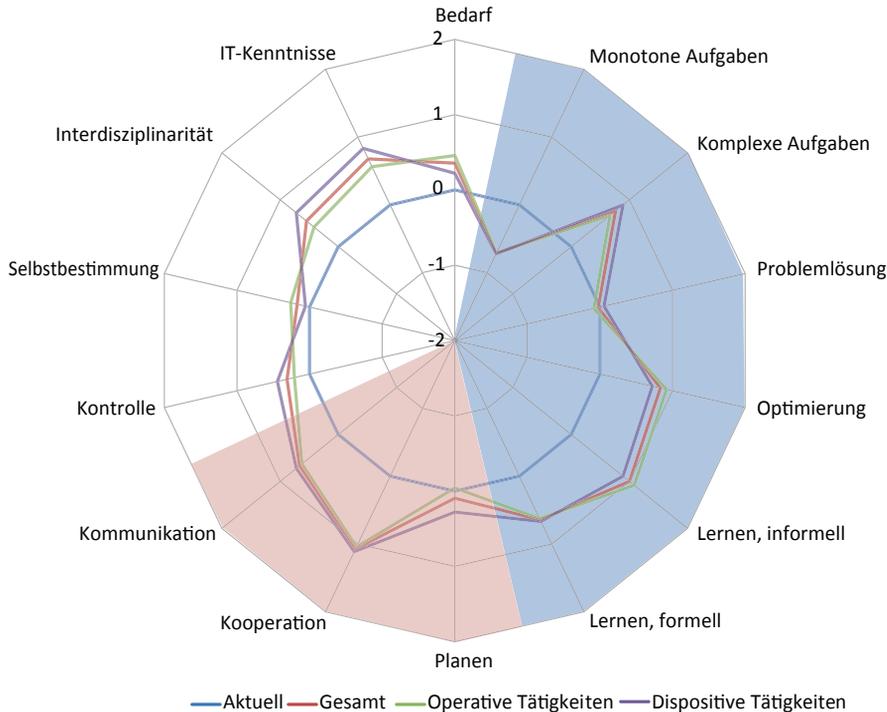


Abb. 2.9 Gesamtüberblick über die prognostizierten Entwicklungen in den unterschiedlichen Arbeitssystemdimensionen. In den blauen Segmenten finden sich wichtige Aspekte der hierarchischen, in den roten Segmenten wichtige Aspekte der sequentiellen Vollständigkeit von Tätigkeiten.

Einschätzung (Abb. 2.3): Sowohl eine Unterstützung wie auch die Ersetzung menschlicher Problemlösung durch „smarte“ Automatisierungstechnik ist denkbar.

Für das Lernen werden insgesamt und in jeder Hinsicht Zuwächse erwartet. Informelles Lernen wird eine deutlich größere Rolle spielen und in qualitativ neuer Weise durch die neuen Technologien unterstützt werden. Formelles Lernen bleibt weiter wichtig und wird sogar an Bedeutung gewinnen, dies sogar auf dispositiver Ebene bei Mitarbeitern, die bereits über hohe Qualifikationen verfügen.

Im Bereich der sequentiellen Vollständigkeit von Tätigkeiten scheint für den Aspekt des Planens erneut die Mittelwertsbetrachtung in Abb. 2.9 wenig Dynamik anzuzeigen. Auch hier wurden in der differenzierten Betrachtung (Abb. 2.5) Nuancen deutlich: Besonders hinsichtlich der operativen Tätigkeitsprofile werden, wie bei der Problemlösung, den Menschen unterstützende Potenziale der Technik ebenso gesehen wie den Menschen ersetzende.

Für Kooperation und Kommunikation (Abb. 2.6) werden hingegen in jeder Hinsicht Zuwächse erwartet.

Wenn auch nuanciert im Detail, so wird doch insgesamt aus den Praxisfällen ein – im Sinne der menschengerechten Arbeit wie auch der Innovationsfähigkeit der Volkswirtschaft – optimistischer Ausblick auf die Zukunft deutlich.

Dieser Befund sollte mit Vorsicht und Sorgfalt interpretiert werden. Wie bereits eingangs erwähnt, erhebt die hier getroffene Auswahl von Gestaltungsfällen keinerlei Anspruch auf Repräsentativität. Es spricht sogar einiges dafür, dass es sich hier um eine „Positivauswahl“ von Projekten handelt, die besonders gut ausgeprägte Potenziale einer progressiven Arbeitsgestaltung aufweisen.

Nun soll aus vielfältigen Gründen ohnehin nicht der Eindruck eines technologischen Determinismus erweckt werden: Es werden sich aus den technologischen Entwicklungen allein nicht quasi naturgesetzlich bestimmbare Auswirkungen für die Qualität der Arbeit und die Innovationsfähigkeit ergeben. Diese Auswirkungen werden vielmehr abhängen von ganz konkreten unternehmerischen, betrieblichen Entscheidungen, insbesondere im Bereich der Arbeitsorganisation. Was die hier dargestellten Praxisbeispiele leisten, ist – quer durch unterschiedliche Branchen und Anwendungsfelder – der Nachweis der Möglichkeit (nicht der Notwendigkeit) lern- und innovationsförderlicher Arbeitssystemgestaltung.

In den folgenden Kapiteln werden – in diesem Sinne – Anwendungsbeispiele aus aktuellen Forschungsprojekten nach einer gemeinsamen Systematik und im Hinblick auf die hier dargestellten Beschreibungs- und Gestaltungsdimensionen dargestellt. Dadurch besteht die Möglichkeit, einen plastischen Eindruck von Gestaltungspotenzialen und -herausforderungen für die Arbeit in der Industrie 4.0 zu gewinnen.

Dies kann verstanden werden als ein Beitrag zum systematischen Aufbau von Gestaltungswissen in diesem Kontext. Dieser Prozess des Aufbaus von Gestaltungswissen ist erst am Anfang. Die folgenden Beispiele liefern erste Hypothesen für Gestaltungslösungen und -paradigmen, die in weiteren Schritten auf ihre Generalisierbarkeit untersucht werden müssen. Dazu wird es auch notwendig sein, möglichst hypothesen- und theoriegeleitet weitere Gestaltungsfälle aus unterschiedlichen Anwendungskontexten heranzuziehen. Die aktuellen FuE-Programme, etwa die des BMWi und des BMBF, stellen dafür ein fruchtbares Feld dar.

Literatur

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8).
- Bergmann, B., Fritsch, A., Göpfert, P., Richter, F., Wardanjan, B., & Wilczek, S. (2000). *Kompetenzentwicklung und Berufsarbeit*. Münster: Waxmann. <https://books.google.de/books?id=JxBrWs-vRUIC>, zugegriffen am 21.08.2016.
- Bergmann, B., Richter, F., Pohlandt, A., Pietrzyk, U., Eisfeld, D., Hermet, V., & Oschmann, D. (2004). *Arbeiten und Lernen*. Münster: Waxmann. <https://books.google.de/books?id=DQPJqBMJVkoc>, zugegriffen am 21.08.2016.
- Bothhof, A., & Hartmann, E. A. (Hrsg.) (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity. A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128. <https://doi.org/10.2307/2393553>.

- Dengler, K., & Matthes, B. (2015): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. IAB Forschungsbericht (IAB Forschungsbericht, 11/2015). <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb1115.pdf>, zugegriffen am 21.08.2016.
- Erpenbeck, J., Heyse, V., Meynhardt, T., & Weinberg, J. (2007). *Die Kompetenzbiographie. Wege der Kompetenzentwicklung* (2., aktualisierte und überarb. Aufl.). Münster: Waxmann. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783830968085, zugegriffen am 21.08.2016
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?*. Oxford: Oxford Martin School, University of Oxford.
- Frieling, E., Bernard, H., Bigalk, D., & Müller, R. F. (2006). *Lernen durch Arbeit. Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Lernmöglichkeiten am Arbeitsplatz*. Münster: Waxmann.
- Grote, G. (1997). *Autonomie und Kontrolle. Zur Gestaltung automatisierter und risikoreicher Systeme*. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH Zürich (Mensch, Technik, Organisation, 16).
- Hacker, W. (1995). *Tätigkeitsbewertungssystem (TBS); Verfahren zur Analyse, Bewertung und Gestaltung von Arbeitstätigkeiten*. Zürich: vdf Hochschulverl. (Mensch, Technik, Organisation, 7).
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit* (2., vollst. überarb. und erg. Aufl.). Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 58).
- Hacker, W., & Richter, P. (1990). Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten – Ein Konzept in Entwicklung. In: F. Frei & I. Udris (Hrsg.), *Das Bild der Arbeit*. Bern: Huber.
- Hartmann, E. A. (2005). *Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Hartmann, E. A., & Bovenschulte, M. (2013). Skills needs analysis for “Industry 4.0” based on roadmaps for smart systems. In: *Using technology foresights for identifying future skills needs*. Global Workshop Proceedings. Moskow. Skolkovo, International Labour Organization.
- Hartmann, E. A., von Engelhardt, S., Hering, M., Wangler, L., & Birner, N. (2014). *Der iit-Innovationsfähigkeitsindikator. Ein neuer Blick auf die Voraussetzungen von Innovationen*. Berlin: iit. <http://www.iit-berlin.de/de/publikationen/der-iit-innovationsfaehigkeitsindikator/>, zugegriffen am 21.08.2016
- Hartmann, E. A., & Garibaldi, F. (2011). What’s going on out there? Designing work systems for learning in real life. In: S. Jeschke, I. Isenhardt, F. Hees, & S. Trantow (Hrsg.), *Enabling innovation: Innovative capability – German and international views*. Berlin: Springer Berlin.
- Henning, K., Volkholz, V., Risch, W., & Hacker, W. (Hrsg.) (1994). *Moderne LernZeiten*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P., & Niehaus, J. (Hrsg.) (2015). *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden: Nomos/ Edition Sigma.
- Kauffeld, S. (2007). Jammern oder Lösungsexploration? Eine sequenzanalytische Betrachtung des Interaktionsprozesses in betrieblichen Gruppen bei der Bewältigung von Optimierungsaufgaben. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O*, 51(2), 55–67. <https://doi.org/10.1026/0932-4089.51.2.55>.
- Lorenz, E. (2015). Work organisation, forms of employee learning and labour market structure. Accounting for international differences in workplace innovation. *Journal of the Knowledge Economy*, 6(2), 437–466. <https://doi.org/10.1007/s13132-014-0233-4>.
- Lorenz, E., & Valeyre, A. (2005). Organisational innovation, human resource management and labour market structure. A comparison of the EU-15. *Journal of Industrial Relations*, 47(4), 424–442. <https://doi.org/10.1111/j.1472-9296.2005.00183.x>.
- Lüdtke, A. (2015). Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung. In: A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 125–146). Berlin Heidelberg: Springer.

- Mühlbradt, T. (2015). *Was macht Arbeit lernförderlich? Eine Bestandsaufnahme*. Stuttgart: MTM-Institut (MTM-Schriften Industrial Engineering, Ausg. 1).
- OECD. (2010). *Recognising non-formal and informal learning*. Paris: OECD Publishing.
- Oesterreich, R., & Dunckel, H. (1993). *Kontrastive Aufgabenanalyse im Büro. Der KABA-Leitfaden*. Zürich: vdf Verl. d. Fachvereine (Mensch, Technik, Organisation, 5).
- Pietzcker, F. (Hrsg.) (2010). *Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch. Zeitweilige partizipative Gruppenarbeit zur Problemlösung; mit besonderem Blick auf Organisationsentwicklung, Wissensmanagement und betriebliche Gesundheitsvorsorge*. Zürich: vdf Hochschulverl. (Mensch - Technik - Organisation, 45).
- Richter, P., & Hacker, W. (1997). *Psychische Fehlbeanspruchung*. Heidelberg: Asanger.
- Seligman, M. E. P. (1995). *Erlernte Hilflosigkeit* (5., korrigierte Aufl., erw. um: Franz Petermann: Neue Konzepte). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Sell, R., & Schimweg, R. (2002). *Probleme lösen. In komplexen Zusammenhängen denken* (mit 19 Tabellen. 6., korrigierte Aufl.). Berlin: Springer (Engineering online library).
- Stewart, I., Debapratim, D., & Cole, A. (2015). *Technology and people: The great job-creating machine*. London: Deloitte LLP. <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/finance/deloitte-uk-technology-and-people.pdf>, zugegriffen am 21.08.2016.
- Ulich, E. (1978). Über das Prinzip der differentiellen Arbeitsgestaltung. *Industrielle Organisation*, 47, 566–568.
- Ulich, E. (2005). *Arbeitspsychologie* (6., überarb. und erw. Aufl.). Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2646503&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm, zugegriffen am 21.08.2016.
- Ulich, E. (2016). Differenzielle Arbeitsgestaltung – Ein zukunftsfähiges Konzept. In: Institut für Arbeitsforschung und Organisationsberatung (iafob) (Hrsg.), *Unternehmensgestaltung im Spannungsfeld von Stabilität und Wandel. Band 2: Neue Erfahrungen und Erkenntnisse*. Zürich: vdf Hochsch.-Verl. an der ETH (Mensch - Technik - Organisation, 43).
- Weber, W. G. (1997). *Analyse von Gruppenarbeit. Kollektive Handlungsregulation in soziotechnischen Systemen* (Eidgenössische Techn. Hochsch., Habil.-Schr.--Zürich, 1996, 1. Aufl.). Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 57).
- Zölch, M., Weber, W. G., & Leder, L. (Hrsg.) (1999). *Praxis und Gestaltung kooperativer Arbeit*. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH Zürich (Mensch, Technik, Organisation, 23).

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefdatenerkennung

Andreas Bächler, Liane Bächler, Sven Autenrieth, Hauke Behrendt, Markus Funk, Georg Krüll, Thomas Hörz, Thomas Heidenreich, Catrin Misselhorn und Albrecht Schmidt

3.1 Motivation

Der demografische Wandel und die Globalisierung führen zu erheblichen Veränderungen der heutigen Industrieprozesse der Produktion und der dazugehörigen Logistik in Deutschland. Eine Folge der Globalisierung ist die Entwicklung des Marktes vom Anbieter- über den Käufer- hin zum Individualmarkt (Günthner et al. 2004; Lotter 2012). Dazu gehört die Möglichkeit der individuellen Gestaltung von Produkten, aber vor allem auch die ständige

A. Bächler (✉)

RITTAL GmbH & Co. KG, Rudolf Loh Straße 2, D-35708, Haiger, Deutschland
e-mail: baechler.a@rittal.de

L. Bächler · T. Heidenreich
Social Work, Health Care and Nursing Sciences,
University of Applied Science Esslingen, Deutschland
e-mail: Liane.baechler@hs-esslingen.de

S. Autenrieth · G. Krüll · T. Hörz
Mechanical Engineering, University of Applied Science Esslingen, Esslingen am Neckar, Deutschland

H. Behrendt · C. Misselhorn
Institut für Philosophie, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

M. Funk
Institut for Visualization and Interactive Systems, University of Stuttgart,
Stuttgart, Deutschland

A. Schmidt
University of Stuttgart, Stuttgart, Deutschland.

Verfügbarkeit von Waren und Informationen (Ten Hompel et al. 2011). Der Trend der kundenindividuellen Produkte mit der Losgröße 1 verursacht eine hohe Variantenvielfalt und eine steigende Komplexität im Produktions- und Logistiknetzwerk (Reif 2009). Diese Veränderung von der Großserienfertigung hin zu einer Fertigung mit geringen Stückzahlen führt dazu, dass sich die Anzahl repetitiv auszuführender Tätigkeiten reduziert und sich somit automatisierte Lösungen in der Fertigung oftmals nicht mehr wirtschaftlich einsetzen lassen. Eine fehlende Flexibilität, hohe Investitions- bzw. Betriebskosten, aber auch der Bedarf an höher qualifizierten Mitarbeitern für die Bedienung und Wartung dieser vollautomatisierten Anlagen erschweren zusätzlich den Einsatz in Produktions- und Logistikprozessen (Lotter 2012).

Um in diesen Veränderungen auf einem globalen Markt wettbewerbsfähig bleiben zu können, sind sowohl eine hohe Flexibilität der Produktion mit kurzen Montage-, Kommissionier-, Rüst- und Einlernzeiten als auch ein hoher Qualitätsstandard und niedrige Produktions- und Logistikkosten erforderlich.

Der Mensch bietet mit seiner Eigenschaft der komplexen Wahrnehmung, seinem Greif-, Tast-, Hör- und Sehvermögen sowie durch seine kognitiven Fähigkeiten geeignete Voraussetzungen, um schnell und flexibel auf die sich verändernden Markt- und Produktionsbedingungen zu reagieren (Arnold und Furmans 2009; Böhle 2005).

Die durch die beschriebenen Entwicklungen verursachten häufig auftretenden Änderungen in den manuellen Arbeitsabläufen führen einerseits zu einem abwechslungsreicheren und dadurch interessanteren Arbeitsinhalt der Mitarbeiter. Andererseits steigen aber auch die Ansprüche hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, Ausdauer und Konzentration und dadurch auch der Fehleranfälligkeit, je länger die Mitarbeiter mit ihrer Tätigkeit befasst sind (Reinhart und Zäh 2014). Aufgrund der hohen Varianz der Produkte ist zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität der manuellen Tätigkeiten eine ebenfalls hohe Qualifikation der Mitarbeiter erforderlich.

Neben den industrieseitigen Veränderungen stellt der demografische Wandel mit einer stetig älter werdenden Gesellschaft eine zusätzliche Herausforderung dar. Aktuelle Zahlen des Statistischen Bundesamtes zeigen, dass sich das Durchschnittsalter der Erwerbstätigen und dadurch der Anteil der Beschäftigten, die ein eingeschränktes Leistungsspektrum aufweisen können, in Deutschland deutlich erhöhen. Konkret wird von 2000–2050 ein Rückgang des Bevölkerungsstandes in Deutschland um 9 % prognostiziert. Der Anteil der für die Industrie wichtigen Gruppe der 20- bis 60-Jährigen sinkt dabei von 45,5 auf 35,4 Mio. Erwerbstätige. Die Zahl der über 60-Jährigen steigt hingegen von 19,4 auf 27,5 Mio. Menschen an (Statistisches Bundesamt 2009). Diese Zahlenprognosen erfolgten jedoch ohne Berücksichtigung der aktuell starken Zuwanderung durch Migranten und Flüchtlinge. Das Ergebnis einer Marktstudie mit 130 in Deutschland ansässigen

Industrieunternehmen zeigt, dass der Anteil an leistungsgewandelten¹ Beschäftigten bereits heute einen prägnanten Wert von bis zu 20 % der Gesamtbelegschaft einnimmt (Hörz et al. 2013).

Die „Engpassanalyse 2013“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie beschreibt den ebenso durch die überalternde Gesellschaft bedingten Fachkräftemangel in den industriellen Berufsfeldern. Dieser Mangel an Nachwuchs- und Fachpersonal führt dazu, dass Unternehmen immer häufiger ihre Bedarfe in den jeweiligen Tätigkeitsfeldern nicht adäquat decken können (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 2013). Zusätzlich führen die steigenden Anforderungen an Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) dazu, dass für die Personengruppe der leistungsgeminderten Menschen neue Wege der Beschäftigung und dadurch auch der Unterstützung gefunden werden müssen.

Aufgrund dessen ist es nicht nur aus sozialen, sondern auch aus wirtschaftlichen Aspekten erforderlich, leistungsgewandelte und leistungsgeminderte² Menschen im industriellen Umfeld weiter bzw. neu zu beschäftigen (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2014). Von Seiten der Industrie haben die Bemühungen für eine inklusive Gestaltung des Arbeitsmarktes ebenfalls zugenommen, so wie dies im Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Beeinträchtigungen (UN-Behindertenrechtskonvention) gefordert wird und im Sozialgesetzbuch IX mit dem Gesetz zur „Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen“ geregelt ist (Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen 2014; Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2011; Artikel des Sozialgesetzbuches – Neuntes Buch – (SGBIX) Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen 2001).

3.2 Forschungsprojekt motionEAP

Im Zuge des Forschungsprojektes „motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion“ werden anwender- und prozessorientierte Assistenzsysteme für Montage- und Kommissionierprozesse entwickelt, prototypisch umgesetzt und evaluiert. Der nutzerorientierte Entwicklungsprozess soll dabei sowohl die Anforderungen der Industrieunternehmen als auch die der leistungsgeminderten Anwender miteinander kombinieren. Die

¹ Unter „leistungsgewandelten“ Mitarbeitern sind ehemals vollleistende Beschäftigte mit Einschränkungen zu verstehen, welche für einen gewissen Zeitraum oder dauerhaft nicht mehr in der Lage sind, ihre bisherige Arbeitstätigkeiten mit den entsprechenden Anforderungen und Belastungen auszuführen. Hierbei geht es besonders um Mitarbeiter mit erworbenen Behinderungen als Folge einer Krankheit, eines Unfalls oder von Alterserscheinungen. An einem angepassten Arbeitsplatz können diese Mitarbeiter jedoch ihre volle Leistung erbringen (Adenauer 2004; Jahn 2001).

² Im vorliegenden Artikel werden Personen mit Beeinträchtigung der funktionalen Gesundheit als „leistungsgeminderte“ Mitarbeiter bezeichnet. Dieser Begriff bezieht sich auf eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit, womit das maximale Leistungsniveau einer Person bzgl. einer Aufgabe oder Handlung unter Test-, Standard oder hypothetischen Bedingungen gemeint ist (Schuntermann 2007).

Entwicklung und Umsetzung erfolgt in einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit Experten aus den Fachgebieten Maschinenbau, Informatik, Pädagogik, Psychologie und Ethik.

3.2.1 Ziele und Herausforderungen

Mit den Assistenzsystemen werden folgende Ziele verfolgt (siehe [Abb. 3.1](#)):

- Die Komplexität und der Aufwand bei der Einarbeitung von Mitarbeitern mit unterschiedlichem Leistungsniveau und fachlichem Hintergrund in neue Tätigkeitsgebiete soll reduziert werden.
- Die Motivation und Arbeitsfähigkeit von älteren und leistungsgeminderten Mitarbeitern soll erhalten bzw. verbessert und die Anzahl an Produktionsfehlern reduziert werden.
- Die kognitive Beanspruchung und das Stresslevel der Mitarbeiter während der Arbeitstätigkeit soll verringert werden.
- Die Einbeziehung ergonomischer und motivierender Elemente soll verschleißbedingten Erkrankungen vorbeugen und ein gesundes Arbeitsverhalten unterstützen.
- Die Inklusion und Wiedereingliederung von leistungsgeminderten und -gewandelten Personen in industrielle Arbeitsumgebungen soll aufgrund sozialer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte ermöglicht werden.
- Die Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Unternehmen und WfbMs bei manuellen Industrietätigkeiten soll verbessert werden.

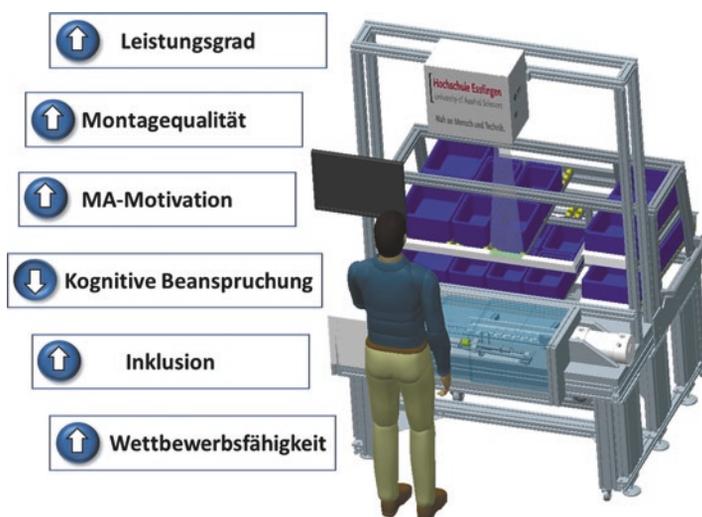


Abb. 3.1 Ziele des Assistenzsystems

3.2.2 Technische Umsetzung

Im Zuge des Projektes wird ein Assistenzsystem für Montage- und eines für Kommissionierprozesse entwickelt (siehe [Abb. 3.2](#)). Das Assistenzsystem für Montageprozesse wird dabei in zwei Anwendungsszenarien eingesetzt. Zum einen findet das Assistenzsystem Anwendung in einer Montagezelle mit drei verketteten Arbeitsplätzen zur Unterstützung der Montage von PKW-Anlassern (siehe [Abb. 3.2](#)). Zum anderen wird das System an einem Einzelarbeitsplatz zur Montage von Schraubzwingen eingesetzt (siehe [Abb. 3.1](#) oder [Abb. 3.3](#)).

3.2.2.1 Anwendungsfall Montage

Das motionEAP-Montageassistenzsystem besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem Kamerasystem (Microsoft Kinect) und einem Projektierungsgerät (Beamer), welche über einen PC mit einer speziell dafür entwickelten Assistenzsoftware gesteuert werden (siehe



Abb. 3.2 Assistenzsysteme in einer Montagezelle (links), Assistenzsystem für Kommissionierprozesse (rechts)

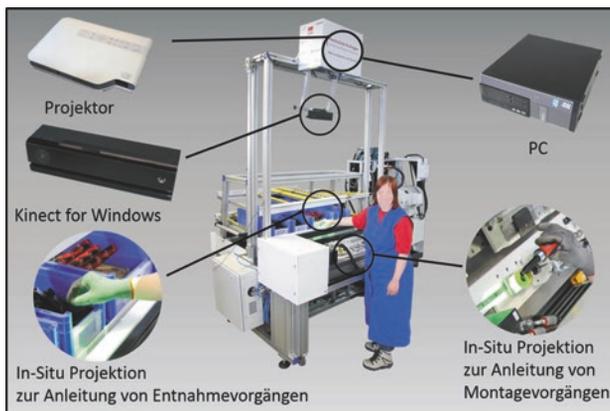


Abb. 3.3 Hauptbestandteile und Anleitungsfunktionen des Montageassistenzsystems

[Abb. 3.3](#)). Diese Komponenten können durch ihren modularen Hardwareaufbau an bzw. über fast jedem herkömmlichen Montagearbeitsplatz angebracht werden (vgl. Funk et al. [2015b](#)).

Das System benutzt die Tiefendaten der Microsoft Kinect_v2, um Arbeitsprozesse der Mitarbeiter am Arbeitsplatz zu erkennen. Dabei erfolgt eine Unterscheidung zwischen Entnahme- und Montagevorgängen. Bei der Entnahme wird über jedem Kleinladungsträger (KLT), in dem Teile für den Montageprozess aufbewahrt werden, eine interaktive Zone erstellt. Diese interaktive Zone umfasst den Bereich über dem KLT mit einer Höhe von ca. 15 cm. Wenn ein Mitarbeiter ein Bauteil aus einem KLT entnimmt, führt dies zu einer Veränderung der Tiefendaten in diesem Bereich und das Assistenzsystem erkennt einen Entnahmevorgang. Die zweite Aktion ist das automatische Erkennen der korrekten Montage der Teile. Dabei überwacht die Kinect die aktuellen Tiefendaten des Montagebereichs mit 30 Bildaufnahmen pro Sekunde und vergleicht diese mit einem zuvor referenzierten Soll-Zustand. Um Sensorrauschen und Toleranzen auszugleichen, gilt ein Teil als korrekt verbaut, wenn mindestens 85 % der Tiefendaten mit dem Referenzwert übereinstimmen. Dieser Wert wurde empirisch ermittelt und hat sich in mehreren Studien als zuverlässig erwiesen. Nachdem die Montage eines Bauteils korrekt erkannt wurde, wird der nachfolgende Arbeitsschritt angeleitet.

Zur Unterstützung von unerfahrenen oder leistungsgeminderten Mitarbeitern bei deren Arbeitstätigkeiten wird durch das Assistenzsystem ein Feedback „in-situ“ projiziert, d. h. Informationen direkt auf dem Arbeitsplatz bereitgestellt. Dabei wird in einem ersten Schritt die Entnahme und die Anzahl der Bauteile aus dem entsprechenden KLT über einen grün blinkenden Lichtbalken und die Entnahmestückzahl, welche vor den KLT projiziert werden, angeleitet (siehe [Abb. 3.3](#)). Falls ein Mitarbeiter versucht, ein Teil aus einem falschen KLT zu entnehmen, wird dies mit einem roten Balken hervorgehoben. Diese Art der Fehlerrückmeldung soll die Mitarbeiter auf entsprechende Fehler aufmerksam machen. Nach der korrekten Entnahme der Bauteile wird die korrekte Montageposition und Bauteilorientierung durch die Projektion der grün leuchtenden Kontur des Bauteils an der entsprechenden Position auf der Montagevorrichtung angeleitet (siehe [Abb. 3.3](#)). In vergangenen Studien hat sich diese Anleitungform mittels grüner Kontur neben einer mündlichen Einweisung, einer Bildanleitung und einer Videoanleitung als die hilfreichste Darstellungsform in Bezug auf die subjektive Beanspruchung, die Ausführungszeit und die Fehlerrate erwiesen (Funk et al. [2015a](#)). Nach der korrekten Positionierung und Montage eines Bauteils startet das Assistenzsystem mit der Entnahmeanleitung des nachfolgenden Bauteils.

Durch die Erfassung und Erkennung von Arbeitsabläufen, Zeiten und Fehlern ist das System in der Lage, den Lernzustand bzw. den Erfahrungsstand des Mitarbeiters einschätzen zu können. Hierdurch kann das System automatisch auf den Mitarbeiter „zugeschnittene“ Anleitungen mit niedrigerem oder höherem Informationsgehalt bzw. mehr oder weniger visuelles Feedback bieten. Beim vorliegenden Assistenzsystem werden folgende drei Feedback-Level definiert: Anfänger, Fortgeschrittener und Experte. Im Anfänger-Level wird zusätzlich zu der Entnahme- und Montageposition jedes Bauteils eine Videoanleitung angezeigt, die dem Mitarbeiter die Montageschritte und -inhalte nochmals anzeigt.

Die dauerhafte Bereitstellung von Videoanleitungen wirkt sich störend aus, deshalb erfolgt die Anleitung mit steigender Arbeitserfahrung im Fortgeschrittenen-Level mittels projizierter Konturen. Im Expertenmodus bietet das System keinerlei visuelle Anleitungen für die Montageschritte, jedoch erkennt und kontrolliert das System in diesem Level die Montage- und Entnahmeschritte im Hintergrund und kann dadurch im Fall eines Fehlers intervenieren.

Das Einrichten eines neuen Montageprozesses und die Erstellung der interaktiven Anleitungen werden durch eine Funktion zur Programmierung durch Demonstration vereinfacht. Hierbei „programmiert“ ein Einrichter, welcher den Montageprozess bereits kennt, den Prozess durch einmaliges „Vormachen“ der Arbeitsschritte und -abfolge. Das Assistenzsystem erkennt im Einrichtemodus während dem Vormachen die einzelnen Arbeitsschritte und speichert für jedes Bauteil einen Entnahme- und Montageschritt ab. Dabei werden für die Entnahmeschritte der Entnahmeort und für die Montageschritte nach dem korrekten Verbau des jeweiligen Bauteils die Tiefendaten gespeichert. Mithilfe dieser Daten errechnet das Assistenzsystem bei den anschließenden Montagetätigkeiten automatisch die Position und Orientierung der projizierten Lichtbalken und Konturen. Zusätzlich dienen die Daten als Referenzwerte bzw. Soll-Zustände für die Kontrolle der korrekten Entnahme- und Montageposition bzw. Orientierung der einzelnen Bauteile. Durch die Funktionsweise dieses Einrichtemodus ist kein kompliziertes und zeitintensives Programmieren oder Einrichten von neuen Montageprozessen erforderlich. Nach abgeschlossenem Einrichtevorgang werden mithilfe der Anleitung die Mitarbeiter mit unterschiedlichen Leistungsniveaus dazu befähigt, ihnen noch unbekannte Montagetätigkeiten bereits beim ersten Durchlauf selbstständig durchzuführen.

3.2.3 Pädagogisch-Psychologische Aspekte für die Nutzung von Assistenzsystemen

In den letzten Jahren hat sich international ein verändertes Paradigma in Bezug auf die Inklusion von Menschen mit Behinderungen durchgesetzt. Niedergeschlagen hat sich dies insbesondere in der UN-Behindertenrechtskonvention über die Teilhabe von Menschen mit Behinderung und beeinflusst indessen die Diskussion auf gesamtpolitischer Ebene. Durch die Ratifizierung dieser Konvention im Jahr 2009 wurde Inklusion somit zum Leitgedanken und zum zentralen Handlungsprinzip, auch innerhalb der Bundesrepublik.³ So

³ Zwar waren in der deutschen Gesetzgebung schon vorher einige Regelungen enthalten, um die Gleichberechtigung von Menschen mit Behinderung durchzusetzen, wie z. B. das Grundgesetz zur Verhinderung der Benachteiligung von Menschen mit Behinderung (Art. 3 Abs. 3). Auch das Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) verfolgt dieses Ziel, zudem ist das Recht auf Teilhabe am gesellschaftlichen Leben im Sozialgesetzbuch festgelegt (SGB IX). Dennoch gibt es viele Bereiche, in denen die UN-Konvention detaillierte Hinweise und somit der deutschen Gesetzgebung wichtige Impulse zur Gestaltung der Inklusion von Menschen mit Behinderungen gibt.

besagt Art. 4 der Behindertenrechtskonvention, dass unter anderem Geräte und neue unterstützende Technologien einen entscheidenden Beitrag zur Ausgestaltung einer inklusiven Gesellschaft, insbesondere hinsichtlich des Arbeitsmarktes, darstellen. In Bezug auf den Arbeitsplatz bedeutet dies, dass angemessene Vorkehrungen für Menschen mit Behinderungen getroffen werden müssen, welche ihre Einschränkungen und Bedürfnisse berücksichtigen (vgl. Art. 27) (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2011).

Forschungstätigkeiten im Themengebiet der Erwerbslosigkeit zeigen, dass insbesondere Erwerbsarbeit eine wichtige sinn- und identitätsstiftende Funktion im Leben darstellt (Schaper 2006). In unserem westlichen Kulturkreis erfüllt sie nicht nur Funktionen der Existenzsicherung, sondern stellt gleichzeitig den wichtigsten Ursprung für die Gestaltung der persönlichen Identität und für vielfältige Lebenserfahrungen dar. Die zahlreichen Folgewirkungen von Erwerbslosigkeit, wie z. B. Langeweile, emotionale Labilität, Gefühle der Wertlosigkeit und des Überflüssigseins oder psychosomatische Beschwerden, verdeutlichen diese Umstände und zeigen das Ausmaß der Notwendigkeit einer Teilhabe an Arbeit (Schwab 2009; Semmer und Udris 2004).

Die vorgestellten Assistenzsysteme berücksichtigen diese aktuellen Forderungen und unterstützen somit die Inklusion und Partizipation an der Arbeitswelt vor allem von Menschen mit Einschränkungen. Dabei geht es um eine für die Anwendungsgruppe zielgerichtete Unterstützung, welche diese nicht über-, aber gleichfalls auch nicht unterfordert.

3.2.4 Ethische Implikationen von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz

Technologische Innovationen haben das Potenzial, die Lebenswelt des Menschen fundamental zu verändern. Die ethische Untersuchung von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz beinhaltet die Antizipation und ethische Bewertung solcher Auswirkungen, die diese Technologien auf die Arbeitswelt und unser Verständnis von Arbeit haben können. Wichtige Gesichtspunkte der ethischen Bewertung von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz sind beispielsweise die Bedeutung der Arbeit für das gute Leben, die Merkmale guter oder zumindest menschenwürdiger Arbeit und Arbeitsbedingungen sowie die gerechte Verteilung von Arbeit.

Die Untersuchung dieser Gesichtspunkte lässt sich in negative und positive Aspekte unterteilen. Negative Aspekte geben Gründe, die *gegen* einen Einsatz von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz sprechen; positive Aspekte entsprechend Gründe *für* einen solchen. Diese Aspekte müssen gegeneinander abgewogen werden. Im Fall von Konflikten muss erwogen werden, wie die ethisch positiven Aspekte unter Vermeidung möglicher negativer Konsequenzen realisierbar sind. Auf eine griffige Formel gebracht geht es bei der Untersuchung ethischer Implikationen von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz also um die Frage, welchen Wert diese Technologie für die gesellschaftliche Entwicklung besitzt und worin dieser Wert im Einzelnen besteht.

Die ethische Beurteilung konkreter Sachverhalte erfordert eine Herangehensweise, die den gesellschaftlichen Kontext miteinbezieht. Für diesen speziellen Fall muss etwa berücksichtigt werden, dass es um den Einsatz von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz und nicht in der Privatsphäre geht, dass dieser Arbeitsplatz in einer kapitalistisch organisierten Arbeitswelt verortet ist und dass diese wiederum als Teil eines umfassenden gesellschaftlichen Kooperationszusammenhangs gesehen werden muss. Um dabei eine möglichst präzise Einschätzung der ethischen Dimension von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz abgeben zu können, ist es hilfreich, zwei Fragen zu unterscheiden:

- Wie sehen Standards guter Arbeit aus, die festlegen, unter welchen Bedingungen Assistenzsysteme eingesetzt werden müssen?
- Warum sollten Assistenzsysteme überhaupt eingesetzt werden?

Die erste Frage thematisiert, *wie* Assistenzsysteme eingesetzt werden müssen, um ethischen Grundsätzen zu entsprechen. Die allgemeinen ethischen Standards, an denen heute ein guter Arbeitsplatz gemessen wird, dürften sich ihrer Struktur nach auf den speziellen Fall von Arbeitsplätzen mit Assistenzsystemen übertragen lassen. Ein allgemeines moralisches Prinzip, dem diese Standards entsprechen müssen, lässt sich in Anlehnung an Kant als „Instrumentalisierungsverbot“ bezeichnen (Kant 1961). An die Stelle von gesundheitlichen Belastungen, restriktiven Arbeitsbedingungen, monotonen Arbeitsinhalten und autoritärer Führung setzen diese Standards Vorstellungen von guter Arbeit, in denen ein Bedürfnis nach Selbstbestimmung, Anerkennung und Beteiligung ausschlaggebend ist (Sauer 2011). Es ist daher davon auszugehen, dass sich Arbeiter, die mit einem Assistenzsystem arbeiten, als weitestgehend selbstbestimmt und eigenverantwortlich verstehen können müssen. Andernfalls wäre die wichtige Forderung nach Autonomie verletzt. Gleichzeitig dürfen die besonderen Bedürfnisse von Menschen mit Behinderung nicht unberücksichtigt bleiben. Assistenzsysteme können gerade für diese Personengruppe hilfreich sein, wenn und sofern auf einen bedarfsgerechten Einsatz geachtet wird. Neben dem Instrumentalisierungsverbot gilt für Arbeitsplätze mit Assistenzsystem also auch eine gewisse Fürsorgepflicht. Um diese unscharfen Begriffe handhabbar zu machen, müssen die Perspektiven von allen beteiligten Personen genauer betrachtet und ihre begründeten Ansprüche gegeneinander abgewogen werden.

Eine umfassende Untersuchung ethischer Aspekte kann sich jedoch nicht mit dem Nachweis zufrieden geben, dass der Einsatz von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz unter bestimmten Bedingungen moralisch erlaubt ist. Sie muss sich ebenfalls mit der zweiten Frage beschäftigen, *warum* Assistenzsysteme eingesetzt werden sollten, welche positiven Gründe also für einen Einsatz sprechen. Ein wichtiges Einsatzgebiet betrifft die Inklusion leistungsgeminderter und -gewandelter Menschen (vgl. Abschn. 3.2.3). Assistenzsysteme öffnen dieser Personengruppe einen Teil der Arbeitswelt, der ihnen ohne sie verschlossen bliebe oder von dem sie zumindest eklatant von Ausschluss bedroht wären. Unter der Voraussetzung, dass Arbeit in kapitalistischen Gesellschaften

eine wichtige Dimension des guten Lebens und der gesellschaftlichen Teilhabe darstellt, spricht die Inklusion leistungsgeminderter Menschen auf den ersten Blick ethisch für den Einsatz von Assistenzsystemen. Hierbei sind auch die ethischen Auswirkungen zu prüfen, die der Einsatz von Assistenzsystemen auf die gerechte Verteilung von Arbeit haben könnte.

Die positive Bewertung der Arbeit muss freilich selbst einer genauen ethischen Überprüfung unterzogen werden. Lässt sie sich mit Blick auf das aufgeklärte Eigeninteresse der Beteiligten als gewollt ausweisen, spiegelt sie einen allseitig geteilten Wert wider bzw. hilft dabei, diesen gesellschaftlich zu verwirklichen, oder handelt es sich gar um eine stärkere moralische Forderung? Antworten auf diese Frage verbessern unser Verständnis der Gründe, die für den Einsatz von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz sprechen. Dies ist wichtig, um eine unter ethischen Gesichtspunkten positive Ausgestaltung des Einsatzgebiets dieser Systeme zu realisieren.

3.3 Auswirkungen von Assistenzsystemen für manuelle Montagetätigkeiten auf betriebliche Funktionen

3.3.1 Betroffene Tätigkeiten

Der Einsatz und die Verwendung des motionEAP-Montageassistenzsystem betrifft vor allem das direkte Montageumfeld. Hierzu gehören der ausführende Montagemitarbeiter sowie ein montageverantwortlicher Vorarbeiter. Beim Einsatz des motionEAP-Assistenzsystems lassen sich die ausführenden Montagemitarbeiter in die zwei Anwendergruppen der leistungsgeminderten und der normal leistungsfähigen Mitarbeiter unterteilen. Das Assistenzsystem wurde zwar im Speziellen für leistungsgeminderte und leistungsgewandelte Mitarbeiter entwickelt, lässt sich aber durch die intuitive Gestaltung auch für die Nutzergruppe der normal leistungsfähigen Mitarbeiter einsetzen. Die drei hauptsächlich durch das System betroffenen Tätigkeitsfelder zeichnen sich zum bisherigen Zeitpunkt durch folgende Eigenschaften und Arbeitsinhalte aus:

Leistungsgeminderte Mitarbeiter

Die leistungsgeminderten Mitarbeiter, welche im Zuge des Projektes das Assistenzsystem in zahlreichen Studien evaluiert und getestet haben, lassen sich anhand ihrer Leistungsfähigkeit in die drei Hauptgruppen 0 bis <15 %, 15 bis 35 % und 35 %+ einteilen. Diese Unterscheidung erfolgt anhand des Leistungsgrades der Mitarbeiter, welcher sich ausgehend von dem Leistungsgrad eines normal leistungsfähigen Menschen mit 100 % orientiert. Zusätzlich fand für Evaluierungen eine Unterteilung der Behinderungsarten in körperliche, geistige und psychische Beeinträchtigungen statt. Die Ergebnisse verschiedener Studien haben gezeigt, dass vor allem die schwächste Leistungsgruppe der 0 bis <15 %igen Mitarbeiter mit geistiger Behinderung von einem solchen Montageassistenzsystem profitiert (Bächler et al. 2015; Funk et al. 2015a). Die nachfolgenden Bewertungen erfolgen daher stellvertretend für diese Zielgruppe.

Aufgrund der begrenzten Einsatz- und Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter mit dem Leistungsgrad 0 bis <15 % umfassen die bisherigen Tätigkeiten vor allem sehr einfache, sich wiederholende und monotone Aufgaben mit geringen Arbeitsinhalten. Hierzu gehören z. B. das Bestücken von Steckbrettern mit Bolzen und Schrauben, das Eintauchen von Bauteilen in Korrosionsschutzöle, das Bekleben von Verpackungen usw. Das Angebot an solch einfachen Tätigkeiten ist in den WfbM jedoch sehr begrenzt, weshalb die Mitarbeiter oftmals aufgrund fehlender Aufträge ohne Tätigkeit und Beschäftigung sind. Die meist geringe kognitive Leistungsfähigkeit dieser Mitarbeiter führt dazu, dass bei der Ausübung von komplexeren Arbeitsinhalten viele Fehler auftreten, die Mitarbeiter eine hohe subjektive Beanspruchung erleben und lange Montagezeiten entstehen (Funk et al. 2015b). Bisher werden die Mitarbeiter durch persönliche Betreuer in ihren Arbeitstätigkeiten eingewiesen und bei Bedarf längerfristig betreut. Zusätzlich bieten am Arbeitsplatz angebrachte Bildanleitungen in Papierform eine weitere Hilfestellung. Die größten Herausforderungen bei leistungsgeminderten Mitarbeitern stellen die große Varianz der Leistungsgrade, die individuellen Beeinträchtigungsarten und die dauerhaft erforderliche technische und pädagogische Betreuung der Mitarbeiter dar.

Normal leistungsfähige Mitarbeiter

Das Assistenzsystem wurde neben dem Einsatz in einer WfbM auch in der Montageumgebung von einem der größten deutschen Automobilhersteller getestet. Die dortige Nutzergruppe bestand mehrheitlich aus normal leistungsfähigen Mitarbeitern. An den Evaluierungen waren vereinzelt auch leistungsgewandelte Mitarbeiter beteiligt, diese waren jedoch anonym und konnten somit nicht für Auswertungen herangezogen werden. Die Mehrheit der Nutzer hatte einen auf die Tätigkeit bezogenen fachlichen Hintergrund, z. B. als Industriemechaniker, Werkzeugmacher, Schlosser etc. Die derzeitigen Tätigkeiten der Mitarbeiter umfassen die wesentlichen Vorgänge wie Füge- (z. B. Stecken, Schrauben, Fetten, Clipsen) und Handhabungsprozesse (z. B. Aufnehmen, Ablegen) innerhalb der Montage. In den Untersuchungen mit dieser Nutzergruppe wurde die Montage eines PKW-Starters mit 17 Einzelteilen und 30 Montageschritten als exemplarisches Beispiel ausgewählt. Für dieses Produkt besteht eine Variantenvielfalt von über 80 verschiedenen Typen, welche sich oftmals nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die hohe Anzahl an Einzelteilen, Montageschritten und Varianten führt unter den derzeitigen Montagebedingungen mit einer anfänglichen Einweisung durch einen Gruppenleiter oder Meister und anschließender eigenverantwortlichen Arbeitsweise mit alleiniger Hilfestellung durch eine Arbeitsanweisung zu einer relativ hohen kognitiven Beanspruchung der Mitarbeiter und einem hohem Fehlerpotenzial.

Gruppenleiter/Meister

Bis zum heutigen Zeitpunkt erfolgen das Einlernen und die Unterweisung von unerfahrenen Mitarbeitern in neue Montage Tätigkeiten in der Regel in vier Stufen. In einer ersten Stufe erfolgt eine mündliche Unterweisung durch den Einweisenden, in einer zweiten Stufe wird der entsprechende Montageprozess vorgemacht, in der dritten Stufe führt der Unterwiesene den Montagevorgang unter Aufsicht des Einweisenden aus und in einer

letzten Stufe muss der Unterwiesene die Tätigkeit (alleine oder unter Aufsicht) so lange ausführen bzw. einüben, bis dieser die Tätigkeit problemlos beherrscht. In der Industrie erfolgt die Arbeitsunterweisung meist durch einen erfahrenen Vorarbeiter, welcher oftmals die berufliche Qualifikation eines Meisters innehat. In einer WfbM erfolgt die Unterweisung durch einen Gruppenleiter, welcher zum einen Erfahrungen in dem auszuführenden Montageprozess hat, aber auch die persönlichen Fähigkeiten und Besonderheiten des zu Unterweisenden kennt. Aus diesem Grund haben die Gruppenleiter meist sowohl einen technischen Hintergrund und zusätzlich eine Weiterqualifikation im pädagogischen Bereich. Als anschließende Hilfestellung befindet sich sowohl in der Industrie als auch in den WfbMs gewöhnlich eine Arbeitsanweisung in Papierform mit einer Text- und Bildanleitung an den Arbeitsplätzen.

Ein weiterer wichtiger Tätigkeitsschwerpunkt der Gruppenleiter und Meister ist die kurzfristige Planung und Steuerung der einzelnen Montageaufträge sowie die Zuteilung der Montagemitarbeiter auf die jeweiligen Arbeitsplätze.

3.3.2 Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien werden detailliert von Wischmann & Hartmann sowie von Bauer et al. in diesem Band beschrieben.

3.3.3 Auswirkungen auf betriebliche Funktionen

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 3.1) soll eine Einschätzung der Auswirkungen und Konsequenzen eines Einsatzes des Assistenzsystems zur Unterstützung und Kontrolle von manuellen Montagetätigkeiten auf verschiedene betriebliche Funktionen geben. Die Bewertung der einzelnen Kriterien stellt eine subjektive Einschätzung dar, welche auf ersten Erfahrungen in qualitativen und quantitativen Labor- und Felduntersuchungen des Assistenzsystems mit leistungsgeminderten und normal leistungsfähigen Mitarbeitern basiert.

Tab. 3.1 zeigt, dass sich vor allem für die Nutzergruppe der leistungsgeminderten Mitarbeiter eine positive Veränderung ergibt. Dies äußert sich insbesondere in einer starken Zunahme des Bedarfs und des informellen Lernens. Dieser Anstieg bedeutet, dass bisher nur schwer einsetzbare Mitarbeiter durch die Unterstützung des Systems nun auch für Füge- bzw. Montageprozesse eingesetzt werden können und dadurch ihr Leistungsgrad bzw. die Möglichkeit des informellen Lernens steigt. Bedingt durch diese Veränderungen steigt für diese Mitarbeitergruppe auch der Anteil an komplexen Aufgaben, wobei der Einsatz des Assistenzsystems ein Anstieg der kognitiven Beanspruchung verhindern soll. Eine weitere wichtige Verbesserung ist die Zunahme des Selbstbestimmungsgrads dieser Zielgruppe, denn durch die Verwendung des Assistenzsystems können die Mitarbeiter zwischen verschiedenen Arbeitstätigkeiten auswählen, ihr eigenes Arbeitstempo bestimmen und auch selbstständig die Reihenfolge der auszuführenden Tätigkeiten (insoweit prozesstechnisch möglich) festlegen. Der Einsatz der drei Feedback-Level bietet den

Tab. 3.1 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen

	Leistungsgeminderte Mitarbeiter	Normal leistungsfähige Mitarbeiter	Gruppenleiter/ Meister
Bedarf	++	+	--
Problemlösung	--	-	-
Monotone Aufgaben	--	-	-
Komplexe Aufgaben	+	+	-
Planen	0	0	--
Kontrolle	0	--	-
Lernen, informell	++	+	0
Lernen, formell	+	+	+
Selbstbestimmung	+	+	0
Optimierung	+	+	+
Kooperation	+	+	0
Kommunikation	0	0	--
Interdisziplinarität	0	-	+
IT-Kenntnisse	0	0	+

Legende: -- wird viel weniger, - wird weniger, 0 bleibt gleich, + wird mehr, ++ wird viel mehr.

Mitarbeitern die Möglichkeit zur Optimierung der eigenen Tätigkeit. Gleichzeitig wird dadurch ein Anreiz zur Verbesserung und Steigerung der eigenen Effizienz geboten und das Lernen gefördert. Mit entsprechender Erfahrung an einem Einzelarbeitsplatz können selbst schwache Mitarbeiter für die Arbeit an verketteten Arbeitsplätzen befähigt und die Kooperation zwischen Mitarbeitern gefördert werden. Durch die Vernetzung der Assistenzarbeitsplätze können je nach Leistung der verschiedenen Arbeitsplätze einzelne Arbeitsinhalte flexibel auf die anderen Arbeitsplätze verteilt werden. Dadurch können selbst Mitarbeiter mit unterschiedlichen Leistungsniveaus gemeinsam an einer Montagelinie arbeiten. Die einzige Voraussetzung ist eine Variabilität der Montagestruktur und eine Doppelbelegung von entsprechenden Einzelteilen an mehreren Arbeitsplätzen.

Alle diese Aspekte können einen wichtigen Ansatz zur zielgerichteten Unterstützung und Förderung der Inklusion und Partizipation von Menschen mit Einschränkungen in die bzw. an der Arbeitswelt darstellen.

3.3.4 Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen

Abschließend werden die wichtigsten Änderungen eines Arbeitssystems durch den Einsatz des Assistenzsystems betrachtet. Die Erläuterung erfolgt dabei anhand der Systematisierung der Arbeitsbedingungen durch die nachfolgenden Elemente eines Arbeitssystems:

Arbeitsaufgabe

Erste Erfahrungen und Ergebnisse zeigen, dass bei leistungsgeminderten Mitarbeitern durch den Einsatz des Assistenzsystems der Inhalt der Arbeitsaufgaben bzw. die Anzahl der Arbeitstätigkeiten pro Arbeitsaufgabe und damit der Leistungsgrad erhöht werden kann. Diese Veränderung geschieht, ohne dabei eine Steigerung der kognitiven Beanspruchung zu bewirken.

Arbeitstätigkeiten

Im höchsten Feedback-Level des „Experten“ kann die zeitliche Abfolge der Montageaufgaben variabel verändert werden, solange der Prozess bzw. das Produkt dies zulässt. Die räumliche Abfolge, z. B. durch Beidhandarbeit und Mehrfachentnahme von Kleinteilen (z. B. einer Handvoll Schrauben) kann durch eine Abschaltung der Entnahmekontrolle und die alleinige Nutzung der Montagekontrolle flexibel verändert werden.

Arbeitsplatz/Arbeitsraum

Der geringe zeitliche und inhaltliche Aufwand für das Einrichten eines neuen Montageprozesses ermöglicht eine jederzeitige Veränderung der räumlichen Gestaltung des Arbeitsraumes und der Anordnung der Arbeitsmittel wie z. B. KLT, Schrauber und sonstige Montagewerkzeuge. Der Einrichtevorgang sollte jedoch durch qualifiziertes Personal (Gruppenleiter oder Meister) erfolgen. Auch ein Wechsel der zu montierenden Produkte ist auf diese Weise jederzeit kurzfristig und ohne großen Aufwand möglich.

Arbeitsmittel

Für einen Einsatz des Assistenzsystems werden hardwareseitig ein PC, ein Projektor und eine Tiefenkamera sowie die Assistenzsoftware benötigt. Um eine digitale Vernetzung eines einzelnen Assistenzarbeitsplatzes mit einer übergeordneten ERP-Software (Enterprise-Ressource-Planning) oder anderen Arbeitsplätzen zu erreichen, wird zusätzlich ein Netzwerk bzw. eine Datenbank benötigt. Es ist allerdings auch die Verwendung eines einzelnen autarken Assistenzsystems möglich.

Des Weiteren können Montagewerkzeuge wie Hämmer und Schraubendreher über fest definierte Ablagepositionen in den Arbeitsprozess eingebunden werden. Zusätzlich können auch Werkzeuge, wie z. B. Handschrauber mit einer Drehmomentüberwachung in das System eingebunden und vernetzt werden.

Arbeitsorganisation

Der bisher übliche Einlernprozess durch ein zeitaufwändiges Unterweisen, Vormachen und Begleiten kann durch das Assistenzsystem stark reduziert und teilweise sogar ersetzt werden. Denn wenn das Assistenzsystem für ein Produkt einmal eingerichtet ist, steht diese Anleitung jederzeit zur Verfügung. Das System kann autark und ohne menschliche Unterstützung die Unterweisung eines unerfahrenen normal leistungsfähigen Mitarbeiters übernehmen. Bei leistungsgeminderten Mitarbeitern ist jedoch eine zusätzliche Begleitung der Mitarbeiter während der Unterweisung ratsam, um etwaige kognitive Beanspruchungen durch den Neuheitscharakter des Prozesses, des Systems oder des Umfelds zu vermeiden.

Zusätzlich bietet das System Vorarbeitern eine hohe Flexibilität in ihrem zusätzlichen Aufgabenfeld der Steuerung und Planung von Montageaufträgen. Mithilfe des Systems können die zur Verfügung stehenden Mitarbeiter flexibel auf verschiedenste Arbeitsplätze oder Montageprozess verteilt und zugeordnet werden, ohne dass hierfür der bisherige Erfahrungsgrad berücksichtigt werden muss. Den Gruppenleitern von leistungsgeminderten Mitarbeitern steht durch den Einsatz des Assistenzsystems eine größere Anzahl an leistungsfähigen Mitarbeitern zur Verfügung. Denn gerade auch schwächere Mitarbeiter mit einem Leistungsgrad von 0 bis <15 %, welche bisher nur einfachste Handhabungstätigkeiten ausüben konnten, stehen nun auch für Montage- und Fügeprozesse zur Verfügung.

Arbeitsumgebung

Der Arbeitsbereich, auf welchen das Feedback projiziert wird, sollte möglichst keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein, sondern gleichbleibende Beleuchtungsverhältnisse vorweisen. Mithilfe der intuitiven und sprachfreien Unterweisung durch das Assistenzsystem spielen auch soziale und sprachliche Unterschiede zwischen Montagearbeitern und Einweisern zukünftig eine untergeordnete Rolle.

Qualifikation/Kompetenz

Durch die Unterstützung des Assistenzsystems ist selbst für komplexere Tätigkeiten mit einer hohen Anzahl an Arbeitsschritten nicht mehr länger eine hohe Qualifikation und Fachkompetenz erforderlich. Selbst von unerfahrenen oder leistungsgeminderten Mitarbeitern können bereits beim ersten Montagedurchlauf Aufträge mit hoher Variantenvielfalt ohne vorherige Einweisung fehlerfrei und mit niedriger kognitiver Beanspruchung durchgeführt werden.

3.4 Danksagung

Dieser Beitrag ist im Rahmen des Projekts „motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion“ entstanden. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Kennzeichen 01MT12021D gefördert und vom DLR-Projektträger betreut.

Literatur

- Adenauer, S. (2004). Die (Re-) Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess. Das Projekt FILM bei FORD Köln. *angew. Arbeitswiss*, 181, 1–18.
- Arnold, D., & Furmans, K. (2009). *Materialfluss in Logistiksystemen*. Berlin: Springer.
- Artikel des Sozialgesetzbuches – Neuntes Buch – (SGBIX) Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen. (2001). Sozialgesetzbuch (SGB) Neuntes Buch (IX) – Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen – (SGB IX).

- Bächler, L., Bächler, A., Kölz, M. et al (2015). Über die Entwicklung eines prozedural-interaktiven Assistenzsystems für leistungsgeminderte und -gewandelte Mitarbeiter in der manuellen Montage. In Soeffke Uni Magdeburg (Hrsg.), *Tagung Mensch Maschine*. Magdeburg.
- Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen. (2014). *Die UN-Behindertenrechtskonvention. Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen*. Berlin: Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen.
- Böhle, F. (2005). *Erfahrungswissen – die verborgenen Seiten professionellen Handelns. Eine Herausforderung für die berufliche Bildung*. Bonn: Fachtagung des Bundesinstituts für Berufsbildung.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2011). *Übereinkommen der Vereinten Nationen über Rechte von Menschen mit Behinderungen*. Vom Bundeskabinett beschlossen am 3. August 2011. Bonn.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2014). Initiative Inklusion. Maßnahmen zur Förderung der Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). (2013). *Engpassanalyse 2013. Besondere Betroffenheit in den Berufsfeldern Energie und Elektro sowie Maschinen- und Fahrzeugtechnik*. Berlin.
- Funk, M., Baechler, A., Baechler, L. et al. (2015a). Comparing projected in-situ feedback at the manual assembly workplace with impaired workers. In *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, New York, NY, USA.
- Funk, M., Mayer, S., & Schmidt, A. (2015b). Using in-situ projection to support cognitively impaired workers at the workplace. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*.
- Günthner, W. A., Schedlbauer, M., & Wulz, J. (2004). Augmented Reality in der innerbetrieblichen Logistik. *wt Werkstattstechnik-online*, 07/08, 363–365.
- Hörz, T., Korn, O., & Kölz, M. (2013). Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage. In *Abschlussbericht Innovative Projekte/Kooperationsprojekte*. Baden-Württemberg, Germany: Koordinierungsstelle Forschung der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften.
- Jahn, H.-P. (2001). Datenerfassung und -verarbeitung bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen-mehrere Jahre nach Abschluss eines HdA-Projektes für Leistungsgewandelte. Herbstkonferenz GfA.
- Kant, I. (1961). *Grundlegung zur Metaphysik der Sitten* (429 S). Stuttgart: Reclam Verlag.
- Lotter, B. (2012). Überlegungen zum Montagestandort Deutschland. In *Montage in der industriellen Produktion* (S. 1–8). Berlin: Springer.
- Reif, R. (2009). *Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems*. München: FML.
- Reinhart, G., & Zäh, M. (2014). Assistenzsysteme in der Produktion. *wt Werkstattstechnik-online*, 104(9), 516.
- Sauer, D. (2011). Von der „Humanisierung der Arbeit“ zur „Guten Arbeit“. *APuZ*, 15/2011, 18–24.
- Schaper, N. (2006). *Bedeutung von Arbeit und Arbeitsmotivation*. Vorlesung Arbeits- und Personalpsychologie. Lehrstuhl für Arbeits- und Organisationspsychologie. Paderborn: Universität Paderborn.
- Schuntermann, M. F. (2007). *Einführung in die ICF. Grundkurs, Übungen, offene Fragen*. Landsberg/Lech: Ecomed Medizin.
- Schwab, H. (2009). Jugendhilfe und Integration in Arbeit. In M. Lindenau (Hrsg.), *Jugend im Diskurs - Beiträge aus Theorie und Praxis. Festschrift zum 60. Geburtstag von Jürgen Gries* (S. 119–130). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Semmer, N., & Udris, I. (2004). Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In H. Schuler (Hrsg.), *Lehrbuch Organisationspsychologie* (S. 157–195). Bern: Huber.
- Statistisches Bundesamt. (2009). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden.
- Ten Hompel, M., Sadowsky, V., & Beck, M. (2011). *Kommissionierung, Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Berlin: Springer.

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.



Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage

4

André Hengstebeck, Kirsten Weisner, Jochen Deuse, Jürgen Rossmann und Bernd Kuhlenkötter

4.1 Einleitung

Kurze Produktlebenszyklen, volatile Kundenbedarfe und eine steigende Diversifizierung von Produkten und Prozessen führen in Kombination mit der steigenden Digitalisierung der Arbeitswelt im Kontext von Industrie 4.0 zu erhöhten Flexibilitätsanforderungen in der Produktion. Das Ergebnis sind Arbeitsprozesse, die durch hohe Komplexität und eine gleichermaßen geringe Wiederholbarkeit geprägt sind. Aufgrund der adressierten Flexibilitätsanforderungen hat der Trend der Hochautomatisierung in den vergangenen Jahren stark nachgelassen (Beumelburg 2010). Stattdessen rücken im industriellen Umfeld insbesondere teilautomatisierte, hybride Arbeitssysteme in den Fokus. Unter Berücksichtigung bestehender Normen und Standards bzgl. Sicherheitsanforderungen und -konzepten (u. a. DIN EN ISO 10218 (Deutsches Institut für Normung e.V. 2012); DIN EN ISO 15536 (Deutsches Institut für Normung e.V. 2008); DIN EN ISO 20685 (Deutsches Institut

A. Hengstebeck (✉) · K. Weisner · J. Deuse
RIF e. V. Institut für Forschung und Transfer, Abteilung Produktionssysteme,
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund, Deutschland
e-mail: andre.hengstebeck@rif-ev.de; kirsten.weisner@rif-ev.de; jochen.deuse@rif-ev.de;
rossmann@rif-ev.de; bernd.kuhlenkoetter@rif-ev.de

J. Rossmann
RIF e. V. Institut für Forschung und Transfer, Bereich Robotertechnik
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund, Deutschland
e-mail: rossmann@rif-ev.de

B. Kuhlenkötter
RIF e. V. Institut für Forschung und Transfer, Abteilung Produktionsautomatisierung
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund, Deutschland
e-mail: bernd.kuhlenkoetter@rif-ev.de

für Normung e.V. 2010); ISO/TS 15066 (International Organization for Standardization 2016); BGIA 2011) gewinnt die direkte Mensch-Roboter-Kollaboration zunehmend an Bedeutung. Während anfänglich noch trennende Schutzvorrichtungen (z. B. Schutzzaun) eine konsequente Teilung der Arbeitsräume des Menschen und des Roboters zur Folge hatten, wird derzeit eine direkte, kontinuierliche Zusammenarbeit im Rahmen eines gemeinsamen Arbeitsbereichs angestrebt (Spingler und Thiemermann 2001).

Ein in diesem Kontext zentrales Konzept ist aktuell die industrielle Servicerobotik. Die Servicerobotik im Allgemeinen ist in verschiedenen Branchen und Anwendungsfeldern bereits ein fester Bestandteil (z. B. Sanierung von Abwasserrohren, Übernahme von Hol- und Bringdiensten in der Kranken- und Altenpflege) (Klößner et al. 2015). Nach einer Definition des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) umfasst sie die Erbringung einer Dienstleistung für den Menschen durch den Roboter. Dabei agiert letzterer entweder in direkter Kollaboration mit dem Menschen oder völlig autonom. Ein besonderes Kennzeichen servicerobotischer Lösungen ist deren Mobilität und flexible Verwendbarkeit (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2013; Klößner et al. 2015). In Anlehnung an die vorherige Definition beschreibt die industrielle Servicerobotik die Unterstützung des Menschen bei seiner Tätigkeit im industriellen Umfeld. Die arbeitsteilige Aufgabendurchführung ermöglicht hierbei eine Steigerung der Produktqualität und Prozessstabilität. Ferner besteht die Möglichkeit, Mitarbeiter von monotonen und körperlich belastenden Aufgaben (manuelle Lastenhandhabung, Einnahme von Gelenkgrenstellungen u. a.) zu befreien und so zu einer gesundheitsförderlichen Arbeitsgestaltung beizutragen (Deuse et al. 2014b). Zusammengefasst generiert der mobile Einsatz servicerobotischer Lösungen somit eine erhöhte Flexibilität und Autonomie (Klößner et al. 2015).

4.2 Industrielle Servicerobotik in der Kleinteilemontage

Zur ganzheitlichen Erschließung dieser Potenziale existieren bereits erste technische Gestaltungslösungen. In diesem Zusammenhang scheinen z. B. sensitive Leichtbauroboter, die auf Grundlage von Kraft-Momenten-Sensoren geregelt werden, für den Einsatz als industrielle Serviceroboter geeignet zu sein (Stegmüller und Zürn 2014; Universal Robots 2014). Trotz der Verfügbarkeit servicerobotischer Systeme ist der Umsetzungsgrad entsprechender Lösungen in realen Anwendungsszenarien allerdings bisher noch vergleichsweise gering. Eine mögliche Ursache besteht dabei in der Unsicherheit darüber, für welche Anwendungsszenarien und Prozessschritte sich derartige Robotersysteme konkret eignen und welche fallspezifischen Vorteile sich hieraus ergeben können. Zur Erleichterung der Entscheidungsfindung können Anwender auf eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Analyse und Bewertung der Automatisierungseignung zurückgreifen, welche die zuvor formulierten Fragestellungen jedoch nur bedingt auflösen können (z. B. Beumelburg 2010; Parasuraman et al. 2000; Ross 2002; Schraft et al. 1993).

Auf dieser Grundlage besteht das Ziel des vom BMWi geförderten Forschungsprojekts MANUSERV in der Entwicklung einer webbasierten Planungsumgebung, welche die Potenziale industrieller Robotersysteme mit den spezifischen Anforderungen manueller

Arbeitssysteme und -prozesse verknüpft. Auf diese Weise sollen dem industriellen Anwender konkret implementierbare, (teil-)automatisierte Gestaltungslösungen sowie die entsprechenden Ablauffolgen vorgeschlagen werden. Unter der Prämisse ein möglichst ganzheitliches Assistenzsystem bereitzustellen, besteht darüber hinaus die Möglichkeit, dem Anwender entscheidungsrelevante Zielgrößeninformationen bereitzustellen (z. B. Preis) (Deuse et al. 2014a). Zur Sicherstellung einer möglichst breiten industriellen Anwendbarkeit werden das Konzept und dessen softwaretechnische Implementierung anhand von drei realen, manuellen Arbeitsprozessen aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten validiert. Dabei handelt es sich um einen Reinigungsprozess aus dem Bereich der Landwirtschaft, einen Umrüstvorgang aus dem Maschinen- und Anlagenbau sowie einen manuellen Montageprozess im Kontext der Elektro-Installationstechnik. Angelehnt an die im Rahmen von MANUSERV verfolgte Zielstellung wird der adressierte Montageprozess detailliert vorgestellt, um im darauffolgenden Schritt spezifische Automatisierungspotenziale abzuleiten.

Bei dem Anwendungsfall handelt es sich um die Montage eines Einbauradios mit Touch-Display, welches auf Basis einer konkreten Produktspezifikation des Kunden hergestellt wird. Aktuell erfolgt die Montage rein manuell an zwei nebeneinander angeordneten Arbeitsplätzen durch einen einzelnen Mitarbeiter. Die Montage des Radios kann grundsätzlich in drei übergeordnete Prozessschritte unterteilt werden. Hierzu gehören die Montage des Netzteils, die Montage des Bedienmoduls sowie die Montage des Lautsprechers. Daran anschließend erfolgt die Verpackung des Einbauradios.

Wie in Abb. 4.1 dargestellt, findet die Montage des Bedienmoduls am ersten Arbeitsplatz statt. Dies beinhaltet neben dem reinen Zusammenbau der Komponenten auch das Aufspielen der aktuellen Software sowie die abschließende Prüfung aller Funktionen durch ein spezielles Prüfgerät. Der Arbeitsinhalt am zweiten Arbeitsplatz besteht aus der Montage des Netzteils und des Lautsprechermoduls. Ein wesentlicher Prozessschritt ist in diesem Fall die erforderliche Laserbeschriftung des Netzteils, welche sowohl von der Vorder- als auch von der Rückseite zu erfolgen hat. Der Prozess endet mit der Verpackung

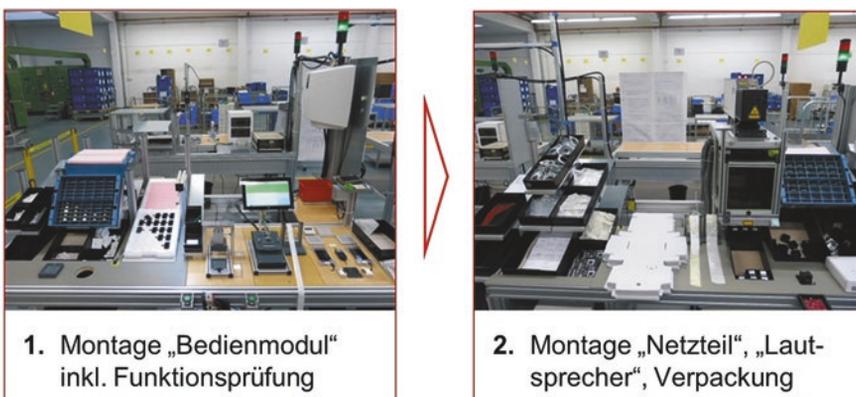


Abb. 4.1 Montage des Einbauradios

des Einbauradios inkl. Bedienungsanleitung in einem Faltkarton. Die Verpackung selbst umfasst die Vorbereitung bzw. das Auffalten des Kartons, das Einlegen der einzelnen Komponenten (Bedienmodul, Netzteil, Lautsprechermodul) sowie das abschließende Aufkleben von Etiketten (Qualitätssiegel, Produktinformationen).

4.3 Entwicklung eines hybriden Gestaltungskonzepts

Am Beispiel des vorgestellten Montage-Szenarios wird im Folgenden eine Herangehensweise zur Entwicklung hybrider Gestaltungskonzepte betrachtet, welche sich an einer REFA-Methode der Arbeitssystemgestaltung orientiert und in [Abb. 4.2](#) dargestellt ist (REFA Bundesverband e.V. 2013). Ausgehend von einem bestehenden manuellen Arbeitsplatz erfolgt hierbei zunächst eine umfassende Datenaufnahme. Anschließend werden wesentliche Anforderungen analysiert, welche eine Grundlage für die Grob- und Feinplanung des hybriden Konzepts bilden.

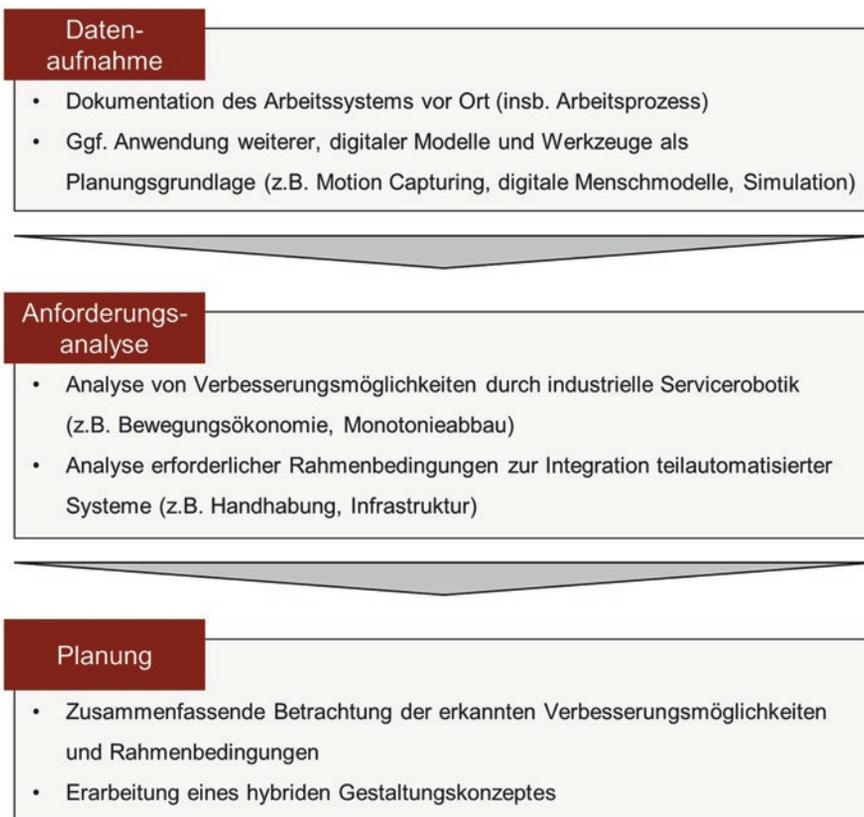


Abb. 4.2 Vorgehensweise zur Entwicklung einer Gestaltungsalternative

Im ersten Schritt der Datenaufnahme werden sowohl der bestehende Ist-Arbeitsplatz als auch der entsprechende Arbeitsprozess vor Ort umfassend dokumentiert. Neben einer analogen Datenaufnahme (z. B. anhand des REFA-Arbeitssystems) können hierfür auch leistungsfähige digitale Werkzeuge zum Einsatz kommen. Für den skizzierten Anwendungsfall konnte z. B. die Anwendung von Motion Capturing dazu beitragen, menschliche Bewegungsdaten zu generieren und auf ein digitales Menschmodell zu übertragen. Dieses wurde unter Berücksichtigung aller Arbeitsplatzkomponenten in ein Simulationsmodell überführt, welches insgesamt eine zentrale Planungsbasis darstellt (s. [Abb. 4.3](#)).

Ausgehend von den aufgenommenen Ist-Daten kann die anschließende Anforderungsanalyse insbesondere dazu beitragen, Verbesserungsmöglichkeiten wie auch erforderliche Rahmenbedingungen für den Einsatz industrieller Servicerobotik im Kontext eines hybriden Gestaltungskonzeptes zu identifizieren. Konkrete Optimierungspotenziale ergeben sich für den vorgestellten Anwendungsfall u. a. dadurch, dass ein Mitarbeiter für die Durchführung der kompletten Arbeitsaufgabe verantwortlich ist. Die hierdurch entstehenden Laufwege des Mitarbeiters entsprechen aus bewegungsökonomischer Sicht vermeidbaren, nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (Ohno 2009). Darüber hinaus ist der manuelle Arbeitsablauf durch viele Wiederholungen gekennzeichnet, was sich sowohl physiologisch als auch psychologisch negativ auf den Mitarbeiter auswirken kann (Schlick et al. 2010). Als Rahmenbedingungen zur Implementierung einer hybriden Gestaltungslösung konnten speziell die Bereitstellung der Arbeitsobjekte (z. B. vermischt liegend, vereinzelt) sowie die Form und Handhabbarkeit der Bauteile identifiziert werden. Zudem stellt die Verfügbarkeit von Stellflächen und der technischen Infrastruktur eine wichtige Voraussetzung für die Implementierung eines Robotersystems dar.

Bei der Grob- und Feinplanung wird unter Berücksichtigung aller aufgestellten Anforderungen und Rahmenbedingungen ein integriertes, hybrides Gestaltungskonzept entwickelt. Dieser Vorgehensweise entsprechend wurde die Entscheidung getroffen, zunächst

Abb. 4.3 Simulation auf Basis von Motion Capturing



die Beschriftung des Netzteils mit Unterstützung eines Leichtbauroboters durchzuführen. Im Zuge einer anschließenden, ersten Integration und Nutzung eines Robotersystems im Produktionsbetrieb sind zahlreiche Auswirkungen auf die involvierten Mitarbeiter möglich, welche im Folgenden detailliert diskutiert werden.

4.4 Mögliche Auswirkungen des hybriden Systems auf betriebliche Rollen am Beispiel der Kleinteilemontage

Die technische Implementierung der vorgestellten Gestaltungsalternative kann sowohl für direkt als auch indirekt ausgerichtete betriebliche Rollen mit deutlichen Auswirkungen und Veränderungen verbunden sein. Im produktiven Bereich des Unternehmens sind dabei insbesondere die Rollen des Monteurs, des Meisters und des Instandhalters betroffen. Im indirekten Bereich des Unternehmens können spürbare Änderungen vor allem für Mitarbeiter auftreten, die in Verbindung mit der Montage stehen, wie z. B. Prozessplaner und Konstrukteure. Im Folgenden wird anhand verschiedener Bewertungskriterien untersucht, ob und inwiefern sich für die vorgestellten Bereiche Auswirkungen ergeben können (s. [Abb. 4.4](#)). Hierfür wurden die in diesem Buch vorgestellten Bewertungskriterien herangezogen und anwendungsfallspezifisch angepasst.

Für die Rolle des Monteurs kann die Integration industrieller Leichtbauroboter zahlreiche produktionsbetriebliche und mitarbeiterseitige Auswirkungen haben. So können autonome, industrielle Serviceroboter dazu genutzt werden, wiederholt und kontinuierlich auszuführende Prozessschritte an einem der beiden Arbeitsplätze zu übernehmen, um so die Anzahl nicht wertschöpfender Laufwege durch den Mitarbeiter zu reduzieren. Auf diese Weise kann der Arbeitsablauf optimiert und die Produktivität insgesamt erhöht werden, sodass steigende Bedarfsmengen leichter abgedeckt werden können. Darüber hinaus könnte der Einsatz eines flexiblen Serviceroboters dazu beitragen, Monotonie abzubauen (Schenk und Elkmann 2012). Unter der Voraussetzung eines flexiblen Robotersystems und der Prämisse eines gewissen Aufwands zum Erlernen der neuen technischen Möglichkeiten ist z. B. denkbar, dass sich der Mitarbeiter manuell auszuführende Arbeitstätigkeiten aktiv aussucht und die übrigen Schritte an das Robotersystem delegiert. Durch diese Form der Kooperation mit dem industriellen Serviceroboter kann der Anteil monotoner Aufgaben reduziert und gleichzeitig eine flexiblere Arbeitsstrukturierung erreicht werden (Hirsch-Kreinsen 2014).

Die betriebliche Rolle des Instandhalters wird durch einen steigenden Umsetzungsgrad industrieller Servicerobotik im Unternehmen stark beeinflusst. Zunächst ergeben sich vor diesem Hintergrund Änderungen, indem der Leistungsumfang der Instandhaltung um die in der Kleinteilemontage implementierten, neuen Robotersysteme erweitert wird. Hierdurch steigt die Komplexität der Arbeitsaufgabe und der Mitarbeiter wird zunehmend mit neuartigen Problemen konfrontiert. Dies betrifft u. a. die geforderten Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich der Informationstechnologien, wodurch ggf. eine bedarfsgerechte Befähigung und Qualifizierung der Mitarbeiter erforderlich wird (Molzow-Voit et al. 2015). Das umfasst

	Monteur	Instandhalter	Meister	Prozessplaner	Konstrukteur
Bedarf (Mitarbeiter)	0	+	0	+	0
Neuartige Probleme	+	+	+	+	+
Monotone Aufgaben	-	-	-	-	0
Komplexe Aufgaben	+	+	+	+	+
Planen (Aufwand)	0	+	+	+	+
Kontrolle (Aufwand)	+	+	+	+	0
Lernen (in-/ formell)	+	++	++	+	+
Optimierung (Arbeit)	++	0	0	0	0
Kooperation	++	+	+	+	0
IT-Kenntnisse	0	++	0	++	0

Legende:
 - nimmt ab 0 bleibt gleich + nimmt zu
 -- nimmt stark ab ++ nimmt stark zu

Abb. 4.4 Mögliche Auswirkungen auf betriebliche Rollen

sowohl die klassische (formelle) Aus- und Weiterbildung von aktuellen und zukünftigen Mitarbeitern als auch das Lernen am konkreten Prozess (informell). Ferner erhöht sich die Gesamtzahl technischer Systeme, welche potenziell der Instandhaltung unterliegen, was zu einer Erhöhung des Mitarbeiterbedarfs in diesem Arbeitsfeld führen kann.

Für die Rolle des Meisters ergeben sich umfassende Auswirkungen, die zu einem großen Teil auf die interaktive Rolle des Roboters in der Montage zurückzuführen sind. Im ersten Schritt entsteht zusätzlicher Schulungsbedarf für die entsprechenden

Mitarbeiter, um die Grundlagen industrieller Servicerobotik sowie die daraus erwachsenden innovativen Chancen und Potenziale zu verstehen. Daran anknüpfend kann der Meister seine Mitarbeiter aus dem Bereich der Montage direkt in den Veränderungsprozess einbinden, indem er das gewonnene Wissen mit ihnen teilt und so möglichen Ängsten und hieraus entstehenden neuartigen Problemen vorbeugt (Sanders und Wulfsberg 2015).

Unter der Rolle des Prozessplaners werden in diesem Kontext indirekte Aufgaben verstanden, die zur Neuplanung oder Anpassung eines Arbeitsablaufs für einen spezifischen Arbeitsplatz, wie z. B. dem adressierten Anwendungsfall, erforderlich sind. Als fundamentale Voraussetzung zur Planung hybrider Arbeitsprozesse entsteht für Mitarbeiter in diesem Bereich ebenfalls ein spezifischer Qualifizierungsbedarf, speziell in Bezug auf neue softwaretechnische Planungswerkzeuge. Darüber hinaus ist die entstehende Planungsaufgabe im Vergleich zu rein manuellen Prozessen ungleich komplexer, was in Summe zu einem erhöhten Bedarf gut ausgebildeter, qualifizierter Mitarbeiter führen kann (Hirsch-Kreinsen 2014). Unabhängig davon sind diese Experten allerdings imstande, die spezifischen Fähigkeiten und Potenziale industrieller Serviceroboter zu berücksichtigen und so die individuellen Arbeitsausführungen von Mensch und Maschine zur Ermöglichung einer Kooperation effizient miteinander zu verknüpfen.

Für Mitarbeiter aus dem Bereich der Konstruktion werden sich in diesem Kontext ähnliche Anforderungen ergeben. Zunächst entsteht auch hier ein gewisser formeller Qualifizierungsbedarf, um ein grundlegendes Verständnis servicerobotischer Systeme durch die Mitarbeiter abzusichern. Außerdem steigt die Komplexität der Konstruktionsaufgabe insgesamt, da im Zuge der Bauteilgestaltung und Konstruktion ebenfalls automatisierungstechnische Anforderungen zu berücksichtigen sind.

4.5 Fazit

Anhand des skizzierten Anwendungsszenarios wurden zahlreiche mögliche Auswirkungen auf verschiedene betriebliche Rollen identifiziert und bewertet. Die vorgestellten Änderungen lassen sich zum großen Teil auf die neue Funktion des kooperierenden Robotersystems in der Produktion und nicht ausschließlich auf die spezifische Ausprägung des Anwendungsfalls zurückführen. Daher besteht die grundsätzliche Möglichkeit, dass die spezifizierten Auswirkungen zu einem gewissen Anteil in dieser oder ähnlicher Form auch auf andere industrielle Bereiche und Einsatzfelder übertragbar sind. In diesem Kontext sind in [Abb. 4.5](#) die wesentlichen Auswirkungen zusammenfassend aufgeführt und anhand des REFA-Arbeitssystems strukturiert (REFA Bundesverband e.V. 2013). In Summe wird hierdurch nochmals der zentrale und weiter zunehmende Stellenwert der industriellen Servicerobotik für zahlreiche innerbetriebliche Anwendungsfelder herausgestellt.

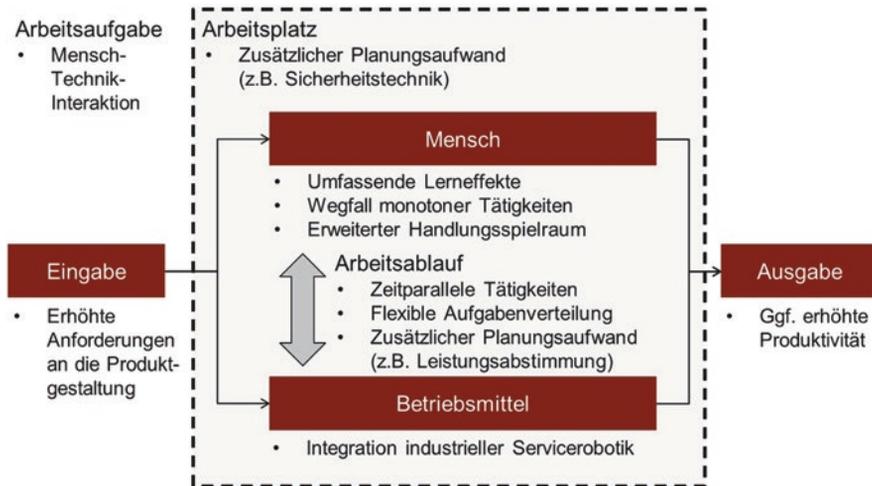


Abb. 4.5 Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen

Um die fortschreitende Etablierung (teil-)automatisierter Systeme und die zunehmende Integration industrieller Servicerobotik in realen Anwendungsszenarien weiter zu unterstützen, kann eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungs- und Entwicklungsansätze verfolgt werden. Ein zentraler Ansatzpunkt ist dabei die Entwicklung individueller Assistenzsysteme, welche an die jeweiligen Bedürfnisse und die individuelle Leistungsdisposition einzelner Mitarbeiter angepasst werden können. Der demografische Wandel und die damit einhergehende Änderung des Erwerbspersonenpotenzials bedingen eine stark schwankende inter- und intrapersonelle Leistungsfähigkeit. Jene möglichen individuellen alters-, verletzungs- und krankheitsbedingten Einschränkungen werden derzeit bei der Gestaltung hybrider Arbeitssysteme nur unzureichend betrachtet. Es gilt daher zukünftig, die individuelle Leistungsdisposition des Mitarbeiters detailliert zu erfassen und für den Roboter lesbar zu machen. In Abhängigkeit des jeweiligen Unterstützungsbedarfs und unter Zuhilfenahme neuer Planungswerkzeuge (z. B. individuelle digitale Menschmodelle) können Lösungen der direkten Mensch-Roboter-Kollaboration implementiert werden, um sowohl physische Leistungseinschränkungen zu kompensieren als auch um eine möglichst hohe Produktivität zu gewährleisten.

4.6 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) innerhalb des Technologieprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ unter dem Förderkennzeichen 01MA13011A gefördert und vom Projektträger „Technische Innovationen in der

Wirtschaft“ im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor. Darüber hinaus möchten wir den beteiligten Projektpartnern Albrecht Jung GmbH & Co. KG (Lünen), GE A Farm Technologies GmbH (Bönen), ICARUS Consulting GmbH (Lüneburg) und KHS Coroplast GmbH (Hamburg) danken.

Literatur

- Beumelburg, K. (2010). *Fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung in der direkten Mensch-Roboter-Kooperation*. Heimsheim: Jost-Jetter.
- BGIA. (2011). *BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie – Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern*. Sankt Augustin: BGIA.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. (2013). *Band 4 – Industrielle Servicerobotik – Studie*. Berlin: LoeschHundLiepold.
- Deuse, J., Roßmann, J., Kühlenkötter, B., Hengstebeck, A., Stern, O., & Klöckner, M. (2014a). A methodology for the planning and implementation of service robotics in industrial work processes. In M. Putz, R. Mauermann, M. Pfeifer, & P. Blau (Hrsg.), *5th CATS2014 – CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems* (S. 41–46). Elsevier, Amsterdam.
- Deuse, J., Weisner, K., Hengstebeck, A., & Busch, F. (2014b). Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 43–49). Berlin: LoeschHundLiepold.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2008). *Ergonomie – Computer-Manikins und Körperumriss-Schablonen*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2010). *3D-Scanverfahren für international kompatible anthropometrische Datenbanken*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2012). *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). *Welche Auswirkungen hat “Industrie 4.0” auf die Arbeitswelt?* Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- International Organization for Standardization. (2016). *Robots and robotic devices – Collaborative industrial robots*. International Organization for Standardization, Genf.
- Klöckner, M., Weisner, K., Kühlenkötter, B., Deuse, J., & Roßmann, J. (2015). Entwicklung eines Werkzeuges zur anwendungsfallorientierten Auswahl servicerobotischer Systeme. In T. Bertram (Hrsg.), *Fachtagung Mechatronik 2015* (S. 1–6). VDI Verlag, Düsseldorf.
- Molzow-Voit, F., Quandt, M., Freitag, M., & Spöttl, G. (2015). Qualifizierung von Fachkräften und Entscheidern – Einsatz von Robotikanwendungen in logistischen Arbeitsprozessen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110, 583–586.
- Ohno, T. (2009). *Das Toyota-Produktionssystem*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 30, 286–297.
- REFA Bundesverband e.V. (2013). *REFA. Kompakt-Grundausbildung 2.0 – Band 1*. Weinheim: Druckhaus Diesbach.
- Ross, P. (2002). *Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung*. München: H.-Utz-Verlag.
- Sanders, A., & Wulfsberg, J. (2015). Industrie 4.0: Shopfloor Management im Wandel – Konzeptionelle Handlungsempfehlungen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110, 653–656.

- Schenk, M., & Elkmann, N. (2012). Sichere Mensch-Roboter-Interaktion: Anforderungen, Voraussetzungen, Szenarien und Lösungsansätze. In E. Müller (Hrsg.), *Demographischer Wandel - Herausforderungen für die Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft* (S. 109–122). GITO, Berlin.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Schraft, R. D., Degenhart, E., & Hagele, M. (1993). Service robots: the appropriate level of automation and the role of users/operators in the task execution. In IEEE (Hrsg.), *Systems Man and Cybernetics* (S. 163–169). IEEE, New York.
- Spingler, J., & Thiemermann, S. (2001). Direkte Mensch-Roboter-Kooperation – Am Beispiel einer flexiblen Montagezelle. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 96, 616–619.
- Stegmüller, D., & Zürn, M. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer.
- Universal Robots. (2014). Schnell zum Start bereit – Leichtbauroboter nun überarbeitet. *Handling – Handhabungstechnik – Fabrikautomation; Intralogistik*, 9, 88–89.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Benedikt Mättig, Jana Jost und Thomas Kirks

5.1 Projektbeschreibung

Der Mensch stellt auch in der Produktion und Logistik von morgen einen entscheidenden Faktor dar. Aus der immer weiter wachsenden Datenmenge in Unternehmensprozessen müssen jene Informationen extrahiert werden, welche den Mitarbeiter bei seiner Arbeit unterstützen können und nicht zu Überforderung führen.

Das durch das BMBF geförderte Forschungsprojekt SmARPro (Smart Assistance for Humans in Production Systems) befasst sich mit dieser Problematik. Es wird ein System entwickelt, das über einheitliche und standardisierte Schnittstellen Daten aller umgebenden Systeme erfasst und diese in der SmARPro-Plattform zu kontextsensitiven Informationen aufbereitet. Diese werden dem Mitarbeiter über Wearables wie beispielsweise Datenbrillen, Smart Watches, Smartphones oder Tablets angezeigt.

Den Fokus des Projektes bildet die Integration des Menschen in komplexe Systeme und Prozesse, ohne ihn dabei durch die Vielzahl an prozessspezifischen Informationen zu überfordern. Um dieses Ziel zu erreichen, werden in SmARPro individuell an die jeweilige Person angepasste Informationsdarstellungen verwendet. Diese basieren auf Informationen zum Kontext des Mitarbeiters sowie auf individuellen Eigenschaften und Bedürfnissen der jeweiligen Person. Der Kontext setzt sich aus Parametern wie Ort, Zeit und Rolle des Mitarbeiters zusammen. Beispielsweise würde bei einem Maschinenbediener in der Produktion exakt ermittelt werden, wo er sich an der Maschine befindet und welche

B. Mättig (✉) · J. Jost · T. Kirks

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Deutschland

e-mail: benedikt.maettig@iml.fraunhofer.de; jana.jost@iml.fraunhofer.de;
thomas.kirks@iml.fraunhofer.de

Informationen er an seinem derzeitigen Arbeitsplatz zum aktuellen Zeitpunkt benötigt. Hinzu kommen individuelle Parameter, die neben der bevorzugten Sprache und altersabhängigen Darstellungseigenschaften auch persönlich bevorzugte Darstellungsformen des Mitarbeiters berücksichtigen. Aus all diesen Parametern werden in SmARPro Darstellungsmodelle definiert, die für jede Person und jeden Kontext vorgeben, welche Informationen auf welche Weise dargestellt werden sollen.

Neben der Art der Darstellung ist die Wahl der darzustellenden Informationen für einen funktionierenden Prozess entscheidend. Innerhalb des Projektes werden eingehende Daten durch die Plattform, basierend auf kontextabhängigen Parametern, so aufbereitet, dass nur die Informationen an den Mitarbeiter weitergegeben werden, die er zum aktuellen Zeitpunkt benötigt. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass fehlende Informationen zu fehlerhaften Prozessen führen können. Darüber hinaus verursacht eine zu große Menge an Informationen, dass der Mitarbeiter länger für deren Aufnahme und Interpretation benötigt. Zudem kann es durch die Informationsflut dazu kommen, dass wichtige Informationen nicht die benötigte Aufmerksamkeit des Mitarbeiters erhalten.

Durch die individuell angepasste Informationsdarstellung sowie die Reduktion der dargestellten Informationen auf die wesentlichen Elemente, kann die Informationsaufnahme schneller erfolgen. Dies ermöglicht eine schnellere Prozessbearbeitung durch weniger Unterbrechungen und erhöht außerdem die Akzeptanz des Benutzers, durch eine Reduktion des Frustrafaktors für den Mitarbeiter.

5.2 Anwendungsfall

Die in diesem Projekt betrachteten Berufe und Tätigkeiten werden in feingranulare, prozessbezogene Arbeitsschritte aufgeteilt und analysiert. Ziel dieser Analyse ist die Identifizierung von Einsatzfällen für Wearables. Die verwendeten Technologien bieten die unterschiedlichsten Vorteile sowie Einschränkungen. Diese sind auf Grund der Funktionalitäten der Wearables gegeben und resultieren aus Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten der Geräte. Zudem haben sowohl der Einsatz in industriellen Umgebungen als auch die menschlichen Bedürfnisse und Fähigkeiten Einfluss auf die mögliche Zuordnung von Tätigkeit und Wearable. Innerhalb des Projektes wird die Vielzahl von Möglichkeiten in eine Methodik überführt, um damit einen sinnvollen Einsatz des Gesamtsystems unter Einbezug des Menschen zu gewährleisten.

In drei Szenarien aus unterschiedlichen Bereichen wird das SmARPro-Systemkonzept umgesetzt und die angestrebte Unterstützung der Arbeitsprozesse des Menschen sowie die Verbesserung der Einbindung des Menschen in die Unternehmensprozesse betrachtet. Die Umsetzung erfolgt in den Use-Cases Produktion, Logistik und Werkzeugmanagement. Stellvertretend für die anderen Bereiche wird nachfolgend der Einsatz des SmARPro-Systems in der Logistik näher betrachtet. Hier werden sowohl die Shopfloor-Ebene als auch die operative Schicht jeweils in Verbindung mit unterschiedlichen Rollen. Dadurch kann eine Allgemeingültigkeit für die Einsatzmöglichkeiten des SmARPro-Systems auch in anderen Branchen und Bereichen abgeleitet werden.



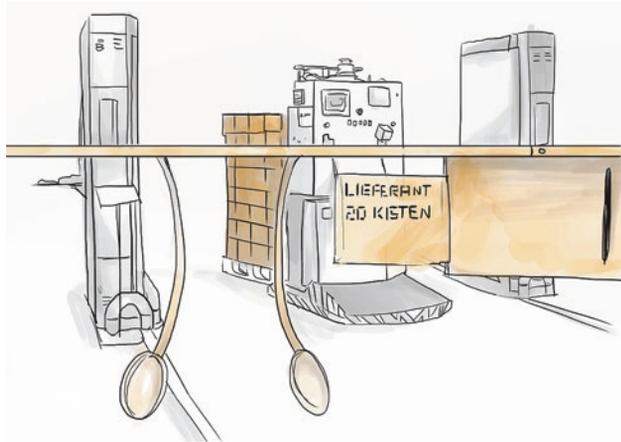
Abb. 5.1 Anwendungsfall Intralogistik (Quelle: Fraunhofer IML)

Der Gesamtprozess in der Logistik, wie in [Abb. 5.1](#) zu sehen ist, setzt sich im Wesentlichen aus Wareneingang, Lagerung, Kommissionierung, Verpackung, Bereitstellung und dem Transport, z. B. mit fahrerlosen Transportfahrzeugen als verbindendes Element zwischen den verschiedenen Bereichen, zusammen. Die anfallenden Informationen entlang der Prozesskette werden bedarfsgerecht aufbereitet. An den entsprechenden Orten werden sie dann den jeweiligen Personen mit bestimmten Rollen mittels Augmented Reality direkt im Sichtfeld angezeigt. Die Informationen werden nicht nur perspektivisch über der Maschine oder dem Objekt von Interesse präsentiert, es erfolgt auch eine Einbeziehung rollenbezogener Inhalte. Wird beispielsweise der Kommissionierprozess betrachtet, so können dem Kommissionierer, der sich vor einem Regal befindet und einen Kommissionierauftrag bearbeitet, Instruktionen über das Wearable geliefert werden. Im Sichtfeld des Benutzers wird die Greifrichtung mithilfe von Pfeilen angezeigt, die mit dem Regal passend überlagert werden. Blickt der Kommissionierer schließlich auf das Zielfach, werden ihm weitere Informationen wie der zu entnehmende Artikel und die Stückzahl eingeblendet.

Ein weiteres Beispiel ist in [Abb. 5.2](#) zu sehen. So werden nicht nur Prozessinformationen an die Mitarbeiter weitergeleitet, es können auch Statusinformationen für ein Monitoring der einzelnen Geräte angezeigt werden. Nähert sich beispielsweise der Wareneingangskontrollleur dem RFID-Gate, so erhält er auf seiner Datenbrille direkt die für seine Rolle notwendigen Informationen des Gates. Schnell und auf einen Blick werden ihm der aktuelle Lieferant sowie Liefermenge und Artikelnummern dargestellt.

Auch können durch SmARPro Fehlerreaktionszeiten verbessert werden. Tritt beispielsweise ein Fehler an einer Maschine auf, so werden die Informationen an den

Abb. 5.2 Blick durch eine Datenbrille am Wareneingang (Quelle: Fraunhofer IML)



entsprechenden Mitarbeiter, bspw. den Instandhalter, weitergeleitet. Neben der Fehlermeldung und Informationen zur Fehlerbehebung wird dem Mitarbeiter auch der Weg zum Gewerk in Abhängigkeit seines eigenen Ortes angezeigt.

5.3 Betroffene Tätigkeiten

Typische Tätigkeiten in der Intralogistik finden sich in der Kommissionierung, am Wareneingang, am Warenausgang, in der Instandhaltung, in der Verpackung sowie in der Qualitätssicherung, der Lagerverwaltung und der Betriebsleitung wieder. Innerhalb des folgenden Abschnittes werden die jeweiligen Tätigkeitsfelder beschrieben und hinsichtlich möglicher Veränderungen durch den Einsatz von SmARPro betrachtet.

Die Arbeit der Zukunft wird stark von Mensch-Technik-Schnittstellen geprägt sein. Wearables können im logistischen Umfeld auf verschiedene Arten eingesetzt werden. Diese Geräte werden in der Hand (Smartphone/Tablet) gehalten, oder auf dem Kopf (Datenbrille) bzw. am Arm (Smartwatch) getragen. Die Ausprägung der unterschiedlichen Wearables bedingt den Einsatz für die jeweiligen Tätigkeiten. Primär werden diese technischen Geräte eingesetzt, um dem Menschen Informationen bedarfsgerecht zu vermitteln und den Arbeitsablauf zu unterstützen.

Am **Wareneingang** und am **Warenausgang** bestehen die Aufgaben aus Tätigkeiten mit organisatorischem und physischem Anteil. Hier müssen Lieferscheine in der Anlieferung begutachtet und mit der erhaltenen Ware abgeglichen werden. Bei Fehllieferungen werden Meldungen an Verwaltungssysteme weitergeleitet und Lieferungen ggf. abgelehnt. Speziell am Warenausgang muss die Ladungssicherung garantiert werden. Physische Arbeiten umfassen die Bewegung von Paletten mit Staplern von und zu Zwischenlagerorten.

Zukünftig wird der Mitarbeiter am Wareneingang und -ausgang in seiner Tätigkeit durch das im Projekt SmARPro entwickelte System unterstützt. So wird beispielsweise der eingescannte oder durch ein RFID-Gate elektronisch erfasste Lieferschein mit den

Bestelldaten im Warenwirtschaftssystem abgeglichen. Daraufhin erhält der Mitarbeiter aggregierte Informationen zu den gelieferten und den bestellten Waren. Erkennt das SmARPro-System Unregelmäßigkeiten, wird der Mitarbeiter darüber informiert und mit Handlungsempfehlungen hinsichtlich einer möglichen Reklamation und Rücksendung der Waren unterstützt. Entdeckt der Mitarbeiter bei der visuellen Prüfung der Ware oder beim Auswerten digitaler Daten von in Ladungsträgern integrierten Sensoren Auffälligkeiten, so kann er diese über sein Wearable im System vermerken und ggf. direkt eine detaillierte Überprüfung, eine Reklamation oder einen internen Austausch der Ware anstoßen.

Die **Lagerverwaltung** beinhaltet alle Aspekte, die mit dem Lager zusammenhängen. Dies umfasst auf der einen Seite die Bestandsverwaltung und einen Überblick über nachzubestellende Waren. Auf der anderen Seite umfasst dies die Durchführung von Ein- und Auslagerungen unter der Berücksichtigung möglicher Lagerzonen, die das Lager nach schnell und langsam drehenden Artikeln aufteilt.

Auch bei dieser Tätigkeit kann der Mitarbeiter durch das SmARPro-System besser in die bestehenden Prozesse integriert werden. Über sein Wearable erhält er auf einen Blick alle relevanten Informationen über das Lager. Mögliche Fehler und Lösungsvorschläge werden ihm darauf angezeigt. Einerseits kann er hierüber Ein- und Auslagerungsaufträge anstoßen, andererseits ermöglicht der direkte Zugriff über Wearables schnelle und unkomplizierte Eingriffe in mögliche Lagerstrategien und damit verbundene Einsparungen hinsichtlich Zugriffszeiten.

In der **Kommissionierung** sind verstärkt körperliche Tätigkeiten anzutreffen. Hier werden einzelne Artikel aus unterschiedlichen Orten im Warenlager in Verpackungseinheiten oder Behälter zusammengestellt. Hierfür muss sich der Kommissionierer im Lager fortbewegen, also zu verschiedenen Orten laufen oder fahren. Eine wichtige Tätigkeit ist hier die Navigation in Bereichen und Regalgassen und zusätzlich die Orientierung vor Regalen, um zu dem korrekten Artikel zu finden.

Durch die Verwendung von Wearables und durch die SmARPro-Plattform kann der Prozess der Kommissionierung für den Mitarbeiter stark vereinfacht werden. Über sein Wearable erhält er Informationen zum aktuellen Kommissionierauftrag und wird schrittweise durch den Prozess geführt. Sowohl die Darstellung der zu kommissionierenden Artikel und deren Anzahl sowie die Richtung zum Lagerplatz des Artikels in Abhängigkeit von seiner aktuellen Position werden ihm auf dem Wearable angezeigt. Durch das Scannen oder die optische Identifikation der kommissionierten Artikel kann ein Abgleich mit dem im Kommissionierauftrag geforderten Artikel erfolgen. Dies ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Fehlern und eine umgehende Benachrichtigung des Kommissionierers noch während des Prozesses. Weiterhin kann der Kommissionierer den Nachschub von Waren und Leerbehältern aus dem Lager anstoßen. Hier gleicht das SmARPro-System zunächst mit dem Lagerverwaltungssystem ab, ob die Ware im Lager vorhanden ist. Falls ja, so wird ein Auslagerungsprozess der Ware angestoßen. Ist dies nicht der Fall, erhält der Kommissionierer eine Warnmeldung, dass seine angeforderte Ware nicht vorrätig ist, und er erhält die Möglichkeit, einen Bestellauftrag direkt über sein Wearable auszulösen. Gerade in diesem Szenario bieten sich Datenbrillen besonders an, da der Mitarbeiter die Hände dauerhaft frei hat und sich so auf die Kommissioniertätigkeit konzentrieren kann.

In der **Verpackung** muss der Mensch ebenfalls körperliche Arbeit durchführen. Aber auch die Verwendung von passenden Verpackungseinheiten und die optimale Anordnung der Verpackungseinheiten auf Paletten stellen den Verpacker vor besondere Herausforderungen. Hier muss entschieden werden, welches Packmittel verwendet werden soll und wie Packstücke unterschiedlicher Größe und unterschiedlichen Gewichts optimal angeordnet werden müssen. Teils gibt es dafür Packvorschriften, teils werden die Packstücke nach Erfahrung arrangiert.

Durch SmARPro sollen diese Herausforderungen minimiert werden. Über sein Wearable erhält der Mitarbeiter Bestellinformationen, welche neben den zu verpackenden Artikeln auch Informationen zur Auswahl des Packmittels sowie über das zugehörige Packschema beinhalten. Schritt für Schritt wird der Mitarbeiter durch den Verpackungsprozess geleitet und über Augmented Reality die Einhaltung des Packschemas gewährleistet. Wie auch in der Kommissionierung ist in der Verpackung die Verwendung von Datenbrillen besonders sinnvoll.

Die **Instandhaltung** befasst sich mit der Analyse, Reparatur, Optimierung und Aufrechterhaltung von technischen Anlagen. Instandhalter arbeiten mit Werkzeugen, Ersatzteilen und Konstruktionsplänen, um Technologien im produktiven Zustand zu halten und somit die Verfügbarkeit der Anlagen zu gewährleisten, Störungen zu beseitigen und die Betriebssicherheit zu garantieren. Fehlerhafte Maschinen müssen schnellstmöglich repariert werden und aus betriebswirtschaftlicher Sicht kurzfristig wieder einsatzbereit sein. Die Aufgaben des Instandhalters erstrecken sich von einfachen Batteriewechseln über kleinere Reparaturen bis hin zu komplexen Komponentenwechseln bei Maschinen.

Der Mitarbeiter soll in Zukunft durch SmARPro auch bei dieser Tätigkeit besser unterstützt werden. Alle relevanten Informationen werden dem Instandhalter auf seinem Wearable dargestellt. Er wird über Fehler an Maschinen rechtzeitig informiert, sodass er schnellstmöglich reagieren kann. Bei der Wartung und Fehlerbehebung können ihm technische Dokumente, unterstützende Modelldaten, aber auch Schritt für Schritt Anleitungen angezeigt werden. Durch den Einsatz von Augmented Reality können dem Mitarbeiter umfangreiche Unterstützungsinformationen direkt an der zu wartenden Maschine visualisiert werden. Dies verringert im Bereich der Instandhaltung die Einarbeitungszeit und ermöglicht eine Assistenz speziell im Kontext unregelmäßig auftretender Arbeiten.

Der **Betriebsleiter** (in der Intralogistik häufig auch Lagerleiter) benötigt den Gesamtüberblick über alle intralogistischen Prozesse sowie über mögliche Probleme innerhalb eines bestimmten Tätigkeitsfeldes. Er muss Zusammenhänge erkennen und schnell auf Anfragen bzw. Problemstellungen reagieren können. Zudem kommuniziert er mit den anderen Mitarbeitern im Lager und übernimmt Teile der Arbeitsorganisation.

Auch für den Betriebsleiter liefert SmARPro Ansätze zur Unterstützung. Die notwendigen Informationen zu aktuellen Prozessen werden ihm verständlich und in den entsprechenden Zusammenhängen auf seinem Wearable angezeigt. Dies umfasst beispielsweise Informationen zu aktuellen Prozesszeiten oder offenen Entscheidungen, die seiner Zustimmung bedürfen. Darüber hinaus kann der Betriebsleiter umgehend über mögliche Probleme in den jeweiligen Betriebsbereichen informiert werden und daraufhin direkt über sein Wearable mit den betreffenden Mitarbeitern in Kontakt treten. Bei Werksbesichtigungen kann der Betriebsleiter an Ort und Stelle kontextbezogene Kennzahlen zu Prozessen und Leistungsdaten zu Maschinen und Anlagen abfragen. Besonders adäquate

Darstellungsmodelle gewährleisten, dass er alle relevanten Informationen erhält, ohne durch die Menge der angezeigten Informationen überfordert zu werden.

Die **Qualitätssicherung** zieht sich durch die einzelnen Tätigkeiten und manifestiert sich in der Begutachtung von Dokumenten, Waren, Ladungsträgern und Verpackungsmaterialien sowie der Korrektheit der Ablageorte und Artikelbestände. Durch die Digitalisierung der Prozessdaten und die Verknüpfung von Informationen im SmARPro-System wird die durchgängige Unterstützung in der Qualitätssicherung prozessübergreifend gewährleistet.

5.4 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen

Die kontextbezogene Informationsdarstellung auf den Wearables hat einen großen Einfluss auf die Tätigkeiten des betrachteten Szenarios. Während das System keine nennenswerten Auswirkungen im Personalbedarf der einzelnen betrieblichen Funktionen hat, zeigen sich Auswirkungen auf die Tätigkeitsausführung. In der nachfolgenden Tabelle sind die Auswirkungskriterien in Bezug auf die einzelnen Tätigkeiten aufgeführt.

	Kommissionierung	Lagerverwaltung	Verpackung	Wareneingangskontrolle	Qualitätssicherung	Instandhaltung	Betriebsleitung
Bedarf	0	0	0	0	0	0	0
Problemlösung	--	--	--	--	--	--	--
Monotone Aufgaben	0	0	0	0	0	-	-
Komplexe Aufgaben	0	0	0	0	-	+	0
Planen	-	-	-	-	-	-	-
Kontrolle	+	+	+	+	+	++	++
Lernen, informell	+	+	+	+	+	+	+
Lernen, formell	-	-	-	-	-	-	+
Selbstbestimmung	-	-	-	0	+	+	0
Optimierung	+	+	+	+	+	+	+
Kooperation	++	++	++	++	++	++	++
Kommunikation	+	+	+	+	+	+	+
Interdisziplinarität	+	+	+	+	+	+	+
IT-Kenntnisse	0	0	0	0	0	0	0

Legende: -- wird viel weniger, - wird weniger, 0 bleibt gleich, + wird mehr, ++ wird viel mehr.

Den Mitarbeitern werden durch das SmARPro-System prozessspezifische Lösungsvorschläge unterbreitet. Hierdurch sinkt der Bedarf einer eigenständigen Lösungsfindung des einzelnen Mitarbeiters. Im Kontext einfacher Tätigkeiten ergeben sich keine nennenswerten Änderungen hinsichtlich der Verteilung monotoner und komplexer Aufgaben, da sich der generelle Prozessablauf dieser Tätigkeiten nicht verändert. Hingegen sinkt bei variablen Tätigkeiten wie der Instandhaltung oder der Betriebsleitung der Anteil monotoner Arbeiten. Dies lässt sich einerseits auf einen umfangreicheren Tätigkeitsbereich zurückführen. Andererseits ergeben sich durch den Einsatz von Wearables verbesserte Kontroll- und Steuerfunktionalitäten. Generell sinkt aufgrund der Informationsbereitstellung des SmARPro-Systems der Bedarf an Planungsaktivitäten der Mitarbeiter. Hierdurch erhält der Mitarbeiter eine erhöhte Entscheidungs- und Kontrollkompetenz. Außerdem ist eine Verschiebung vom formellen zum informellen Lernen zu verzeichnen. Durch Hilfestellungen und Anweisungen über die Wearables ermöglicht SmARPro ein „learning by doing“. Die Reduktion der Fehler im Prozess führt bei einigen einfachen Tätigkeiten (lineare Abarbeitung) zu einer Verringerung der Selbstbestimmung. Bei komplexeren Tätigkeiten kann jedoch eine Zunahme derselben erfolgen. Prozesse und Tätigkeiten werden durch die Assistenz der Wearables optimiert. Zudem werden Fehler minimiert. Weiterhin lässt sich eine Verbesserung der Kooperation in Teams sowie der Kommunikation zwischen den Mitarbeitern durch den Einsatz der Wearables und der damit verbundenen direkten Interaktion der Mitarbeiter über Hierarchiegrenzen hinweg erkennen. Durch die Möglichkeit des schnellen Rollenwechsels sowie der Ausführung tätigkeitsübergreifender Prozesse (z. B. Auslagerungsbefehl durch den Kommissionierer) steigt in allen Bereichen die Interdisziplinarität. Die Verwendung einfacher und selbsterklärender Benutzeroberflächen ermöglicht den Einsatz des SmARPro-Systems ohne gesteigerte IT-Kenntnisse der Anwender.

Nach Vorstellung der einzelnen Tätigkeiten und der Bewertung ihrer Veränderungen anhand verschiedener Kriterien wird im Folgenden auf die allgemeinen Auswirkungen des Einsatzes des SmARPro Gesamtsystems eingegangen.

Auch wenn sich die Prozesse an sich nicht gravierend verändern, kommt es zu einer Prozessbeschleunigung. Teilschritte wie beispielsweise das Abrufen von Auftragsdaten bei der Kommissionierung an externen Systemen oder auf Papier entfallen, da das SmARPro-System weiß, wo und in welchem Arbeitsschritt sich der jeweilige Mitarbeiter befindet.

Die Prozessbeschleunigung geht einher mit einer schnelleren Fehlerbehebung und Fehlerreduktion. Durch ein direktes Feedback am jeweiligen Wearable können Fehler leichter und schneller erkannt werden. Wird eine Packfolge nicht eingehalten, weist das Wearable den Mitarbeiter darauf hin. Nicht nur das Beheben von Fehlern wird durch SmARPro erleichtert, sondern auch ihre Reduktion. Der Mitarbeiter wird abhängig von seinen bisherigen Erfahrungen und seinen persönlichen Stärken und Schwächen durch die verschiedenen Prozesse geleitet. Zudem kann durch den Einsatz von AR-fähigen Wearables die vom Menschen wahrgenommene Komplexität der Prozesse minimiert werden. Die

weiterhin komplexen Abläufe werden in einzelne Arbeitsschritte aufgeteilt und für jeden dieser Arbeitsschritte erhält der Mitarbeiter Hilfestellungen sowie ein Feedback bei der Ausführung. Dies führt zu einer Verringerung der kognitiven Belastung, wodurch sich eine Arbeitserleichterung für den Mitarbeiter ergibt. Hierdurch kann die Qualifikation der Mitarbeiter für einzelne Tätigkeiten geringer ausfallen. Jedoch ermöglicht das SmARPro-Gesamtsystem auch die Verschmelzung von Tätigkeitsfeldern. So kann ein und derselbe Mitarbeiter in verschiedenen Kontexten und Rollen arbeiten. Hierdurch ergeben sich für den Mitarbeiter eine erhöhte Flexibilität hinsichtlich seines Einsatzes sowie eine abwechslungsreiche Tätigkeit.

Neben der Verringerung der kognitiven Belastung durch SmARPro wird auch die körperliche Belastung minimiert. Die einzelnen Arbeitsschritte sind nicht nur prozessoptimierend ausgelegt, sondern auch ergonomisch, sodass Fehlhaltungen oder beispielsweise ein Verheben beim Palettieren minimiert werden. Neben Kosteneinsparungen durch Fehlerreduktion werden Kosten auch beim Einsatz von Ressourcen verringert. Oft verfügen Unternehmen über eine breite Produktpalette und über eine begrenzte Menge an Versandmaterial. Dabei werden von den Mitarbeitern häufig zu große Verpackungen ausgewählt und zusätzliches Füllmaterial verwendet, um Beschädigungen an den Artikeln zu vermeiden. SmARPro soll hier Abhilfe schaffen, indem dem Mitarbeiter auf seinem Wearable, abhängig von dem zu versendenden Artikel, die passende Verpackung sowie die Menge an zu verwendendem Füllmaterial angezeigt wird.

5.5 Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen

Beschreibungskriterium	Erläuterung
Arbeitsaufgabe	Die Tätigkeiten der Akteure werden durch eine Reduktion der Informationssuche erleichtert. Die bedarfsgerechte Anzeige der Informationen erfolgt im Sichtbereich des Mitarbeiters
Arbeitstätigkeiten	Die kognitive Belastung wird durch Hilfestellungen sowie feingranulare Prozessschritte reduziert. Der Fokus der Tätigkeiten verschiebt sich vom Planen hin zum Kontrollieren und Entscheiden
Arbeitsplatz/Arbeitsraum	Das SmARPro-System ermöglicht einen Tätigkeitswechsel sowie einen Wechsel des Arbeitsplatzes. Hierdurch ergibt sich eine erhöhte Flexibilität der Arbeitsgestaltung des jeweiligen Mitarbeiters
Arbeitsmittel	Als zentrales Element kommen mehr Mensch-Maschine-Schnittstellen in Form von elektronischen Endgeräten (Wearables) zum Einsatz
Arbeitsorganisation	Die Arbeitsorganisation ist dynamischer. Die Skalierbarkeit der menschlichen Ressourcen nimmt durch den vereinfachten Arbeitsplatzwechsel zu. Die Koordinierung von Arbeitsgruppen wird vereinfacht

Beschreibungskriterium	Erläuterung
Arbeitsumgebung	Die Einsatzbereiche der Logistikarbeiter werden erweitert und die Verfügbarkeit der Informationen wird verbessert
Qualifikation/Kompetenz	Im Kontext einfacher Tätigkeiten sinkt der Bedarf an zusätzlichen Qualifizierungsmaßnahmen. Durch zusätzliche Informationsanzeige erfolgt ein Kompetenzgewinn in allen Tätigkeiten
Führung	Es resultiert eine verbesserte Kommunikation zwischen den Hierarchieebenen. Dadurch wird die unmittelbare Ausführung von Arbeitsaufträgen ermöglicht

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.



Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeit in einer Weberei

Mario Löhler, Jacqueline Lemm, Daniel Kerpen, Marco Saggiomo und Yves-Simon Gloy

6.1 Einleitung

Die mittelständisch strukturierte Textilbranche ist die zweitgrößte Konsumgüterbranche in Deutschland. Der Fokus der deutschen Textilproduktion liegt zunehmend auf dem Bereich der technischen Textilien. Industrielle Textilmaschinen dienen zur Herstellung von unterschiedlichsten Produkten bspw. in den Bereichen

- Medizintechnik,
- Bekleidung,
- Leichtbau,
- Autointerieur.

Gerade im Segment der technischen Textilien werden Abschnitte der textilen Prozesskette immer stärker automatisiert, so z. B. beim Weben technischer Textilien, ihrer Veredelung oder Konfektionierung (Gries et al. 2014). Die Bedienung und Instandhaltung moderner Textilmaschinen wird zunehmend komplexer, da die Zahl an elektronischen

M. Löhler (✉) · M. Saggiomo · Y.-S. Gloy
Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Straße 1, 52074 Aachen, Deutschland
e-mail: Mario.Loehler@ita.rwth-aachen.de; marco.saggiomo@ita.rwth-aachen.de;
yves.gloy@ita.rwth-aachen.de

J. Lemm · D. Kerpen
Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie (STO) der RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstr. 7, 52062 Aachen, Deutschland
e-mail: jlemm@soziologie.rwth-aachen.de; dkerpen@soziologie.rwth-aachen.de

Komponenten wie Sensoren und Steuerungsmodulen steigt. Dieser Trend weg von mechanischen Komponenten und hin zu mechatronischen Systemen erfordert erweiterte Kompetenzen der Mitarbeiter/-innen im Umgang mit den Maschinen. Um die Anschluss- und Innovationsfähigkeit insbesondere kleiner oder mittlerer Unternehmen (KMU) an das Thema Automatisierung durch die zunehmende Vernetzung physischer Objekte und virtueller Instanzen („Industrie 4.0“) zu sichern, ist die Entwicklung und Implementierung intelligenter Mensch-Maschine-Schnittstellen ein zentrales Handlungsfeld (Gloy et al. 2013). Ein Lösungsansatz hierzu ist die Bereitstellung von Assistenzsystemen als technische Hilfsmittel zur Unterstützung der Mitarbeiter/-innen bei bestimmten Situationen und Handlungen (Lemm et al. 2014). Um neue Assistenzsysteme sowie damit verknüpfte Weiterbildungsmaßnahmen für eine heterogene, stets älter werdende Belegschaft zu entwickeln, wurde dank der Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Nachwuchsforschungsgruppe SozioTex an der RWTH Aachen University gegründet. Die interdisziplinär zusammengesetzte Nachwuchsforschungsgruppe wurde durch den Untersuchungsraum der Textilbranche am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University etabliert. Die enge Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technik- und Organisationssoziologie des Instituts für Soziologie (IfS) der RWTH Aachen University zeigt sich durchgängig im Arbeitsprogramm des Forschungsvorhabens: So erfolgt die Ausgestaltung soziotechnischer Systeme für die Textilbranche aus ingenieurwissenschaftlicher, soziologischer und bildungswissenschaftlicher Perspektive.

6.2 Demografischer Wandel in der deutschen Textilindustrie

Der demografische Wandel wird die Arbeitswelt in den nächsten Jahren stark prägen. So müssen sich jüngere Menschen auf eine veränderte und längere Arbeitsbiografie einstellen, während ältere Menschen eine neue Rolle in den Unternehmen spielen werden (siehe Beitrag von Apt und Bovenschulte in diesem Band). Der demografische Wandel ist in der deutschen Textilindustrie besonders ausgeprägt. Diese Entwicklung und der damit verbundene Mangel an ausgebildeten Fachkräften wird durch Personalabbau, schwache Nachwuchsrekrutierung und Verlagerung von Produktionsbereichen ins Ausland verstärkt. In den letzten Jahren ging die Beschäftigtenzahl stetig zurück, wodurch sowohl der Leistungsdruck als auch das Arbeitsaufkommen stieg. Besonders in der Textilindustrie ist der Anteil der über 45-Jährigen überdurchschnittlich hoch, wohingegen der Anteil der 20- bis 30-Jährigen unter dem Durchschnitt liegt. Im Jahr 2013 waren 18 % der Beschäftigten in der Textilindustrie älter als 55 Jahre. Die Textilindustrie ist außerdem bekannt für den Arbeitsplatzabbau sowie für niedrige Löhne, was die Rekrutierung von Nachwuchskräften hemmt. Diese Gesamtentwicklung hat sich in den vergangenen Jahren sogar eher noch verschärft. Wie in nachfolgender Grafik (Abb. 6.1) zu sehen, ist die Hälfte der Beschäftigten 50 Jahre alt oder älter. Außerdem sind nur wenige unter 25-Jährige in der Textilbranche beschäftigt (Gries et al. 2014; Gloy et al. 2013; Lemm et al. 2014; Burchardt 2013; N. N. 2013a, 2004).

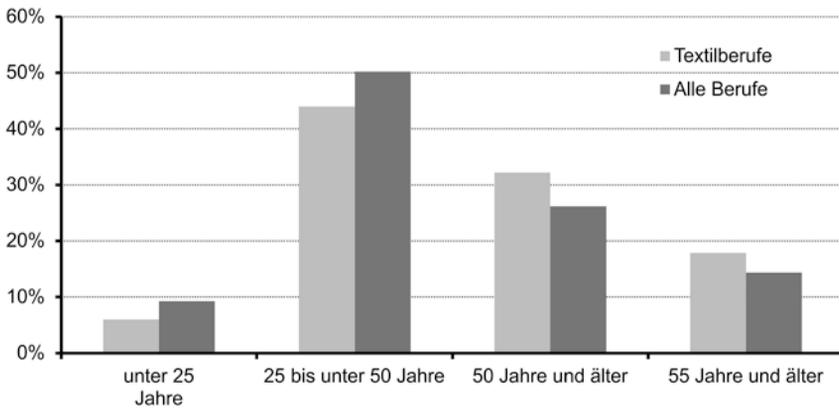


Abb. 6.1 Altersstruktur in der Textilbranche (Darstellung nach Statistik der Bundesagentur für Arbeit, Stand 31.12.2013)

6.3 Herausforderungen aus dem demografischen Wandel

Neben Alterungsprozessen der Belegschaften sorgt gleichzeitig der Rückgang an qualifizierten Bewerber/-innen für Ausbildungsplätze u. a. durch die sinkende Geburtenrate in Deutschland für einen wachsenden Fachkräftemangel in der Branche. Die Ausbildung und Beschäftigung von Personen mit Migrationshintergrund aufgrund aktueller politischer Rahmenbedingungen (Flüchtlingspolitik) wird zunehmen. Insgesamt ist somit zukünftig von einer steigenden Heterogenität der Beschäftigtenstruktur in der Textilbranche auszugehen, in der sich zahlreiche Unterschiede hinsichtlich sozio-demografischer Faktoren wie Alter, Geschlecht, Sprache, Kultur und Qualifikation zeigen werden.

Neben den Herausforderungen des demografischen Wandels wird die Digitalisierung als ein weiterer gesellschaftlicher Trend deutlich spürbar werden: Durch die Konfrontation mit immer größeren Mengen an digitalen Informationen sowie durch die zeitliche und räumliche Flexibilisierung von Arbeitsprozessen entstehen neue Formen der Arbeit, der Qualifikation und der beruflichen Zusammenarbeit. Daher gilt es, das Lernen im Prozess der Arbeit zu ermöglichen und zu unterstützen (siehe Beitrag von Mühlbradt et al. in diesem Band). Die textilwirtschaftliche Produktion ist deshalb besonders auf innovative und effiziente Lösungen für den Kompetenzaufbau und -erhalt der Mitarbeiter/-innen angewiesen. Die Lernförderlichkeit industrieller Arbeitssysteme ([Abschn. 6.6](#)) ist dabei ein Baustein, um der Herausforderung des demografischen Wandels zu begegnen ([Bigalk 2006](#); [Dehnbostel 2008](#); [Löhner et al. 2014](#)).

Unter dem Gesichtspunkt der zunehmenden Heterogenität der Belegschaft, insbesondere dem Wachstum der Gruppe der älteren Arbeitnehmer scheint die differentiell-dynamische Arbeitsgestaltung in der Textilproduktion aktueller denn je: Assistenzsysteme sind unter den Aspekten der Arbeitssicherheit und Barrierefreiheit eine vielversprechende Technologie. Weiterhin sind Assistenzsysteme in der Lage, durch ihre Funktionalität

und ihre internen Modelle eine differentiell-dynamische Arbeitsgestaltung zu unterstützen. Somit helfen sie bei der Realisierung einer Lastoptimierung der Arbeit für verschiedene Menschen. Die Verwendung von Assistenzsystemen ermöglicht eine altersgerechte Beschäftigungsmöglichkeit und qualifikationsspezifische Weiterbildung der Mitarbeiter/-innen z. B. durch eine spezifische Informationsdarstellung (Abschn. 6.6).

6.4 Methodisches Vorgehen der Untersuchung

Für die Entwicklung soziotechnischer Assistenzsysteme in der textilindustriellen Produktionsarbeit werden Arbeits- und Anforderungsanalysen mit dem Ziel eines fundierten Anforderungskatalogs benötigt. Zwingende Grundlage eines solchen Anforderungskatalogs ist damit die Analyse und Beschreibung organisationaler und personenzentrierter Anforderungen für Assistenzsysteme/-Komponenten nicht nur aus technischer, sondern auch aus soziologischer und bildungswissenschaftlicher Sicht. Deshalb wurden in interdisziplinären Arbeitstreffen zwischen Textilmaschinenbau, Bildungswissenschaften und Soziologie Analysewerkzeuge, z. B. Leitfäden für Betriebsbesichtigungen und Experteninterviews, gestaltet.

Aus methodischer Sicht werden die Anforderungen (Abschn. 6.8) neben dem technischen Gesichtspunkt aus organisatorischer sowie personenzentrierter Sicht erhoben und um den arbeitsrechtlichen Aspekt erweitert. Das gewählte Vorgehen lässt sich mit dem Stichwort „Industrie 4.0 by Design“ am besten erfassen. Dies bedeutet, dass im Rahmen von Betriebsbeobachtungen konkrete Bedarfsanalysen auf Seiten der Mitarbeiter/-innen durchgeführt werden. Dabei zu erhebende Merkmale der Belegschaften sind u. a. Alter, Bildung, beruflicher Werdegang, Sprache und Geschlecht, um der Entwicklung eines „Design for All“ gerecht zu werden (Plattform I4.0 2015). Durchgeführt werden in der Erhebung dabei qualitative, leitfadengestützte Interviews. Das heißt, dass in ihnen betroffene Mitarbeiter/-innen (insbesondere Maschinenführer/-innen, Webmeister/-innen, Schichtführer/-innen) nach Wünschen und Bedürfnissen gefragt werden, die sie in Bezug auf Unterstützungssysteme hegen. Dies geschieht in einer relativ offenen, mittels eines Leitfadens möglichst ergebnisoffenen und voraussetzungsarmen Gesprächsatmosphäre. Eine solche Herangehensweise ist notwendig, damit sich der explorative Charakter der Studie überhaupt realisieren lässt. Explorativ ist das Vorgehen deshalb, damit überhaupt ein möglichst breites Bild der relevanten Einstellungen und Ideen gezeichnet werden kann. Durch diesen Verzicht auf eine starre Struktur wird das Entstehen einer Gesprächsatmosphäre befördert, die es ermöglicht, den Gesprächspartner/-innen den größtmöglichen Raum zu bieten, eigene Schwerpunkte zu setzen und Sachverhalte nach eigenen Vorstellungen zu gewichten. Diese Befragungen wurden ergänzt durch die nachfolgenden ebenfalls qualitativ ausgerichteten Experteninterviews zu den Bereichen technisches Projektmanagement, F + E, Rolle der Betriebsräte/Gewerkschaften und Arbeitgeber als Sozialpartner, Rolle der Verbände wie z. B. VDMA sowie dem Bereich der technischen Dokumentation entsprechender Unterstützungs- bzw. Assistenzsysteme. Diese Befragungen wurden weiterhin kombiniert mit Beobachtungen im Labor des ITA sowie in Unternehmen, mit Stakeholder-Workshops sowie unter Rückgriff

auf relevante Normen und Richtlinien, z. B. VDI/VDE 3850 oder DIN EN ISO 9241-161, die aus einer umfangreichen Literaturanalyse hervorgegangen sind.

6.5 Anwendungsfall Weberei für technische Textilien

Nach der zuvor beschriebenen Methodik wurde die Produktionsarbeit in ausgewählten Webereien als Beispiel für textile Produktionsstätten in Deutschland untersucht. In der Bundesrepublik Deutschland stellt die Textilbranche einen bedeutenden Zweig des produzierenden Gewerbes dar. 1023 mittelständische Betriebe der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie erzielten im Jahre 2012 einen Umsatz von ca. 20 Mrd. €. In Deutschland werden jährlich Gewebe im Wert von ca. 1,8 Mrd. € in derzeit 103 Webereien produziert. Allerdings unterliegt die Gewebeproduktion in Hochlohnländern wie der Bundesrepublik Deutschland heutzutage zahlreichen Herausforderungen: Sinkende Losgrößen bei gleichzeitig steigender Produktvielfalt gefährden den Erhalt der deutschen Gewebeindustrie (Saggiomo et al. 2015; N. N. 2013b).

Der Erfolg der Textilproduzenten in Deutschland ist abhängig vom Einsatz innovativer und ressourceneffizienter Produktionsverfahren. Diese Produktionsverfahren und -techniken sind i. d. R. computerunterstützt. Textile Endprodukte werden aufgrund der aktuell verwendeten Produktionsmethoden und -technologien zumeist nur in großen Losgrößen gefertigt, da deren Produktionsprozess oftmals mit der Herstellung von Rollenware beginnt. Das Thema Industrie 4.0 wird generell als erfolgversprechender Ansatz gesehen, um mit neuen Methoden, Technologien und Verfahrensweisen dem Endkundenmarkt in Zukunft mehr Individualität, Flexibilität und Vielfalt zu bieten. Um aber den Weg hin zur Textilindustrie 4.0 verwirklichen zu können, müssen die vorherrschenden, speziellen Voraussetzungen berücksichtigt werden. Ein wichtiges Bindeglied ist hierbei der Textilmaschinenbau (Riedel et al. 2015). Intelligente bzw. echtzeit- und internetfähige Sensorik und Aktorik entwickeln Webmaschinen zu Cyber-Physical Systems (CPS) weiter.

Auf industriellen Webmaschinen werden die unterschiedlichsten Produkte, bspw. Papiermaschinenbespannungen oder Sicherheitsgurte für die Automobilbranche, hergestellt. Entlang der textilen Produktionskette, d. h. beispielsweise bei der Verarbeitung von Fasern zur textilen Fläche, kommen zahlreiche verschiedene Maschinen zum Einsatz. So hat eine Webmaschine ca. 200 Einstellparameter. Der Großteil der Arbeitspersonen in Textilbetrieben führt daher keine Anlern Tätigkeiten aus, sondern wird in den entsprechenden Lehrberufen, z. B. Textilmaschinenführer, ausgebildet. Betrachtet man die Interaktion mit Textilmaschinen, so finden sich zwar moderne Touchscreens und teilweise Datenbankbasierte Assistenzsysteme an den Maschinen, die aber bisher noch nicht unter soziotechnischen Aspekten gestaltet wurden. Soziotechnische Aspekte sind z. B. die nutzerorientierte Gestaltung oder ethisch-rechtliche Betrachtungen.

In diesem Beitrag wird beispielhaft eine Weberei für technische Gewebe eines KMU mit 300 Mitarbeitern betrachtet. Der Altersdurchschnitt in dieser Textilproduktion beträgt etwa 45 Jahre. In der Weberei werden 70 Webmaschinen, je zur Hälfte Greifer- und Luftwebmaschinen zur Herstellung verschiedener Produkte eingesetzt. Hinzu kommt, dass von

jedem Maschinentyp sieben Maschinengenerationen von je zwei Herstellern zum Einsatz kommen. Somit sind 28 unterschiedliche Webmaschinen in Betrieb. Diese Maschinenvielfalt kommt zustande, da immer nur ein kleiner Teil der Produktionsmaschinen bei der Anschaffung von neuen Maschinen ersetzt wird. Die Produktion ist im Zweischichtbetrieb organisiert. Eine Schicht setzt sich folgendermaßen zusammen (Tab. 6.1):

Von den Webereimeistern sind jeweils zwei für einen Webmaschinentyp zuständig. Alle anderen Produktionsmitarbeiter müssen alle Webmaschinen beachten.

Es kommt nicht selten vor, dass zeitgleich auf allen Webmaschinen unterschiedliche Artikel, in diesem Fall Gewebe, hergestellt werden. Der Arbeitsprozess der hier betrachteten Geweberstellung wird mithilfe der SIPOC-Analyse (Supplier-Input-Process-Output-Customer-Analyse) definiert, abgegrenzt und in folgender Abbildung dargestellt (Abb. 6.2).

6.6 Arbeitsunterstützung durch Assistenzsysteme in der Weberei

Webereien müssen ihre Belegschaft bei der Erhaltung und Weiterentwicklung ihrer Handlungsfähigkeit unterstützen, um den Unternehmenserfolg zu sichern. Durch die Schaffung und Bereitstellung diversitätsgerechter Arbeitsplätze, technischer Werkzeuge und mobiler, digitaler Informationstechnologien können Unternehmen ihren Mitarbeitern individuelle Hilfen bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten zur Verfügung stellen. Diese Maßnahmen tragen bei der großen Gruppe der älteren Beschäftigten dazu bei, entstandene Leistungseinschränkungen zu kompensieren und ihnen eine adäquate Teilhabe am Berufsleben zu ermöglichen. Im Besonderen kann die Einbindung von digitalen Informationstechnologien in manuelle Bearbeitungs- oder Handhabungsvorgänge dabei helfen, altersbedingte Verminderungen kognitiver Prozesse oder nachlassende Sinnesschärfen (N. N. 2004) zu kompensieren.

Tab. 6.1 Schichtzusammensetzung einer Weberei für technische Gewebe

betriebliche Funktionen	Aufgaben	Anzahl
Schichtleiter	Produktionsleitung/-überwachung	1
Webereimeister	Umbauten, Rüsten, Reparaturen, Qualitätsüberwachung	4
Textilmaschinenmechaniker	Produktionsvorbereitung (Anweben, Anknoten, Einziehen, Produktionsdaten eingeben etc.)	1
Textilmaschinenführer	Webprozess und Warenlauf kontrollieren und überwachen	2
Garnfahrer	Bestückung der Webmaschinen mit Schussgarn	1
Putzer	Webmaschinen regelmäßig reinigen	1

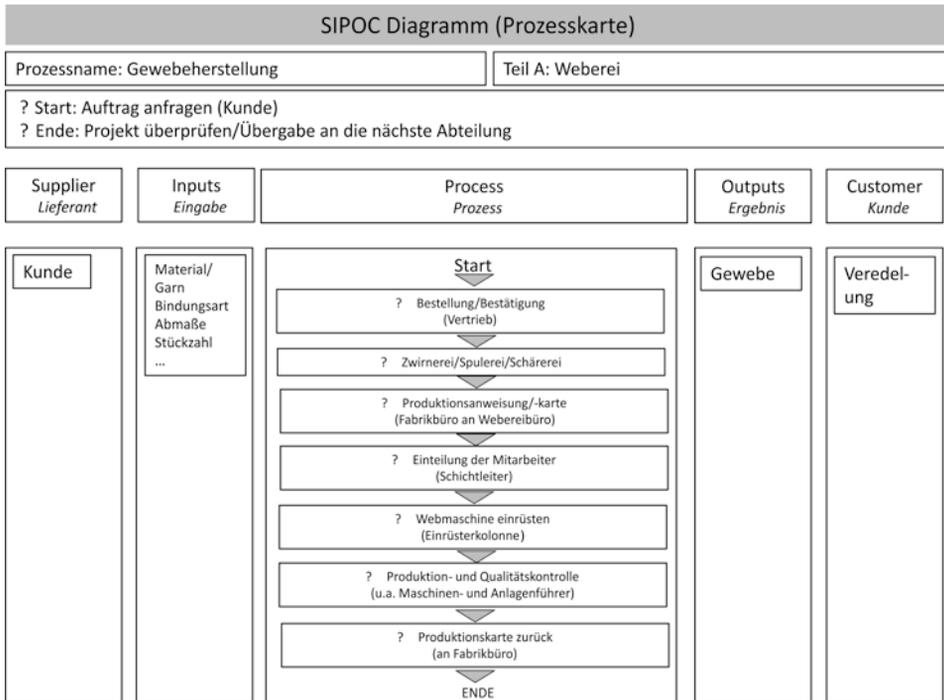


Abb. 6.2 SIPOC-Diagramm: Weberei für technische Gewebe

Assistenzsysteme in Form von Smart Personal Devices wie z. B. Tablets unterstützen die Mitarbeiter/-innen, indem sie individuell Informationen bereitstellen und beim Erlernen und Reflektieren von Fähigkeiten, z. B. in der Maschinenführung, helfen. Die Assistenzsysteme sind Instrumente für den Menschen, die ihn unterstützen und nicht ersetzen sollen. Zentral bei der bedarfs- und akzeptanzorientierten Entwicklung ist es, den Ängsten und Sorgen der Arbeitnehmer angemessen zu begegnen. Dabei gilt es, deutlich zu vermitteln, dass diese Systeme eine Unterstützung sind und nicht dazu dienen, Personal zu ersetzen. Es geht nicht darum, der Belegschaft allein nur die Technik an die Hand zu geben, sondern es ist wichtig, den unterstützenden und arbeitsvereinfachenden Charakter der Technik zu unterstreichen. Assistenzsysteme unterstützen Maschinenführer/-innen bspw. bei der Einrüstung von Textilmaschinen, indem sie aus ihrer Datenbank Einstellvorschläge geben. Zudem können Textilmaschinen bei den auftretenden Fehlern Rückmeldung zur Fehlerbehebung über das Assistenzsystem an den Bediener geben. Dabei spielt das Situationsbewusstsein der Produktionsmitarbeiter eine entscheidende Rolle, um Handlungsentscheidungen bzgl. der Ziele, Aufgaben und Randbedingungen vorzubereiten und zu treffen. Die Fähigkeiten und Handlungsoptionen der Mitarbeiter können durch

Assistenzsysteme erweitert werden. Die interaktive Kommunikation mit dem System ermöglicht das qualifikationsgerechte Lösen komplexer Aufgaben.

Der Einsatz solcher Assistenzsysteme wird die Einarbeitungsphasen verkürzen und die Etablierung und Orientierung neuer oder gerade in den Beruf eintretender Arbeitnehmer im Unternehmen deutlich verbessern. Die Einarbeitungszeiten können durch passgenaue Assistenzsysteme (z. B. bei Sprachbarrieren die individuelle Unterstützung beim Lernen mit Piktogrammen in der Bedienung von Maschinen) deutlich gesenkt werden. Die lernförderliche Gestaltung von Assistenzsystemen führt zu zielorientierten, situativen und anlassbezogenen Lernsituationen der Mitarbeiter mit geringer Unterbrechung der Arbeitstätigkeiten. Dadurch wird die Einsatzfähigkeit der entsprechenden Mitarbeiter sichergestellt. Das Lernen im Arbeitsprozess führt weiterhin zu einer Optimierung der Unternehmensprozesse, welche durch die eigenen Beschäftigten initiiert und getragen wird.

Für die Umsetzung eines Assistenzsystems zur Arbeitsunterstützung in Webereien eignet sich folglich z. B. ein Tablet in Verbindung mit Augmented Reality (AR). Die AR-Technik wurde bereits für Lehr- und Lernzwecke in Museen und Schulen eingesetzt, um bspw. physikalische Zusammenhänge zu erklären und begreifbar zu machen (Buchholz et al. 2010). Die für AR benötigte Rechenleistung und Sensorik ist unlängst auf mobilen Geräten angekommen (Abb. 6.3).

Im abgebildeten Beispielfall benötigt ein Bediener Unterstützung bei der Behebung eines Schussfadenbruchs an einer Webmaschine. Hierzu muss die Schusseintragsvorrichtung (vom Gatter zur Hauptdüse einer Webmaschine) mit der Tabletkamera erfasst werden. Die Anwendung erkennt die Position, an der der Schussfaden gebrochen ist und bietet dem/der Bediener/-in fallspezifische AR-basierte Hilfe (Abb. 6.3 rechts). Hier z. B. zeigt die Anweisung, dass der Schussfaden am Einlass des Vorspulgerätes eingeführt werden muss.



Abb. 6.3 Webmaschinenbedienung mit Unterstützung eines mobilen Assistenzsystems

6.7 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen

Die Umsetzung neuer Produktionstechniken, wie z. B. die Maschinenentwicklung hin zu CPS und die Einbindung von Assistenzsystemen bewirkt Veränderungen in den Prozessen, Arbeitsstrukturen und Aufgaben der Mitarbeiter/-innen auf allen Ebenen. Auf Basis der vorgenannten Untersuchungen (Abschn. 6.4) lassen sich folgende Auswirkungen des Einsatzes zukünftiger „Industrie 4.0“-Produktionsmaschinen auf verschiedene betriebliche Funktionen in einer Weberei abschätzen (Tab. 6.2).

Durch die Einführung von „Industrie 4.0“ in den Webereien bleibt der Bedarf an Beschäftigten eher gleich, es besteht aber die Möglichkeit, flexiblere Einsatzmöglichkeiten der Belegschaft zu schaffen. Die Anforderungen hinsichtlich eigenständiger Problemlösungsmöglichkeiten nicht vorhersagbarer Probleme werden etwas weniger. Mithilfe von Assistenzsystemen können die Mitarbeiter/-innen Probleme im Eintrittsfall aufgrund von Sensorik und Auswertungssoftware schneller erkennen bzw. erfassen. Monotone Aufgaben werden etwas weniger, u. a. weil das monotone Ablaufen von Runden um die Maschinen teilweise entfällt bzw. neu gestaltet werden kann. Hierdurch entstehen neue Freiheitsgrade für komplexe Aufgaben wie etwa Reparaturen, die v. a. auf höheren Ebenen (Meister/-in,

Tab. 6.2 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen (Erläuterungen zu den Auswirkungsdimensionen finden sich in Wischmann und Hartmann und Bauer et al. in diesem Band)

	Maschinenmechaniker	Maschinenführer	Meister	Schichtleiter
Bedarf	0	0	0	0
Problemlösung	0/-	0/-	0	0
Monotone Aufgaben	-	-	--	--
Komplexe Aufgaben	+	+	++	++
Planen	0	0	-	-
Kontrolle	0/+	0/+	0/+	0/+
Lernen, informell	++	++	++	++
Lernen, formell	0	0	0	0
Selbstbestimmung	+	+	+	+
Optimierung	++	++	++	++
Kooperation	+	+	++	++
Kommunikation	0/+	0/+	+	+
Interdisziplinarität	0	0	0/+	0/+
IT-Kenntnisse	+	0/+	++	++

Legende: -- wird viel weniger; - wird weniger; 0 bleibt gleich; + wird mehr; ++ wird viel mehr.

Schichtleiter/-in) besonders zunehmen. Somit nehmen auch die Planungs- und Kontrollmöglichkeiten zu. Eine grundständige Berufsausbildung sowie Schulungen für neue Maschinengenerationen werden weiterhin notwendig sein. Durch die zunehmenden Möglichkeiten informellen Lernens z. B. mithilfe von Konzepten des Mobile Learnings oder von lernförderlichen Elementen eines Assistenzsystems kann u. a. der Transfererfolg vom Lernfeld in das Funktionsfeld erhöht werden. Informelles Lernen ist notwendig, um die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter aufrecht zu erhalten und diese zielgruppenspezifisch zu qualifizieren. Wie schon beschrieben, werden sich die Kompetenzanforderungen mit der Einführung von „Industrie 4.0“-Lösungen verändern. Durch die zunehmende Anzahl von Automatisierungs- und IT-Komponenten, z. B. Sensoren und Schnittstellen zu IT-Systemen an den Webmaschinen, nehmen bspw. die Anforderungen an IT-Kenntnisse der Produktionsmitarbeiter zu.

6.8 Zusammenfassende Betrachtung

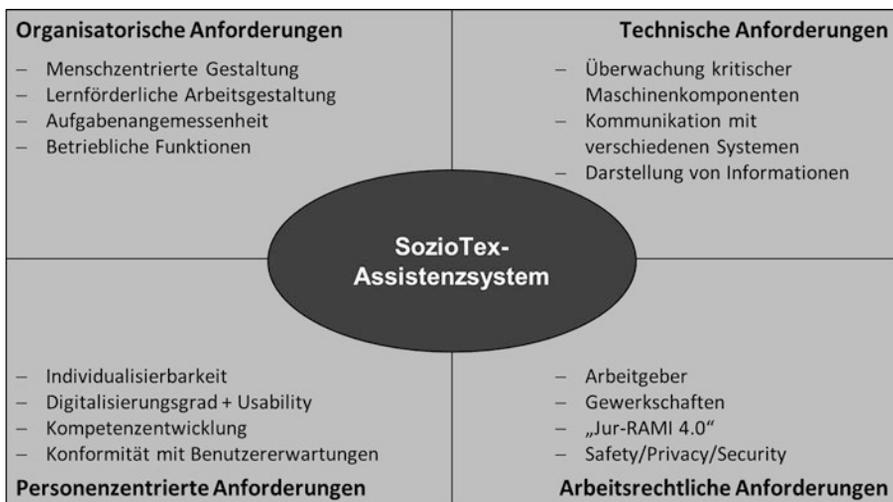
IT-Systeme werden zu Assistenten der Mitarbeiter in der textilen Fertigung. Computergestützte Assistenzsysteme werden die vielfältig anfallenden Betriebsdaten der Maschinen, wie z. B. den Verschleiß mechanischer Komponenten, analysieren und dem/der Mitarbeiter/-in die aufbereiteten Daten individuell zur Verfügung stellen. Der Mensch trifft dann, je nach Befugnis, letztendlich die Entscheidung, ob z. B. eine Schere zur Abtrennung der Fangleiste an einer Webmaschine ausgetauscht wird oder ob die Webmaschine weiter produziert. Die Assistenzsysteme erkennen den/die Mitarbeiter/-in mit seinem/ihrem Arbeitsprofil und geben ihm/ihr kontextbezogene Informationen. In der folgenden Tabelle (Tab. 6.3) sind die Auswirkungen der Umsetzung von „Industrie 4.0“ in Verbindung mit Assistenzsystemen auf die Arbeit in einer Weberei zusammengefasst:

Da sich die Arbeitsinhalte teilweise ändern werden, sind erweiterte und veränderte Kompetenzen bei der Belegschaft notwendig. Eine lernförderliche Gestaltung der Assistenzsysteme unterstützt den geforderten Kompetenzaufbau. Mitarbeiter, die die Prozess- und Maschinenteknik verinnerlicht haben, vermindern das Risiko von Produktionsstillständen und Arbeitsunfällen. Um der Adressatenorientierung und der Akzeptanz durch die späteren Nutzer gerecht zu werden, stehen die Mitarbeiter mit ihren individuellen Bedürfnissen im Analysefokus der Gestaltung von Kommunikations- und lernförderlichen Systemkomponenten sowie der Bewertung der Ergonomie am Arbeitsplatz. Unter diesem Ansatz können Blockaden von Mitarbeiterseite aus zu den neuen Fertigungsverfahren gemindert werden. Die zu entwickelnden Prozesse müssen dem Mitarbeiter Verantwortungsfreiräume und Möglichkeiten zur selbstverantwortlichen Lösungsfindung geben. Zusammenfassend lassen sich Anforderungen an ein soziotechnisches Assistenzsystem in folgender Abbildung (Abb. 6.4) darstellen:

Die Umsetzung von technologisch komplexen Systemen, wie beispielsweise die Einführung neuer Produktionstechniken im Rahmen von „Industrie 4.0“-Lösungen muss zu

Tab. 6.3 Zusammenfassung der Auswirkungen

Beschreibungskriterium	Erläuterung
Arbeitsaufgabe	Bedienen und Überwachen von Textilmaschinen wird vereinfacht. Freiraum für komplexere Aufgaben in der laufenden Produktion, z. B. Instandhaltung
Arbeitstätigkeiten	Monotone Wege zw. Maschinen entfallen/werden reduziert
Arbeitsplatz/Arbeitsraum	Die Kombination und räumliche Anordnung der Arbeitsmittel innerhalb der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben erforderlichen Bedingungen ändern sich kaum
Arbeitsmittel	Zu den bisherigen Werkzeugen und Komponenten im Arbeitssystem kommen „mobile devices“ z. B. Tablets, Datenbrille hinzu
Arbeitsorganisation	Abfolge und Wechselwirkung von Arbeitssystemen zur Erreichung eines bestimmten Arbeitsergebnisses werden flexibler/dynamischer
Arbeitsumgebung	Einsatzbereiche der Produktionsmitarbeiter werden erweitert, Informationen zu Produktionsmaschinen werden leichter verfügbar
Qualifikation/Kompetenz	IT-/Anwendungskompetenz, Erweiterung der Handlungsfähigkeit

**Abb. 6.4** Anforderungsübersicht für ein soziotechnisches Assistenzsystem

arbeitsintegrierten, sozio-technischen Assistenz- und Arbeitssystemen führen. So wird auch die berufliche und akademische Bildung mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Vor allem das ständig wechselnde Zusammenspiel von Mitarbeitern/-innen, Maschinen, Steuerungssystemen und Arbeitsorganisationssystemen muss von dem Punkt aus betrachtet werden, dass die Technologie den Menschen dienen soll und nicht umgekehrt (Dehnbostel 2008).

6.9 Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Forschungsgruppe „Neue soziotechnische Systeme in der Textilbranche (Sozio-Text)“ (FKZ: 16SV7113), sowie dem Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH für die Unterstützung bei der Beantragung und Durchführung des Projektes.

Literatur

- Bigalk, D. (2006). *Lernförderlichkeit von Arbeitsplätzen – Spiegelbild der Organisation?* In E. Frie-ling (Hrsg.), (Schriftenr.). Kassel.
- Buchholz, H., Brosda, C., & Wetzel, R. (2010). Science center to go: A mixed reality learning environment of miniature exhibits. S. 85–96, Rethymno, Greece.
- Burchardt, I. (2013). Das neue Textil-Zeitalter. *etm – Magazin für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung*, 3, 14–17.
- Dehnbostel, P. (2008). *Lern- und kompetenzförderliche Arbeitsgestaltung*. Berufsbildung in Wissen-schaft und Praxis (2) Franz Steiner Verlag Stuttgart.
- Gloy, Y.-S., Greb, C., & Gries, T. (2013). Industry 4.0: A (r)evolution for the textile industry?. In J. Hillmer (Hrsg.), *Proceedings of the 7th Aachen-Dresden International Textile Conference, Aachen*, November 28–29, 2013 Aachen: DWI an der RWTH Aachen e. V.
- Gries, T., Veit, D., & Wulfhorst, B. (2014). *Textile Fertigungsverfahren – Eine Einführung* (2. Aufl.). München: Carl Hanser.
- Lemm, J., Löhner, M., Dartsch, N., Gloy, Y.-S., Gries, T., Ziesen, N., & Häußling, R. (2014). Erfolg durch Akzeptanz der Mitarbeiter – intelligente Assistenzsysteme in der Produktion am Bei-spiel der Textilindustrie. In R. Weidner, T. Redlich (Hrsg.). *Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität.
- Löhner, M., Lemm, J., Simonis, K., Gloy, Y.-S., & Gries, T. (2014). Industry 4.0: Employee 4.0 in textile industry. In Österreichisches Chemiefaser-Institut (Hrsg.), 53. Chemiefasertagung Dornbirn 10.–12.09.2014. Wien: Österreichisches Chemiefaser-Institut.
- N. N. (2004). *Mit Erfahrung die Zukunft meistern!*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.).
- N. N. (2013a). Südwesttextil: stay textile-kreative Antwort auf den demografischen Wandel. <http://www.suedwesttextil.de/nachrichten/stay-textile-kreative-antwort-auf-den-demografischen-wandel%20>. Zugegriffen: 23. Juni 2015.
- N. N. (2013b). *Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie*. Berlin: Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V. (Hrsg.).

- Plattform I4.0 (Hrsg.) (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0*. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, Berlin und Frankfurt/M., April 2015.
- Riedel, R., Göhlert, N., & Müller, E. (2015). Industrie 4.0 in der Textilindustrie – Ansätze der Smart Factory unter besonderer Berücksichtigung textiler Produkte und Prozesse. *wt Werkstattstechnik online Jahrgang, 105*, 4.
- Saggiomo, M., Löhner, M., Lemm, J., Kerpen, D., Gloy, Y.-S., & Gries, T. (2015). Influence of human factors on cognitive textile production. In M. Blaga (Hrsg.), *Proceedings/15th AUTEX World Textile Conference 2015*, June 10–12, 2015, Bukarest, Romania. Bukarest: “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Romania, Faculty of Textiles, Leather and Industrial Management, 2015, Datei: 190_Saggiomo_full_paper_autex.pdf.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Roman Senderek

7.1 Wandel der Arbeitswelt

Die Digitalisierung und Vernetzung von Produktions- und Dienstleistungsprozessen bieten erhebliche wirtschaftliche Potenziale für Unternehmen. Schätzungen gehen davon aus, dass die Digitalisierung mit etwa 1 % zum Wirtschaftswachstum in Deutschland beitragen wird (Rüßmann et al. 2015, S. 8). Weitere Prognosen sehen bis zum Jahr 2025 eine kumulierte Produktivitätssteigerung von 30 % mit einer möglichen Bruttowertschöpfung von rd. 80 Milliarden Euro (BITKOM und Fraunhofer IAO 2014, S. 6). Auch wenn die digitalisierte und vernetzte Produktion im Sinne der Industrie 4.0 heute noch nicht in der Breite bei deutschen Unternehmen umgesetzt ist, sind bereits erste Ansätze und Konzepte in unterschiedlichen Branchen erkennbar (Lukas et al. 2014, S. 256). So geben laut einer Studie bereits 17 % der befragten deutschen Unternehmen an, über dezentral vernetzte, selbststeuernde Produktionsprozesse zu verfügen (Pierre Audoin Consultants GmbH 2014, S. 10). Der industrielle Wandel wird auch daran deutlich, dass die Relevanz von „Industrie 4.0“ in den vergangenen Jahren für Unternehmen stark zugenommen hat (Pierre Audoin Consultants GmbH 2014, S. 10). Grundsätzlich wird auch deutlich, dass sich der Implementierungsgrad in Abhängigkeit der jeweiligen Branche sichtbar voneinander unterscheidet.

Insbesondere der Automotive-Sektor gilt bei der Implementierung von „Industrie 4.0“-Konzepten als führend. Das durch „Industrie 4.0“ in den kommenden zehn Jahren zusätzlich erreichbare Wertschöpfungspotenzial wird auf 15 Milliarden Euro bei einer

R. Senderek (✉)

FIR e. V. an der RWTH Aachen, Institute for Industrial Management at RWTH Aachen University,
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen, Deutschland
e-mail: Roman.Senderek@fir.rwth-aachen.de

jährlichen Wachstumsrate von 1,5 % geschätzt (BITKOM und Fraunhofer IAO 2014, S. 7). Gleichzeitig weist die Automotive-Industrie auch einen der höchsten Automatisierungsgrade auf. Für einen Zeithorizont von fünf Jahren wird in der Automobil- und Fertigungsindustrie eine weitere deutliche Zunahme der Automatisierung und insbesondere ein deutlicher Trend von der teilautomatisierten hin zu einer vorwiegend oder voll automatisierten Produktion prognostiziert (Kelkar et al. 2014, S. 45). Dem steht im Rahmen dieser Prognose allerdings ein relativ moderates Absinken der vorwiegend manuellen oder rein manuellen Produktion von 26 % auf 18 % gegenüber (Kelkar et al. 2014, S. 45). Dies könnte damit zu erklären sein, dass der Anteil manueller Routinearbeit bereits heute nur noch einen geringen Anteil ausmacht.

Die Digitalisierung von Produktions- und Dienstleistungsprozessen geht auch mit fundamentalen Veränderungen der Arbeitswelt einher. Dabei wird sich die Rolle des Menschen in der industriellen Produktion erheblich wandeln. Durch die zunehmend komplexer werdenden, echtzeitgesteuerten Arbeits- und Produktionssysteme werden sich die Arbeitsinhalte und -prozesse, aber auch die Anforderungen an Fähigkeiten und Kompetenzen der Beschäftigten verändern (Kagermann et al. 2013, S. 6). Dies wird sich deutlich auf den Qualifizierungsbedarf sowie die Notwendigkeit der Kompetenzentwicklung auswirken. Inwiefern sich Tätigkeiten und Aufgaben verändern werden, kann derzeit allerdings nur anhand begrenzter verfügbarer Studien abgeschätzt werden. So gaben 80 % der befragten Unternehmen einer Studie an, dass die zunehmend flexible Produktionsarbeit eine zusätzliche Qualifizierung ihrer Mitarbeiter erfordere (Spath et al. 2013, S. 86). Unternehmen sind daher gefordert, neue Konzepte und Strategien für die innerbetriebliche Qualifizierung und Personalentwicklung zu erarbeiten. Es gilt Arbeits- und Produktionssysteme so zu planen und zu gestalten, dass sie arbeitsintegrierte sowie bedarfsgesteuerte Formen des Lernens unterstützen (Kagermann et al. 2013, S. 59 ff.). Auch hierbei können die technologischen Entwicklungen der letzten Jahre einen bedeutenden Beitrag leisten, die Beschäftigten für ihre zukünftigen Aufgaben zu befähigen. Diese Potenziale müssen jedoch erkannt und zielgerichtet ausgeschöpft werden (Müller 2015, S. 1). Es gilt aber in gleichem Maße auch eine Reihe von Herausforderungen zu meistern. Fragen zu IT-Sicherheit, Datenschutz und Arbeitsorganisation müssen dabei ebenso frühzeitig anvisiert werden wie die Entwicklung einheitlicher Normen und Standards.

Die Prognosen zu Auswirkungen auf die Beschäftigung in Deutschland sind bisher eher uneindeutig. Während beispielsweise die Beratungsgesellschaft BCG einen Verlust von 600.000 Arbeitsplätzen bei allerdings 950.000 neuen Arbeitsplätzen in Deutschland in den kommenden Jahren sieht, geht der Branchenverband BITKOM im Bereich des Maschinenbaus von bereits entstandenen 28.000 zusätzlichen Arbeitsplätze aus (BITKOM 2014). Daneben gibt es auch Prognosen, die von deutlich negativeren Effekten ausgehen, wie z. B. die vielzitierte Studie von Frey und Osborne (Frey und Osborne 2013) oder ein in der Wirtschaftswoche (Tutt 2015) veröffentlichter Beitrag. Die Betrachtung von konkreten Fallbeispielen kann hier jedoch einen ersten Aufschluss über die Veränderungen der Arbeitswelt geben.

Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten und vom Projektträger im DLR-begleiteten Verbundprojekt ELIAS neue Ansätze für die Gestaltung von Arbeits- und Produktionssystemen entwickelt. Das Akronym ELIAS steht für Engineering und Mainstreaming lernförderlicher industrieller Arbeitssysteme für die Industrie 4.0. Die Verbundpartner FIR e. V. an der RWTH Aachen, XERVON Instandhaltung GmbH, Deutsche MTM-Vereinigung e. V., Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen, Zwiessel Kristallglas AG, HELLA KGaA Hueck & Co. sowie FEV GmbH verfolgen dabei gemeinsam das Ziel, ein Konzept zu erarbeiten, welches das Lernen im Prozess der Arbeit als elementaren gestalterischen Bestandteil in bestehende oder zukünftige Arbeitssysteme integriert. Das angestrebte Ergebnis ist ein Planungsinstrument, dessen Funktionsweise in [Abb. 7.1](#) dargestellt ist.

Bei der Auswahl von arbeitsorientierten oder technologiegestützten Lernformen sind die jeweiligen Rahmenbedingungen eines Unternehmens zu untersuchen. Zu diesen zählen die Arbeitsaufgaben und der damit verbundene Lerngehalt, die technologisch-mediale Infrastruktur sowie der Lerntyp des Unternehmens. Zudem ist die installierte Basis an Lernlösungen und Lerninhalten zu berücksichtigen, die im Unternehmen derzeit eingesetzt wird. Auf Basis dieser Analyse der Rahmenbedingungen ermöglicht das Planungsinstrument dienstleistenden und produzierenden Unternehmen eine sinnvolle Auswahl von Lernlösungen, um Lernförderlichkeit in ihre zukünftigen, aber auch derzeitigen Arbeits- und Produktionssysteme zu integrieren.

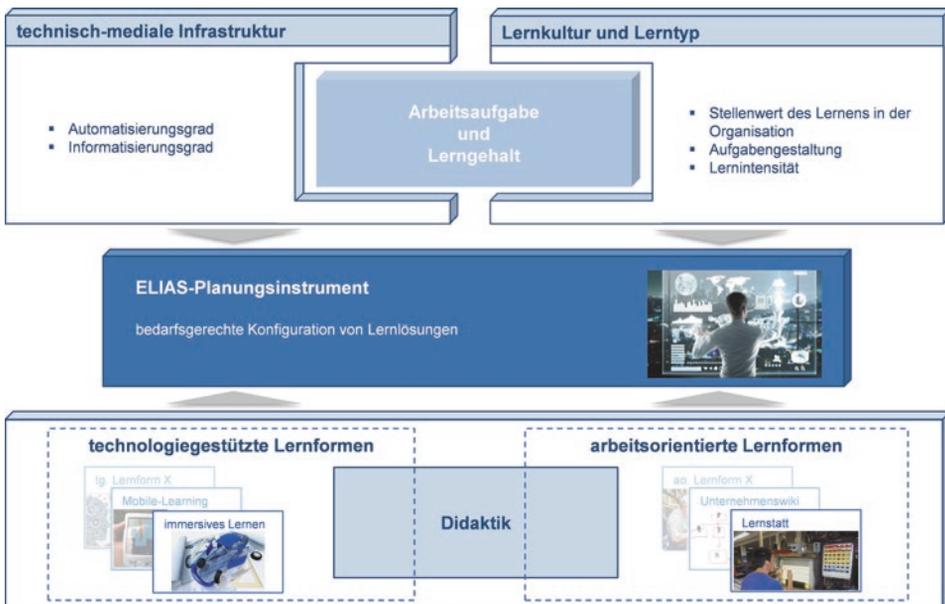


Abb. 7.1 Funktionsweise des ELIAS-Planungsinstruments

7.2 ELIAS in der Praxis: Kurzvorstellung der Unternehmen

Die industrielle Anwendbarkeit des ELIAS-Ansatzes wird mithilfe der Use-Cases der Industriepartner sowie der Entwicklung von Demonstratoren erprobt und weiterentwickelt. Beispielhaft werden in diesem Beitrag für den Produktionssektor das Arbeitssystem der HELLA KGaA Hueck & Co. sowie für den Bereich der Dienstleistungserstellung das Arbeitssystem der FEV GmbH detailliert analysiert.

Die HELLA KGaA Hueck & Co. ist ein international operierender Automobilzulieferer mit Hauptsitz in Lippstadt. Das Unternehmen wurde 1899 unter dem Namen „Westfälische Metall-Industrie Aktien-Gesellschaft (WMI)“ gegründet. Heute zählt der HELLA Konzern zu den 40 weltweit führenden Automobilzulieferern sowie zu den 50 größten deutschen Industrieunternehmen. Weltweit sind etwa 32.000 Menschen an mehr als 100 Standorten in über 35 Ländern beschäftigt. Das Kerngeschäft des Unternehmens gliedert sich in die Segmente Automotive, Aftermarket und Special Applications, dargestellt in [Abb. 7.2](#).

Der HELLA Konzern ist auf innovative Lichtsysteme und Fahrzeugelektronik spezialisiert. Im Geschäftsbereich Licht entwickelt und fertigt HELLA verschiedene Scheinwerfer, Leuchten und Innenbeleuchtung. Das Segment der Fahrzeug-Elektronik umfasst Systeme zur Effizienzsteigerung sowie Sicherheits- und Komfortsysteme. Im Bereich Aftermarket verfügt das Unternehmen über eine der größten Handelsorganisationen für Kfz-Teile, -Zubehör, Diagnose und Serviceleistungen in Europa. Produkte für Spezialfahrzeuge und fahrzeugunabhängige Anwendungen, wie Straßen- oder Industriebeleuchtung werden im Special Applications-Segment entwickelt, gefertigt und vertrieben.

Die FEV GmbH (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren) ist ein international tätiges Dienstleistungsunternehmen in der Konstruktion und Entwicklung von Antrieben. Gegründet 1978, hat die FEV ihren Hauptsitz in Aachen. Derzeit sind im Unternehmen etwa 4000 Mitarbeiter in 35 Standorten auf vier Kontinenten beschäftigt. Heute reicht das Leistungsspektrum weit über das ursprüngliche Hauptbetätigungsfeld hinaus und ist in [Abb. 7.3](#) dargestellt.

Geschäftssegmente						
Automotive		Aftermarket			Special Applications	
Licht	Elektronik	Handel u. Werkstätten			spezielle Erstausrüstung	Industries
<ul style="list-style-type: none"> Scheinwerfer Heckleuchten Einfunktionsleuchten Innenleuchten Lichtelektronik 	<ul style="list-style-type: none"> Karosserie-elektronik Energie-management Fahrerassistenz-systeme Sensorik Aktuatorik Lenkungssysteme 	Parts <ul style="list-style-type: none"> Verschleiß-teile Ersatzteile Karosserie-teile Verbrauchs-material Zubehör 	Tools <ul style="list-style-type: none"> Fahrzeug-diagnose Klima-service Licht-service Batterie-service Werkzeuge / Geräte 	Service <ul style="list-style-type: none"> Techn. Service Werkstatt-konzepte Verkaufs-unter-stützung Logistik 	<ul style="list-style-type: none"> Erstausrüstung von Spezial-fahrzeugen, wie z.B. Busse, Caravans, Land- und Bauma-schinen mit Beleuchtung und Elektronik 	<ul style="list-style-type: none"> Straßenbe-leuchtung Flughafen-beleuchtung Innen-beleuchtung Personen-zählgeräte

Abb. 7.2 Kerngeschäfte der HELLA KGaA Hueck & Co.

Geschäftsbereiche			
Engineering Dienstleistungen	Test Systeme		Software
<ul style="list-style-type: none"> • Personenwagen- und leichte Nutzfahrzeug-Dieselmotoren • PKW-Ottomotoren • Nutzfahrzeug- und Industriebmotoren • Großmotoren • Getriebe • Turbo-Aufladung 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugtechnik • Fahrwerkskonstruktion • Bordnetz und Elektronik • Hybridfahrzeuge und E-Mobility • Fahrzeugelektronik, Infotainment und Telematik • NVH – Noise Vibration Harshness • High Tech-Anwendungen • Produktionstechnik und Value Engineering 	<p>Service</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beratung, Konzeptentwicklung u. Planung • Programm-Engineering • schlüsselfertige Systemintegration • Installation u. Kommissionierung • Service u. Wartung <p>Produkte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datensysteme • Konditionierungseinheiten • Messinstrumente • Dynamometer • Sonderprüfstände • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Prüf- und Messtechniksysteme • Entwicklung eingebetteter Systeme • Datenmanagement u. Analyse • modellbasierte Kalibrierung • virtual Engine - Dynamiksimulation für den Antriebsstrang

Abb. 7.3 Geschäftsbereiche der FEV GmbH

Im Bereich der Engineering-Dienstleistungen bietet das Unternehmen seinen Kunden die Entwicklung, Konstruktion und das Prototyping von Verbrennungsmotoren sowie Getrieben in den Bereichen Ottomotoren, Dieselmotoren und Nutzfahrzeugmotoren. Weitere Bereiche, in denen die FEV heute tätig ist, sind Elektrik/Elektronik, innovative Fahrzeugkonzepte, aber auch elektrifizierte oder hybride Antriebe und alternative Kraftstoffe. Zudem hat die FEV ihr technisches Portfolio auf andere industrielle Sektoren ausgeweitet, wie bspw. die Transportbereiche Marine, Schiene und Luftfahrt sowie Landwirtschaft, Verteidigung und andere Branchen der Energietechnik. Des Weiteren betreibt die FEV im Geschäftsbereich Test Systeme moderne Motoren-Prüfstandeinrichtungen und Messtechnik, die anfangs nur dem internen Gebrauch in Aachen dienten, seit Anfang der 90er Jahre jedoch auch für Kunden gefertigt werden. Das Angebot reicht von Testeinrichtungen bis hin zur Darstellung kundenindividueller, schlüsselfertiger Testzentren. Neben den genannten verfügt die FEV ebenfalls über Kompetenzen im Software-Engineering.

7.3 Vorstellung der betrieblichen Teilprojekte

7.3.1 HELLA KGaA Hueck & Co.: Qualifizierungskonzept für technologiebezogene Kompetenzen

Die HELLA KGaA Hueck & Co. sieht sich derzeit im Produktionsbereich mit zwei Trends konfrontiert. Einerseits ermöglichen die technologischen Entwicklungen der letzten Jahre eine zunehmende Automatisierung von Fertigungs- und Montageabläufen sowie der Produktionssteuerung. Dies hat einen Rückgang des Bedarfs an anzulernenden Montagekräften bei gleichzeitig steigendem Bedarf an qualifizierten technischen Fachkräften für hochautomatisierte Anlagen zur Folge. Andererseits steigt das Durchschnittsalter der Belegschaft in den deutschen Produktionsstandorten des Unternehmens stetig an. Dieser Umstand fordert das Unternehmen und die Beschäftigten gleichermaßen heraus, die sich

stetig ändernden technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und daraus resultierende Veränderungen bei den Tätigkeitsanforderungen zu meistern. Herkömmliche interne Qualifizierungsansätze ebenso wie externe Weiterbildungsangebote stoßen hier jedoch schnell an ihre Grenzen.

Die im Rahmen des Projektes ELIAS betrachteten Arbeitssysteme, in [Abb. 7.4](#) schematisch dargestellt, sind bereits heute schon durch einen hohen Automatisierungsgrad bei einer hohen Produktkomplexität gekennzeichnet. Die Produktionsschritte laufen innerhalb verschiedener Teilmodule automatisiert ab. Die wenigen verbliebenen direkten manuellen Tätigkeiten beschränken sich bspw. auf das Einlegen sowie die Entnahme und Verpackung. Aufgrund der zunehmenden Anlagenkomplexität steigen die Anforderungen an das technische Personal deutlich an. Die Fachkraft Technik (FT) ist für die Betreuung der Produktionslinie zuständig und muss im Falle von Störungen regulierend eingreifen. Hierfür sind jedoch ein hohes Anlagenverständnis und Erfahrungswissen erforderlich. Bei komplexeren Störungen werden die Mitarbeiter des technischen Service informiert. Diese müssen über ein noch spezifischeres Systemverständnis verfügen und auf der Basis fundierten theoretischen Wissens sowie langjähriger praktischer Erfahrung in der Lage sein, die Produktionsanlage wieder instand zu setzen. Das erforderliche Wissen der Mitarbeiter des technischen Service wurde bisher im Rahmen von Schulungsmaßnahmen beim Betriebsmittellieferanten während der Inbetriebnahme einer neuen Produktionslinie vermittelt. Der Wissenstransfer auf weitere bzw. neue Mitarbeiter des technischen Service oder der Fachkräfte Technik erfolgte in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden erfahrenen Personals. Daher verfügen die Beschäftigten über variierende Qualifikationsniveaus und gehen bei der Bewältigung von Problemsituationen unterschiedlich vor, was ungeplante Stillstandzeiten der Produktionslinie zur Folge haben kann. Unterschiedliche Technologiestandards aufgrund verschiedener Anschaffungszeitpunkte, inkompatible Schnittstellen, aber auch nicht intuitiv auslesbare Störmeldungen an den Bedienpanels erschweren zudem das schnelle Einleiten adäquater Maßnahmen sowie einen flexiblen Personaleinsatz an mehreren unterschiedlichen automatischen Produktionslinien.

Um nun Betriebsmittel und Produktionsprozesse besser beherrschbar zu machen sowie im Problemfall die Arbeiten des technischen Service sinnvoll zu entlasten, besteht das Ziel der HELLA KGaA Hueck & Co. darin, den erforderlichen Wissens- und Kompetenzaufbau der technischen Fachkräfte im Hinblick auf eine Förderung von Flexibilität, Systemkenntnis und -verständnis sowie Entscheidungskompetenz weiterzuentwickeln. Zunächst wurde eine detaillierte Analyse der Personalbedarfe, der Prozessabläufe sowie der Informationsbedarfe und -flüsse an den automatisierten Produktionslinien durchgeführt. Weiterhin wurde eine Technologiematrix erarbeitet, in der die werkswweit eingesetzten Standardtechnologien erfasst sind. So konnte festgestellt werden, an welchen Produktionslinien mit vergleichbaren Technologien gearbeitet wird. Darauf aufbauend wurde ein Konzept für technologiebezogene Kompetenzen entwickelt. Dieses ordnet Tätigkeitsinhalte den entsprechenden Technologien zu und legt fest, welche Kompetenzen an welchen Produktionslinien erforderlich sind. Hiermit konnten Qualifikationsbedarfe aufgedeckt werden. Ein im Anschluss daran erarbeiteter Leitfaden für Unterweisungen ermöglicht

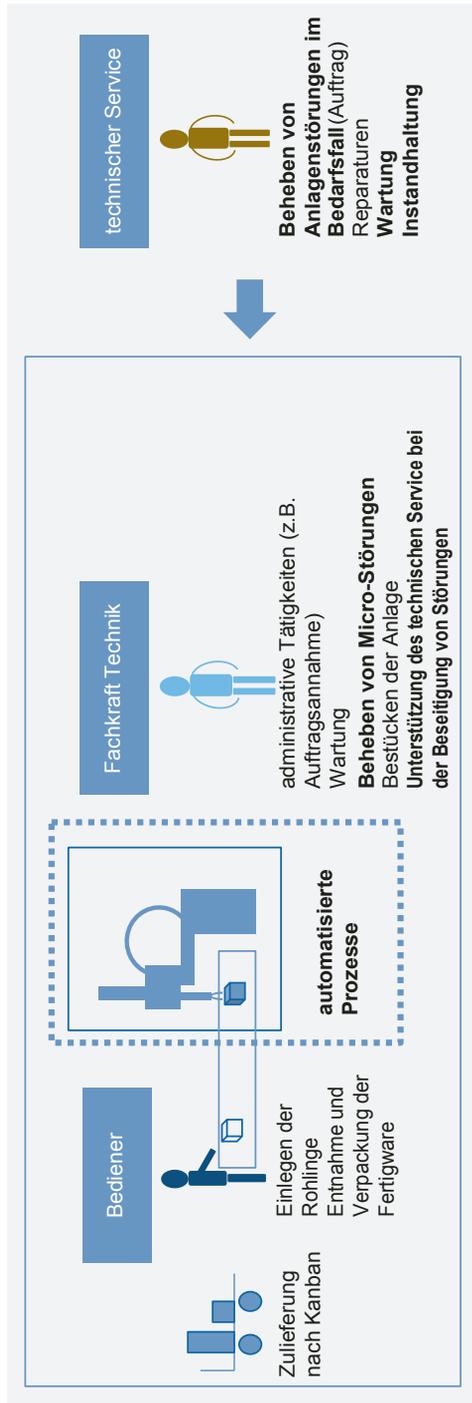


Abb. 7.4 Betrachtetes Arbeitssystem der HELLA KGaA Hueck & Co.

nun einerseits eine standardisierte Einarbeitung neuer Mitarbeiter und andererseits eine zielgerichtete Erhöhung bzw. Angleichung des Qualifikationsniveaus der Beschäftigten inklusive einer sukzessiven Erweiterung des Aufgabenspektrums der Fachkraft Technik.

7.3.2 FEV GmbH: Modellbasierte Applikation von Steuergeräten

Das Themenfeld, das im Rahmen des Projektes ELIAS in der FEV GmbH betrachtet wird, umfasst die Prozesse der Applikation elektronischer Steuergeräte an automobilen Antriebssträngen. Moderne Fahrzeuge sind mit einer Vielzahl an Steuergeräten ausgestattet, die z. B. für die Steuerung, Regelung und Überwachung von Motorfunktionen verantwortlich sind. Die Steuerungssoftware enthält eine Vielzahl von Einstellparametern (bis zu 30.000), die das Verhalten der Software beeinflussen. Ziel der Applikation ist es, Einstellparameter so zu definieren, dass bspw. Leistungswerte und Abgaswerte optimiert werden. Der Aufwand und der Zeitbedarf für die Applikation elektronischer Steuergeräte nehmen aufgrund strengerer Abgasgesetze sowie kontinuierlich komplexer werdender Systeme stetig zu. Zur Bestimmung der optimalen Einstellung der Steuergeräte müssen immer umfangreichere, im Voraus geplante Mess- und Einstellarbeiten am Prüfstand oder am Fahrzeug vorgenommen werden, bei denen der Applikationsingenieur (Applikateur) die verschiedenen Parameter des Steuergerätes an das Fahrzeug anpasst. Dabei müssen eine Vielzahl an Parametern und zahlreiche Wechselwirkungen beachtet werden. Aufgrund der immensen Komplexität sind für die Entwicklung, Kalibrierung und Diagnose von elektronischen Steuergeräten sowie zur Messdatenerfassung und -analyse softwaregestützte Applikationswerkzeuge unentbehrlich geworden. Die FEV hat daher Softwarelösungen zur modellbasierten Kalibrierung entwickelt. Die gerade beschriebene Situation ist in [Abb. 7.5](#) visualisiert.

Modellbasierte Kalibrierungen ermöglichen die Planung der Versuche und deren automatische Durchführung am Prüfstand oder im Fahrzeug. Anhand der Messungen kann so das Fahrzeugverhalten modelliert werden. Außerdem können mittels weiterer

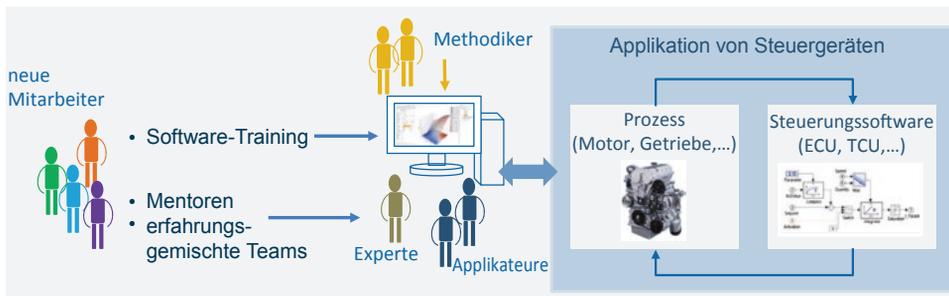


Abb. 7.5 Prozessablauf der modellbasierten Kalibrierung von Antriebssträngen bei der FEV

Funktionalitäten die gemessenen Daten effizient analysiert sowie Datensätze optimiert werden. Mit diesen Softwarelösungen werden kostenintensive Motoren- und Fahrzeugversuche minimiert und Entwicklungszeiten verkürzt. Zudem wird die Qualität der Applikation gesteigert und Applikationsprozesse standardisiert.

Tätigkeiten im Bereich der Steuergeräte-Applikation erfordern heutzutage eine Einarbeitungs- und Ausbildungszeit von etwa 2 Jahren. Aufgrund der sich stetig weiterentwickelnden und an Komplexität zunehmenden Steuergerätekfunktionen müssen sich jedoch die Applikateure kontinuierlich weiterbilden. Die unternehmensinterne Qualifizierung erfolgt zunächst über umfangreiche Schulungsmaßnahmen, die tätigkeitsspezifisch aufbereitet sind, da die unterschiedlichen Domänen wie Brennverfahrens-, Abgasnachbehandlungs- oder Fahrbarkeitsabstimmung organisatorisch überwiegend getrennt sind. Teil der Schulungsmaßnahmen ist ebenfalls die Vermittlung der Grundkenntnisse zum Umgang mit den entsprechenden Softwaretools zur modellbasierten Applikation, die zur Bearbeitung der Aufgaben und Projekte erforderlich sind. Die anschließende Einarbeitung in eine Domäne wird meist intuitiv von einfachen Teilaufgaben zu komplexen Gesamtsystemen strukturiert und durch die Arbeit in erfahrungsgemischten Teams unterstützt.

Auf die zunehmende Aufgabenkomplexität und -vielfalt sowie sich stetig verkürzende Entwicklungszyklen hat die FEV mit einer Ausweitung und Weiterentwicklung des Leistungs- bzw. Kompetenzspektrums und mit einem deutlichen Personalzuwachs reagiert. Das Unternehmen steht nun vor der Herausforderung, möglichst schnell einerseits die neuen Mitarbeiter für die Bewältigung der Projektaufgaben zu befähigen, sowie sich andererseits das notwendige Wissen in den neuen Aufgabengebieten anzueignen. Daher entwickelt die FEV GmbH im Rahmen des Projektes ein Konzept für ein lernförderlich gestaltetes, kognitives Assistenzsystem zur Applikation von Fahrzeugantrieben, um neue Mitarbeiter in diesen Aufgabenfeldern für die Datenanalyse und modellbasierte Kalibrierung schneller zu befähigen und langjährigen Mitarbeitern den Umgang mit der Software zu erleichtern. Die bisher verwendeten Softwaretools wurden in Ko-Evolution mit dem Aufgaben- und Kompetenzspektrum von erfahrenen Applikateuren selbst entwickelt und sukzessive an die steigenden Anforderungen angepasst. Da sie über keine integrierte Anleitung verfügten und wenig nutzerfreundlich waren, mussten die Applikateure, die mit diesen Tools arbeiteten, einerseits bereits über Systemverständnis verfügen, andererseits mit dem Tool vertraut sein, um die Projekte bewältigen zu können. Aufgabe der Methodiker ist es nun, in enger Zusammenarbeit mit Lead-Applikateuren, die über ein umfangreiches Erfahrungswissen verfügen, ein standardisiertes Softwaretool zu entwickeln, das unternehmensweit eingesetzt werden kann. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei in einer visualisierten Darstellung der Prozesse sowie in einer Workflow-basierten Führung durch die Aufgabe. So soll den Applikateuren der Umgang mit der Software erleichtert und demzufolge die Einarbeitungszeit verkürzt werden. Da zudem repetitive Prozesse verstärkt automatisiert und standardisiert durchgeführt werden sollen, können diese Tätigkeiten zukünftig auch von weniger erfahrenen Mitarbeitern bewältigt werden.

7.4 Zu erwartende Auswirkungen der erarbeiteten bzw. durchgeführten Maßnahmen

Im Folgenden wird dargestellt, welche Änderungen durch die Einführung der in [Kap. 3](#) beschriebenen Konzepte bei den beiden Anwendungsfällen voraussichtlich zu erwarten sind. Zunächst erfolgen eine Beschreibung der betrieblichen Funktionen sowie eine Dokumentation der Maßnahmenauswirkungen auf diese Funktionen. Im folgenden Kapitel werden diese Änderungen zusammengefasst.

7.4.1 Betroffene Tätigkeiten und Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen bei der HELLA KGaA Hueck & Co.

Die Bediener/Werker an den automatisierten Produktionsanlagen der HELLA KGaA Hueck & Co. legen die Basisteile ein und verpacken die entnommene Fertigware. Neben administrativen Tätigkeiten ist die Fachkraft Technik (FT) vor allem für die Materialversorgung der Anlage und das Beheben von Mikro-Störungen zuständig. Das Aufgabengebiet der Mitarbeiter des technischen Service (TS) gliedert sich in die Reparatur, Wartung, Instandhaltung und vor allem die Beseitigung von Anlagenstörungen. Wegen der steigenden Anforderungen an die Fachkraft Technik werden zukünftig einige geeignete Fachkräfte Technik im Rahmen des erarbeiteten Qualifizierungskonzeptes zu High-Level-Fachkräften Technik ausgebildet. Im Anschluss können diese die Arbeiten des technischen Service kompetent unterstützen bzw. Störungsbeseitigungs- und Instandsetzungsaufgaben in Teilen oder auch vollständig selbstständig als Spezialist durchführen. Da die Aufgaben der Teamleiter und der Meister nicht im Projektfokus liegen, findet eine weitere Betrachtung dieser Rollen hier nicht statt.

Grundsätzlich ist bei der HELLA KGaA Hueck & Co. aufgrund der steigenden Anlagen- und Produktkomplexität von einer steigenden Aufgabenkomplexität und damit einhergehenden Problemlösungsfähigkeiten bei den Fachkräften Technik, den Fachkräften Technik High Level sowie den Mitarbeitern des technischen Service auszugehen. Dies gilt im besonderen Maße für die Fachkräfte Technik High Level, da diese bei komplexeren Störungen von den verantwortlichen Fachkräften Technik hinzugezogen werden und eine Schnittstellenfunktion zwischen der operativen Fertigung und dem technischen Service übernehmen. Dagegen sind bei den Bedienern grundsätzlich keine Veränderungen zu erwarten. Einen Überblick über die Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen gibt [Abb. 7.6](#).

Des Weiteren wird der Personalbedarf an Fachkräften Technik High Level deutlich steigen, die aber aus dem vorhandenen Personal von Fachkräften Technik rekrutiert werden. Der Anteil monotoner Tätigkeiten wird außer für die Fachkräfte Technik High Level, bei denen eine deutliche Reduktion dieser Arbeiten zu beobachten ist, gleichbleiben. Der Anteil planender und kontrollierender Tätigkeiten wird für die Fachkräfte Technik zunehmen, da häufiger zwei Linien betreut werden. Für die Fachkräfte Technik High Level werden beide Anteile ebenfalls ansteigen.

	Bediener	FT	FT high Level	TS
Bedarf	o	-	++	o
Problemlösung	o	+	++	+
Monotone Aufgaben	o	o	- -	o
Komplexe Aufgaben	o	+	++	+
Planen	o	+	+	o
Kontrolle	o	o	+	o
Lernen, informell	o	+	++	+
Lernen, formell	o	+	++	o
Selbstbestimmung	o	o	+	o
Optimierung	o	+	++	o
Kooperation	o	+	++	+
Kommunikation	o	+	++	+
Interdisziplinarität	o	o	o	o
IT-Kenntnisse	o	+	++	+

Legende:
 -- wird viel weniger - wird weniger o bleibt gleich + wird mehr ++ wird viel mehr

Abb. 7.6 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen der HELLA KGaA Hueck & Co.

Das arbeitsnahe Lernen sowohl in informeller als auch formeller Form wird deutlich zunehmen. Hierbei wird auch das im Rahmen des Verbundprojektes ELIAS entwickelte Assistenzsystem der HELLA KGaA Hueck & Co. eine zentrale Rolle spielen. Während die Fachkräfte Technik High Level mit einem deutlichen Anstieg an Lernprozessen konfrontiert sind, wird die verstärkte Kommunikation und Kooperation zwischen den drei Rollen auch das informelle Lernen positiv beeinflussen. Dabei ist im besonderen Maße die Schnittstellenfunktion zum technischen Service der Fachkräfte Technik High Level hervorzuheben. Gleichzeitig übernehmen die Fachkräfte Technik High Level eine Schlüsselfunktion bei der Qualifizierung der technischen Fachkräfte, da erworbenes Wissen aus der Zusammenarbeit mit dem technischen Service weitergegeben werden kann. In Bezug auf die Selbstbestimmung sind kaum Veränderungen zu erwarten, wobei eine Erweiterung der Befugnisse für die Fachkräfte Technik High Level zu erwarten ist. Die Optimierung betreffend ist für alle Rollen eine Zunahme zu erwarten, da insbesondere durch den im Assistenzsystem geplanten Feedbackloop eine kontinuierliche Verbesserung der Maßnahmen zu Störungsbehebung erreicht werden soll. Die Anforderungen hinsichtlich interdisziplinären Wissens, das über die Kenntnisse im eigenen Fachbereich hinausgeht, bleiben für den technischen Service unverändert, steigen aber für die Fachkräfte Technik und besonders für die Fachkräfte Technik High Level, da sowohl mechanische als auch elektronische Mikrostörungen zukünftig selbstständig gelöst werden. Die zunehmende Informatisierung der Instandhaltung sowie die komplexer werdende Steuerung neuer Anlagen erhöhen auch die Anforderungen an die IT-Kompetenzen aller

Beteiligten, wobei die deutlichste Zunahme wiederum für die Fachkräfte Technik High Level zu erwarten ist.

7.4.2 Betroffene Tätigkeiten und Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen bei der FEV GmbH

Die Applikationsingenieure (Applikateure) der FEV GmbH führen die Kalibrierung der Steuergeräte durch und bearbeiten dabei unterschiedliche Aufgaben oder Projekte. Lead-Applikateure sind langjährige Mitarbeiter mit einem umfangreichen Erfahrungswissen. Die Teilprojektleiter sind verantwortlich für operative Planung und Steuerung im spezialisierten Arbeitsbereich. Der Gesamtprojektleiter trägt die Verantwortung für das operative Planen und Steuern des Projektes sowie für das Erreichen aller Projektziele. Die Methodiker erarbeiten strukturiert und eigenständig Methoden in den verschiedensten Bereichen, z. B. des Software-Engineerings, und sind für die Koordination und Durchführung von Schulungen zuständig. Aufgrund der umfangreichen Erweiterung des Leistungsangebots wird zukünftig das Tätigkeitsspektrum der Applikateure weiter ausdifferenziert. Es werden aber keine weiteren betrieblichen Funktionen hinzukommen.

Wie sich die betrieblichen Funktionen der FEV GmbH in Zukunft verändern werden, ist in [Abb. 7.7](#) dargestellt. Der Bedarf an Personal wird in allen fünf Funktionen der FEV GmbH deutlich steigen, was auf das starke Wachstum der FEV GmbH zurückzuführen ist. Lediglich in Domänen, die seit vielen Jahren im Unternehmen etabliert sind, bleibt die Anzahl an Lead-Applikateuren in etwa gleich. Für Domänen, die hinzukommen werden, besteht Bedarf an neuen Lead-Applikateuren und Methodikern. Da die Anzahl

	Methodiker	Applikateur	Lead-Applikateur (Experte)	Teilprojektleiter	Gesamtprojektleiter
Bedarf	+	++	+	++	++
Problemlösung	++	-	+	o	o
Monotone Aufgaben	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Komplexe Aufgaben	+	+	++	+	+
Planen	o	o	o	++	++
Kontrolle	o	-	+	+	+
Lernen, informell	o	+	+	o	o
Lernen, formell	++	+	++	+	+
Selbstbestimmung	+	o	+	o	o
Optimierung	+	o	+	++	+
Kooperation	+	o	+	o	++
Kommunikation	+	+	+	+	++
Interdisziplinarität	++	o	+	o	+
IT-Kenntnisse	o	+	o	o	o

Legende:

-- wird viel weniger - wird weniger o bleibt gleich + wird mehr ++ wird viel mehr

Abb. 7.7 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen der FEV GmbH

der Projekte stark zunehmen wird, werden zukünftig deutlich mehr Applikateure, Teil- und Gesamtprojektleiter benötigt.

Die Anforderungen eigenständiger Lösungen für nicht vorhersagbare Probleme werden insbesondere bei den Methodikern, aber auch bei den Lead-Applikateuren aufgrund der zunehmenden Anzahl an Domänen und Aufgaben steigen. Da es kaum monotone Aufgaben gab und zukünftig auch nicht geben wird, konnten hier keine weiteren Angaben gemacht werden. Der Anteil komplexer Arbeitsinhalte wird bei allen Funktionen steigen. Besonders betroffen sind die Lead-Applikateure, da sie häufig neue Aufgaben bearbeiten, bei denen das notwendige Wissen noch nicht vorhanden ist. Für Teil- und Gesamtprojektleiter wird der Anteil an planerischen Aktivitäten aufgrund der steigenden Anzahl an Projekten und Aufgaben stark zunehmen. Der Anteil kontrollierender und überwachender Tätigkeiten wird sich für Methodiker nicht ändern, für Applikateure aufgrund zunehmender Standards abnehmen, für Lead-Applikateure, Teil- und Gesamtprojektleiter jedoch wegen der steigenden Aufgabenkomplexität erhöhen.

Die Notwendigkeit des informellen Lernens im Prozess der Arbeit besteht nach wie vor für alle Funktionen, wird aber wegen der steigenden Aufgabenkomplexität für Applikateure und Lead-Applikateure zunehmen. Die Notwendigkeit des formellen Lernens nimmt für alle Funktionen zu, besonders aber für Methodiker und Lead-Applikateure (Bewältigung neuer komplexer Aufgaben). Der Grad der Selbstbestimmung bleibt für die meisten Funktionen gleich, wird aber für Methodiker und Lead-Applikateure steigen, die durch individuelles Handeln und das Einbringen von eigenen Ideen die Weiterentwicklung von Standards und Methoden unterstützen können. Methodiker, Lead-Applikateure und Gesamtprojektleiter werden zukünftig verstärkt die Möglichkeit haben, ihre eigene Arbeit zu optimieren. Aufgrund vieler neuer Aufgaben, bei denen die Vorgehensweise noch unbekannt ist, sind aber insbesondere die Teilprojektleiter gefordert, optimale Lösungen zu finden. Für Methodiker, Lead-Applikateure und besonders für Gesamtprojektleiter werden die Anforderungen an ihre kooperativen Fähigkeiten steigen, da ihre Tätigkeiten verstärkt in internationale Projektstrukturen eingebunden werden (horizontale Vernetzung im Unternehmen) und dabei ein erhöhter Abstimmungsbedarf besteht. Für alle Funktionen, insbesondere für Gesamtprojektleiter, wird es wichtiger werden, ihre kommunikativen Fähigkeiten zu stärken. Interdisziplinäres Wissen, das über die Kenntnisse im eigenen Fachbereich hinausgeht, wird besonders relevant für Methodiker, aber auch für Lead-Applikateure und Gesamtprojektleiter. Da IT-Kompetenz zur Bewältigung der alltäglichen Arbeit bisher schon zwingend erforderlich war, werden sich die Anforderungen an die IT-Kenntnisse nur für Applikateure erhöhen, da ihre Aufgaben verstärkt mittels Unterstützung durch Softwaretools ausgeführt werden.

7.5 Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen

Die im Vorangegangenen beschriebenen Änderungen werden an dieser Stelle detailliert zusammengefasst. Betrachtet wird dabei, wie sich die eingeführten Maßnahmen auf die Arbeitsaufgaben und -tätigkeiten der betroffenen betrieblichen Funktionen auswirken.

Veränderungen bezüglich der Arbeitsorganisation, des Arbeitsplatzes und der -umgebung werden dabei ebenso erfasst wie die zukünftig eingesetzten Arbeitsmittel. Von Bedeutung wird ebenfalls sein, welche Effekte bei der Qualifikations- und Kompetenzentwicklung erzielt werden und ob es im Bereich der Führung zu Veränderungen kommen wird.

7.5.1 Auswirkungen bei der HELLA KGaA Hueck & Co.

Während für Bediener/Werker und den technischen Service bei der HELLA KGaA Hueck & Co. kaum Veränderungen zu erwarten sind, sehen sich die Fachkräfte Technik sowie Fachkräfte Technik High Level einem deutlichen Wandel gegenüber. Einen Überblick der Auswirkungen bei der HELLA KGaA Hueck & Co. gibt [Abb. 7.8](#).

Da die Fachkraft Technik High Level den technischen Service zunehmend in seiner Arbeit unterstützt, werden ihre Arbeitsaufgaben erweitert und mit neuen Inhalten angereichert. Sie hat ein breiteres Spektrum an zudem komplexeren Aufgaben zu bewältigen. Die Fachkraft Technik wird mit ähnlich komplexen Aufgaben wie zuvor betraut sein. Zusätzlich zum bekannten Arbeitsplatz kann die Fachkraft Technik zukünftig an weiteren Produktionslinien eingesetzt werden. Die Fachkraft Technik High Level wird nach Erlangung der erforderlichen Qualifikationen an verschiedenen Linien eingesetzt. Zur Verrichtung ihrer täglichen Arbeiten werden den Fachkräften Technik und den Fachkräften Technik High Level zusätzliche Arbeitsmittel in Form eines technologiegestützten Assistenzsystems zur Verfügung gestellt. Im Fokus des geplanten Assistenzsystems stehen dabei Anleitungen zur Fehlerbehebung, die iterativ von den Fachkräften Technik mit Unterstützung des technischen Service entwickelt werden. Hierbei ist ein integrierter Zugang zu Lernmaterialien sowie zu digitalisierten Maschinenbögen denkbar. Für die Mehrlinienbedienung findet zudem derzeit eine simulationsbasierte Optimierung der Wege innerhalb des Arbeitssystems statt, die im späteren Verlauf auch zur Planungsunterstützung eingesetzt werden kann. Gleichzeitig ist von einer weiteren Zunahme der Komplexität der Produktionsanlagen auszugehen. Bei der Arbeitsorganisation wird es zu einer Änderung der Personalstruktur kommen. Die Anzahl der Fachkräfte Technik High Level wird sich erhöhen, die der Fachkraft Technik damit relativ gesehen sinken. Personalbedingte Stillstandzeiten können durch einen effizienteren und flexibleren Einsatz der Fachkräfte Technik an mehreren Linien reduziert werden. Außerdem ist ein verstärkter Austausch zwischen allen Rollen zu erwarten. Für die Fachkräfte Technik High Level wird es vermehrt zu Jobrotation kommen; außerdem werden Arbeits- und Lernaufgaben gemeinsam mit dem technischen Service ausgeführt. Neben der neu geschaffenen Rolle der Fachkraft Technik High Level wird insbesondere die vermehrte technologiegestützte Informationsbereitstellung für alle Fachkräfte Technik zu Veränderungen in der Arbeitsumgebung führen. Aufgrund der zunehmenden Komplexität der Produktionsanlagen sowie der verstärkten Verlagerung von Aufgaben wie der Behebung von Mikrostörungen ist ein Qualifikationsbedarf für alle Fachkräfte Technik und im besonderen Maße für die Fachkräfte Technik High Level

	Bediener	FT	FT high Level	TS
Arbeitsaufgabe	keine Veränderung	mehr Aufgaben steigende Komplexität	angereicherte Inhalte hoher Komplexitätsgrad breiteres Spektrum	weniger Aufgaben hoher Komplexitätsgrad
Arbeitsstätigkeit	keine Veränderung	gleiches Aufgabenspektrum ähnliche Organisation	enorme Veränderung, erweitertes Aufgabenspektrum verstärkte Selbstorganisation	keine Veränderung
Arbeitsplatz / Arbeitsraum	keine Veränderung	Einsatz an mehreren Produktionslinien	Einsatz an verschiedenen Produktionslinien	keine Veränderung
Arbeitsmittel	keine Veränderung	Planungsunterstützung durch Simulation komplexere Anlagen und technologiestützte Assistenz	Lernmaterialien, Planungsunterstützung durch Simulation komplexere Anlagen und technologiestützte Assistenz	keine Veränderung
Arbeits- organisation	Keine Veränderung	rel. Personalreduzierung verstärkte Kommunikation effizienter und flexibler Personaleinsatz	Personalzuwachs Job Rotation, Arbeits- und Lernaufgaben, verstärkte Kommunikation effizienter Personaleinsatz	verstärkte Kommunikation effizienter Personaleinsatz
Arbeitsumgebung	keine Veränderung	neue Rolle FT high Level, technologiestützte Informationsbereitstellung	unterschiedliche Produktionslinien, Kooperation FT & TS, technologiestützte Informationsbereitstellung	keine Veränderung
Qualifikation / Kompetenz	keine Veränderung	Qualifikationsbedarf	stark erhöhter Qualifikationsbedarf	Qualifikationsbedarf
Führung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung

Abb. 7.8 Zusammenfassende Betrachtung der Maßnahmenauswirkungen der HELLA KGaA Hueck & Co.

zu konstatieren. Zusätzliche leitende oder führende Tätigkeiten werden von keiner der betrachteten betrieblichen Funktionen ausgeübt.

7.5.2 Auswirkungen bei der FEV GmbH

Fast alle betroffenen betrieblichen Funktionen in der FEV GmbH sind mit zunehmend komplexer werdenden Aufgaben konfrontiert. Zudem werden aufgrund des sich erweiternden Leistungsangebotes neue Aufgaben auf die Methodiker und Lead-Applikateure zukommen. Teil- und Gesamtprojektleiter sind zunehmend in die Koordination internationaler Projekte eingebunden. In [Abb. 7.9](#) werden die Auswirkungen der eingeleiteten Maßnahmen bei der FEV GmbH gezeigt.

Während bei den meisten Funktionen eine Erweiterung des Tätigkeitsspektrums prognostiziert werden kann, ist bei dem Tätigkeitsspektrum der Applikateure eine weitere Ausdifferenzierung der Tätigkeit aufgrund der steigenden Komplexität durch vermehrt parallel zu betreibende Systeme zu erwarten. Neue Softwaretools mit integrierten Lerninhalten werden den Applikateuren, Lead-Applikateuren und Teilprojektleitern als unterstützende Arbeitsmittel zur Verfügung gestellt. Bei der Arbeitsorganisation wird es zu einer Veränderung der Personalstruktur kommen. Für eine Abdeckung des angebotenen Leistungsspektrums ist eine deutlich höhere Anzahl an Applikateuren erforderlich, deren Tätigkeitsschwerpunkte dementsprechend ausdifferenziert werden. Langfristig ist geplant, den Aufgabenanteil der Applikateure, der am Fahrzeug ausgeführt werden muss, zu verringern und diesen verstärkt simulationsbasiert auszuführen. Durch die steigenden Anforderungen und den erhöhten Komplexitätsgrad ergeben sich steigende Qualifikationsbedarfe für die Applikateure und Lead-Applikateure. Für Methodiker und Teilprojektleiter gewinnt das informelle Lernen immer mehr an Bedeutung. Zudem wird aufgrund der stark zunehmenden Zahl internationaler Projekte die interkulturelle Kompetenz von Teilprojektleitern gefordert sein. Eine Erweiterung der Führungsaufgaben ist für keine der betrachteten Positionen vorgesehen.

7.6 Fazit

Die beiden dargestellten Cases unterscheiden sich in vielfältiger Hinsicht, sodass eine direkte Vergleichbarkeit zunächst kaum gegeben zu sein scheint. So sind Produkte, Technologien und Herausforderungen verschieden. Bei aller Unterschiedlichkeit ist ihnen aber gemein, dass sie betriebliche Reaktionen auf einen Komplexitätsanstieg sind. Im Fall HELLA handelt es sich um eine längerfristige, in kleinen bis größeren Sprüngen und an verschiedenen Produktionslinien unterschiedlich schnell stattfindende Zunahme der Anlagenkomplexität. Zwar schlägt sich diese nicht in höheren Anforderungen an die Bedienung im Normalbetrieb nieder, wohl aber in steigenden Anforderungen hinsichtlich der Minimierung von Anlagenstillständen und der Maximierung der Anlageneffektivität. Im

	Methodiker	Applikateur	Lead-Applikateur (Experte)	Teilprojektleiter	Gesamprojektleiter
Arbeitsaufgabe	steigende Komplexität neue Aufgaben	steigende Komplexität	steigende Komplexität neue Aufgaben	internationale Koordination	stark steigende Komplexität internationale Koordination
Arbeitsfähigkeit	erweitertes Spektrum	eingegrenztes Spektrum	erweitertes Spektrum geringere Planbarkeit	Überblickswissen Grundverständnis für neue Technologien	keine Veränderung
Arbeitsplatz / Arbeitsraum	keine Veränderung	parallel zu betreibende Systeme	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Arbeitsmittel	keine Veränderung	unterstützende Software -Tools integrierte Lerninhalte	unterstützende Software -Tools	spezielle Software -Tools	keine Veränderung
Arbeitsorganisation	verstärkter Austausch interpersonaler u. internationaler Wissenstransfer	Personalzuwachs Ausdifferenzierung verstärkter Austausch interpersonaler u. internationaler Wissenstransfer	verstärkter Austausch interpersonaler u. internationaler Wissenstransfer	keine Veränderung	keine Veränderung
Arbeitsumgebung	keine Veränderung	verstärkt Tätigkeiten am Schreibtisch	keine Veränderung	internationale Dienstreisen	keine Veränderung
Qualifikation / Kompetenz	verstärkt informelles Lernen	steigende Kompetenzbedarfe Softwaretaining Zugang zu Lerninhalten im Tool	verstärkt informelles Lernen höherer Kompetenzbedarf	verstärkt informelles Lernen höhere interkulturelle Kompetenz	keine Veränderung
Führung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung

Abb. 7.9 Zusammenfassende Betrachtung der Maßnahmenauswirkungen der FEV GmbH

Fall FEV handelt es sich um die längerfristige Zunahme der Produktkomplexität, indem die Dienstleistungen variantenreicher werden und die Auftragskomplexität pro Auftrag ebenfalls zunimmt.

Vor diesem gemeinsamen Hintergrund lassen sich auch in den gewählten Vorgehensweisen und Lösungsansätzen grundlegende Übereinstimmungen zwischen beiden Fällen aufzeigen:

- Es kommen digitale Werkzeuge zum Einsatz, die der Assistenz bei der Aufgabendurchführung dienen und sowohl das individuelle als auch das organisationale Lernen adressieren.
- Es finden Veränderungen der Arbeitsorganisation statt, indem Tätigkeitsinhalte verlagert werden und neue Stellenprofile entstehen.
- Es finden Qualifizierungsprozesse statt und neue Personaleinsatz- und -entwicklungskonzepte entstehen.

Mensch, Technik und Organisation (MTO) bilden die tragenden und miteinander verbundenen Elemente der Lösung beider Cases. Aufgrund dieser Übereinstimmung lassen sich auch gemeinsame Muster in der Vorgehensweise in beiden Unternehmen aufzeigen. Die Entwicklung digitaler Werkzeuge wird im Unternehmen selbst vorgenommen unter Einbeziehung des Sachverständes verschiedener Akteure und in einem Prototyping-Verfahren, welches auch die Nutzer in die Entwicklung und Erprobung einbezieht. So kann gefolgert werden, dass sich angemessene digitale Werkzeuge nicht als fertige Lösungen „Off-the-Shelf“ einkaufen lassen. Stattdessen werden diese intern, mit starkem Bezug zu Tätigkeitsinhalten und betrieblichem Wissen, entwickelt. Entsprechend sind einschlägige Kompetenzen zu Konzeption, Arbeitsanalyse und Teilnehmungsmanagement erforderlich. Diese müssen teilweise aufgrund fehlender Vorerfahrungen, im Prozess selbst erworben werden.

Des Weiteren findet der Aufbau von Kompetenzen sowie das organisationale Lernen in Form arbeitsnaher und arbeitsintegrierter Ansätze (Mühlbradt et al. 2015; Senderek et al. 2015; Mühlbradt 2014) statt. Dies betrifft das individuelle Lernen zum Aufbau von Kompetenzen, beispielsweise durch Coaching und Job-Rotation, aber auch das organisationale Lernen durch die Integration entsprechender Funktionalitäten in die Digitalen Werkzeuge und in Arbeitsprozesse. Nicht zuletzt zeigen beide Fälle, dass die Informatisierung (Botthof 2015, S. 4) und Automatisierung der Arbeitswelt nicht gleichbedeutend mit dem Wegfall von geringqualifizierter Arbeit sein muss.

Literatur

- BITKOM. (2014). Digitalisierung schafft rund 1,5 Millionen Arbeitsplätze (Pressemitteilung). https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Pressemitteilung_4608.html. Zugegriffen: 01. Dez. 2015.
- BITKOM und Fraunhofer IAO. (2014). *Industrie 4.0 Volkswirtschaftsliches Potenzial für Deutschland*. Berlin: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.
- Botthof, A. (2015). Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 4–6). Berlin: Springer Vieweg.

- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? http://www.google.de/url?sa=t&rcet=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.oxfordmartin.ox.ac.uk%2Fdownloads%2Facademic%2FThe_Future_of_Employment.pdf&ei=oeobVePSOobXU bqeg5gJ&usg=AFQjCNFu jcxMopCcadhq7bdkRjZoy0qCYg&bvm=bv.89744112,d.bGg. Zugegriffen: 01. Apr. 2015.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern*. Berlin: Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft.
- Kelkar, O., Heger, R., & Dao, D.-K. (2014). Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie – Zusammenfassung. <http://www.mhp.com/de/home/>. Online unter: http://www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHP-Studie_Industrie4.0_V1.0.pdf. Zugegriffen: 04. Nov. 2015.
- Lukas, U. v., Stork, A., & Behr, J. (2014). Industrie 4.0 – Evolution statt Revolution. Visual Computing beflügelt die Industrie der Zukunft. *wt Werkstattstechnik online*, 104(4), 255–257.
- Mühlbradt, T. (2014). *Was macht Arbeit lernförderlich? – Eine Bestandsaufnahme*. In MTM-Schriften Industrial Engineering. Zeuthen: Hrsg.: Deutsche MTM-Vereinigung e. V.
- Mühlbradt, T., Senderek, R., Rodenhauser, T., & Saupp, L. (2015). *Arbeitsorientierte Lernlösungen für Industrielle Arbeitssysteme: Lernen für die Arbeit*. In MTM-Schriften Industrial Engineering. Ausgabe 2. Zeuthen: Hrsg.: Deutsche MTM-Vereinigung e. V.
- Müller, K. (2015). Fachkräfte für die intelligente Produktion – Aus- und Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0. *Thementag 2015: „Industrie 4.0 – Handlungsfelder und Herausforderungen“*. http://vhs-4business.de/fileadmin/PDF_Seminare/Thementag_Beitraege/Karlheinz_Mueller_VDMA.pdf.
- Pierre Audoin Consultants GmbH. (2014). IT Innovation Readiness Index 2014. Weinheim: Freudenberg IT SE & Co. KG.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0. The future of productivity and growth in manufacturing industries. https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf. Zugegriffen: 22. Apr. 2015.
- Senderek, R., Mühlbradt, T., & Buschmeyer, A. (2015). Demografiesensibles Kompetenzmanagement für die Industrie 4.0. In *Exploring Demographics* (S. 281–295). Springer.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). In D. Spath (Hrsg.), *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Tutt, C. (2015). Abschied von der Arbeit. *Wirtschaftswoche*, 5(2014), 18–23.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Assistenz und Wissensvermittlung am Beispiel von Montage- und Instandhaltungstätigkeiten

8

Carsten Ullrich, Axel Hauser-Ditz, Niklas Kreggenfeld, Christopher Prinz
und Christoph Igel

8.1 Einleitung

Ein Effekt der Transformation zur Industrie 4.0 ist ein stetiger Anstieg der Komplexität sowohl in der Bedienung und Instandhaltung von Anlagen als auch in der Steuerung der Produktionsabläufe. Der sukzessive Rückgang von Produktionsmitarbeitern bei gleichzeitiger Zunahme der Komplexität der Arbeitsprozesse lässt den Informationsbedarf sowie die notwendige berufliche Expertise rasant wachsen. Intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste bieten hier Abhilfe durch die Vermittlung von formellem und informellem Wissen und Know-how, angepasst auf Expertiseneiveaus und fachliche Aufgaben der Mitarbeiter.

C. Ullrich (✉) · C. Igel

Educational Technology Lab (EdTec) im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH), Alt-Moabit 91c, 10559 Berlin, Deutschland
e-mail: carsten.ullrich@dfki.de; christoph.igel@dfki.de

A. Hauser-Ditz

Abteilung Mitbestimmungsförderung
Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Str. 39, 40476, Düsseldorf
e-mail: Axel-Hauser-Ditz@boeckler.de

N. Kreggenfeld · C. Prinz

Lehrstuhl für Produktionssysteme | Fakultät für Maschinenbau
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801, Bochum
e-mail: kreggenfeld@ips.ruhr-uni-bochum.de; prinz@ips.ruhr-uni-bochum.de

Das Ziel des Verbundprojektes APPSist ist die Entwicklung einer neuen Generation mobiler, kontextsensitiver und intelligent-adaptiver Assistenzsysteme zur Wissens- und Handlungsunterstützung für die Industrie 4.0. Die KI-basierten Wissens- und Assistenzsysteme unterstützen die Mitarbeiter beim Wissens- und Kompetenzerwerb in der Interaktion mit Maschinen auf dem Shopfloor.

Dieser Beitrag beschreibt die Zielsetzung des APPSist-Projektes hinsichtlich Assistenz und Lernen am Arbeitsplatz. Die sich daraus ergebende technische Lösung wird skizziert ([Abschn. 8.2](#)) und die resultierenden Veränderungen im Arbeitsprozess beispielhaft an zwei Anwendungsfällen (Montage und Instandhaltung, [Abschn. 8.3](#)) erläutert. Ein weiterer Schwerpunkt von APPSist liegt in der Konzeption von Prozessen, die die Mitarbeiter systematisch in die Entwicklung und Implementierung des Systems einbinden. Diese werden in [Abschn. 8.4](#) beschrieben.

8.2 Zielsetzung und technische Lösung

Die Beherrschung der Komplexität und Flexibilität der Industrie 4.0 wird neue Formen der Arbeits- und Lernorganisation erfordern (Hirsch-Kreinsen 2014; Hirsch-Kreinsen et al. 2014). APPSist hat eine Erweiterung der Handlungsspielräume von Mitarbeitern und eine Aufwertung ihrer Arbeit zum Ziel. Konkret ruft ein Mitarbeiter das APPSist-System auf einem mobilen Endgerät auf, lässt das System individuell ausgewählte Inhalte und Tätigkeiten vorschlagen und erhält dadurch Unterstützung beim Wissenserwerb und der Durchführung bisher nicht oder wenig beherrschter Tätigkeiten. Dies ermöglicht einen Erfahrungsgewinn und das Schließen von Wissenslücken.

Ausgehend von dieser Zielsetzung wurde eine technische Plattform entwickelt, die anpassbar ist an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Einsatzortes, also das Unternehmen oder die Werkhalle (Ullrich 2015). Die APPSist-Plattform setzt sich aus einer Reihe von weitgehend unabhängigen, dedizierten Diensten zusammen, welche ereignisbasiert und asynchron agieren: Auslöser für die Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen sind Ereignisse, welche entweder von Nutzern (z. B. Benutzereingaben), dem Kontext (z. B. Änderungen des Maschinenstatus) oder den Diensten selbst (z. B. basierend auf eingetragenen Regeln) kommen. Zu den zentralen Diensten der APPSist-Plattform gehören

- der Maschinen-Informationsdienst, der die Schnittstelle zwischen der Plattform und den Maschinen auf dem Shopfloor aufbaut;
- der Maßnahmendienst, der Nutzern basierend auf Maschinen- und Nutzerkontexten durchzuführende Maßnahmen vorschlägt;
- der Inhalte-Interaktionsdienst, der die Funktionalitäten der verschiedenen Dienste über verschiedene Endgeräte zugänglich macht;
- der Performance-Support-Dienst, welcher die Nutzer durch den Assistenzprozess führt;
- die Prozess-Koordinationsinstanz, welche Assistenzprozesse ausführt und verwaltet und
- der Inhalte-Selektor, welcher die relevanten Lern- und Assistenz-Inhalte auswählt.

Abb. 8.1 Benutzeroberfläche APPsist

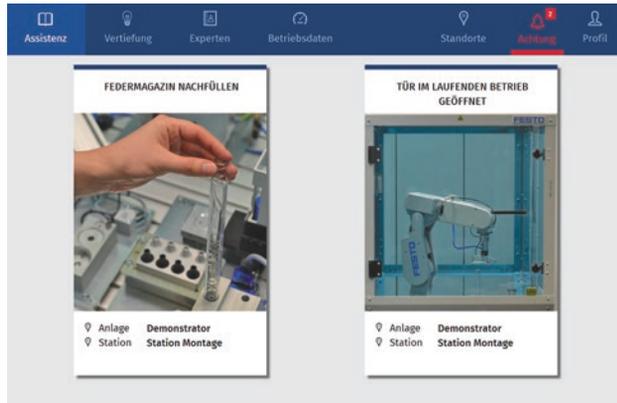


Abb. 8.1 zeigt die Oberfläche des APPsist-Systems. Der Benutzer befindet sich im Menüpunkt „Assistenz“ und bekommt daher eine Auswahl von aktuell durchführbaren Maßnahmen angezeigt.

Die Zielsetzung einer intelligent-adaptiven Unterstützung, die also angepasst an den individuellen Nutzer und an die spezifische Maschinenkonfiguration und -situation eine geeignete Unterstützung vorschlägt, erfordert dementsprechend „intelligente“ Dienste. Systeme, die sich mithilfe von Methoden der Künstlichen Intelligenz flexibel an individuelle Lernende anpassen, können als konkrete Instanzen eines allgemeinen Entwurfsmusters aufgefasst werden, das auf drei Komponenten basiert: einem Wissensmodell, einem Lernermodell und einem Bildungsmodell. Das Wissensmodell besteht aus dem in Lernobjekte strukturierten und mit Metadaten annotierten Lehr-Lern-Material. Das Lernermodell enthält eine Abschätzung des Wissensstandes, der Eigenschaften etc. der Lernenden, die als Basis der Personalisierung und individuellen Fortschrittskontrolle dient. Um Passung zwischen Wissensmodell und Lernermodell zu erzeugen, verfügen diese Systeme weiterhin über ein Bildungsmodell, in dem didaktisches Wissen in einer computerverwendbaren Form (z. B. als Expertensystem) formalisiert ist.

In APPsist wurde die Domäne „Produktion“ modelliert, d. h. die auftretenden Konzepte und deren Zusammenhänge wurden in einer formalen Beschreibungssprache beschrieben und in einer semantischen Datenbank abgelegt. Abb. 8.2 zeigt beispielhaft einen vereinfachten Ausschnitt des Domänenmodells, der die für die Assistenz- und Wissensdienste relevanten Produktionsgegenstände beschreibt.

Dieses Modell dient als eindeutiges und festgelegtes Vokabular der Kommunikation der Dienste und als Grundlage für die intelligenten Entscheidungsprozesse der adaptiven Dienste. So kann beispielsweise der Maßnahmendienst über generische Anfragen an die semantische Datenbank die für den aktuellen Kontext relevanten Maßnahmen bestimmen.

Das Lernermodell enthält Informationen darüber, wie oft ein Benutzer mit einem Konzept des Domänenmodells interagiert hat, d. h. wie oft ein Assistenzschritt gestartet, abgebrochen und beendet wurde, wie oft ein Lerninhalt oder Dokument angesehen wurde, und



Abb. 8.2 Domänenmodell APPSist (Auszug)

wie oft ein Produktionsgegenstand verwendet wurde. Zusätzlich werden weitere relevante Benutzerinformation gespeichert, nämlich die Arbeitsplatzgruppe des Mitarbeiters, Freigaben (welche Tätigkeiten der Mitarbeiter durchführen darf), ob er/sie sich aktuell in der Haupttätigkeit (beispielsweise der Montage) oder Nebentätigkeit „Lernzeit“ befindet (zu Lernzeiten siehe auch [Abschn. 8.4](#)) und welches die Entwicklungsziele sind. Das Modell geht davon aus, dass Entwicklungsziele in Zielvereinbarungsgesprächen zwischen Mitarbeiter und Führungskraft festgelegt werden. Entwicklungsziele können konkrete Inhalte und/oder eine neue Beschäftigungsgruppe und/oder Produktionsgegenstände beinhalten.

Das Bildungsmodell realisiert die Adaptivität bezogen auf die Dimensionen „Zeithorizont“ und „Art der Unterstützung“. Der Zeithorizont umfasst die beiden Werte „aktueller Zustand“ (der Mitarbeiter soll bei einer durch den momentan geltenden Zustand bedingten Arbeit unterstützt werden) und „Entwicklungsperspektive“ (der Mitarbeiter wird beim Erreichen eines langfristigen Zieles unterstützt). Der erste Fall ist beispielsweise eine Reaktion auf konkret auftretende Probleme im Betrieb: Meldet eine Maschine, dass ein benötigter Werkstoff (z. B. Loctite) nicht mehr in ausreichendem Maße vorhanden ist, so wird der Mitarbeiter darauf hingewiesen und bekommt passende Maßnahmen im APPSist-System angezeigt. Im zweiten Fall geschieht die Unterstützung bezogen auf die im Mitarbeitergespräch vereinbarten Entwicklungsziele. So kann das APPSist-System Inhalte und Maßnahmen bezogen auf langfristige Entwicklungsperspektiven vorschlagen. Die Art der Unterstützung kann in einer Assistenz bestehen, d. h. bei der konkreten Durchführung einer Tätigkeit wie dem Wechseln von Werkstoffen, oder in der Bereitstellung von

Inhalten. Es lassen sich also im aktuellen APPSist-System folgende vier Adaptionenregeln unterscheiden (in der tatsächlichen technischen Implementierung setzen sich diese Regeln aus mehreren Teilregeln zusammen):

- Haupttätigkeit-Assistenz (HA): Wenn Mitarbeiter in „Haupttätigkeit“ und fordert Assistenz an, dann bestimme Maßnahmen, die relevant sind für aktuelle Station und Maschinenzustand.
- Nebentätigkeit-Assistenz (NA): Wenn Mitarbeiter in „Nebentätigkeit Lernzeit“ und fordert Assistenz an, dann bestimme Maßnahmen, die relevant sind für langfristige Entwicklungsperspektive.
- Haupttätigkeit-Inhalte (HI): Wenn Mitarbeiter in „Haupttätigkeit“ und Anforderung von Inhalten, dann bestimme Inhalte, die relevant sind für aktuelle Station und Maschinenzustand.
- Nebentätigkeit-Inhalte (NI): Wenn Mitarbeiter in „Nebentätigkeit Lernzeit“ und Anforderung von Inhalten, dann bestimme Inhalte, die relevant sind für langfristige Entwicklungsperspektive.

8.3 Betriebliche Anwendungsfälle

8.3.1 Hintergrund/Motivation

Zu Demonstrations- und Validierungszwecken wurden im APPSist Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit industriellen Anwendungspartnern verschiedene Anwendungsszenarien entwickelt. Diese wurden bewusst so definiert, dass sie hinsichtlich der relevanten Parameter „Zielgruppe“ und „Komplexität“ deutlich variieren, um so die Leistungsfähigkeit und Breitenwirksamkeit des APPSist-Systems zu verdeutlichen.

Zur Darstellung der erweiterten Befähigung zur Ausführung von zusätzlichen Tätigkeiten (z. B. einfache Instandhaltung) wurde ein Anwendungsszenario ausgewählt, bei dem der Wechsel eines Werkstoffes in einer teilautomatisierten Montagelinie nicht mehr durch eine Fachkraft (z. B. Mechatroniker), sondern durch eine dort tätige angelernte Montagekraft (Zielgruppe) mithilfe von Assistenz (geringe Komplexität) durchgeführt werden soll. Die Zielsetzung dabei ist, an- oder ungelernte Mitarbeiter/Innen dazu zu befähigen, diesen Prozess selbstständig und effizient durchzuführen. Durch diese Umverteilung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten sollen Anlagenstillstände reduziert und somit Kosten eingespart werden. Angelernte Kräfte können mittels der Assistenz flexibler eingesetzt werden und Fachkräfte können zu einem höheren Zeitanteil Aufgaben mit höheren Anforderungen bearbeiten.

Zur Betrachtung der komplexeren Assistenz zur Reduzierung der Bearbeitungszeit und Qualitätserhöhung/Fehlervermeidung wurde ein Anwendungsszenario im Vorrichtungsbau gewählt, bei dem komplexe Montagetätigkeiten im Vorrichtungsbau durch Fachkräfte (z. B. Industriemechaniker, Elektrotechniker) mittels Assistenzsystemen unterstützt

werden. Im Gegensatz zum ersten Anwendungsszenario bilden hier hochqualifizierte Mitarbeiter die Zielgruppe. Die Komplexität dieses Prozesses liegt in der hohen Individualität der zu montierenden Vorrichtungen (mechanische, pneumatische und elektronische Komponenten). Diese sind modular aufgebaut, unterscheiden sich jedoch im Detail je nach Kundenanforderung signifikant, sodass eine kundenbezogene Beschreibung der korrelierenden Montagetätigkeiten erfolgen muss. Letztendlich sollen so Verschwendungen sowie Fehler im Prozess und somit auch die benötigte Montagezeit reduziert und die Qualität erhöht werden.

Für die Bereitstellung von Assistenz ist es zunächst erforderlich, die jeweiligen Prozesse eindeutig und nachvollziehbar zu beschreiben. Die Prozessaufnahme erfolgt in workshop-orientierten Meetings, an denen im Wesentlichen die Experten für den zu definierenden Prozess teilnehmen. Diese können je nach Prozess und Unternehmensgröße durch Fachkräfte, Führungskräfte und Geschäftsführer repräsentiert werden. Als Prozessbeschreibungssprache kommt die Business Process Model and Notation (BPMN) zum Einsatz (BPMN 2011). Definiert werden die jeweiligen relevanten Prozessschritte in unterschiedlichen, zielgruppenorientierten Detaillierungsstufen.

Die zu beschreibenden Prozesse werden zunächst in einer Maßnahme (oberste Ebene) definiert. Die Maßnahme setzt sich aus verschiedenen Aktivitäten zusammen, welche somit die zweite Ebene darstellen. Diese lassen sich wiederum weiter in eine Folge von Aktionen (dritte Ebene) untergliedern. Die dritte Ebene setzt sich aus elementaren Schritten zusammen. Diese maximal dreistufige Detaillierung gewährleistet zum einen die Übersichtlichkeit der Prozessstruktur, zum anderen ermöglicht sie aber auch, Mitarbeitern im Rahmen der Assistenzgebung Informationen in unterschiedlicher Granularität und somit Assistenz für unterschiedliche Fähigkeitsstufen bereitstellen zu können. Um die Prozesse schließlich für die Verwendung im Assistenzsystem aufzubereiten, werden den einzelnen Prozessschritten auf allen Ebenen Assistenzinhalte zugeordnet. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem Text, der dem Mitarbeiter Informationen darüber liefert, was im entsprechenden Schritt getan werden muss. Hinzu kommen je nach Prozessschritt auch notwendige Warnsymbole, Hinweise sowie unterstützende Fotos, Videos, Modelle oder technische Zeichnungen. Je nach Anwendungsfall sind hier auch AR-Inhalte (Augmented Reality) möglich.

8.3.2 Beschreibung der assistierten Prozesse und der Unterstützung

Nachfolgend wird das Anwendungsbeispiel „Werkstoff wechseln“ beschrieben. Dieser Prozess ist in [Abb. 8.3](#) auf allen drei Detaillierungsebenen (Maßnahme, Aktivität, Aktion) grafisch dargestellt. Auf der obersten Ebene ist der Prozess bewusst sehr übersichtlich gestaltet. Hier ist lediglich beschrieben, dass die Station angehalten und nach dem Wechsel wieder in Betrieb genommen werden muss. Außerdem müssen die Reste des entnommenen Stoffes ordnungsgemäß entsorgt werden. Um den Prozess für die entsprechende Zielgruppe adäquat zu beschreiben, ist daher eine Detaillierung auf der Aktivitäten- und Aktionsebene unabdingbar. Hier wird Schritt für Schritt darauf eingegangen, welche Einzelaktivitäten zur Durchführung des Prozesses notwendig sind. Entsprechend

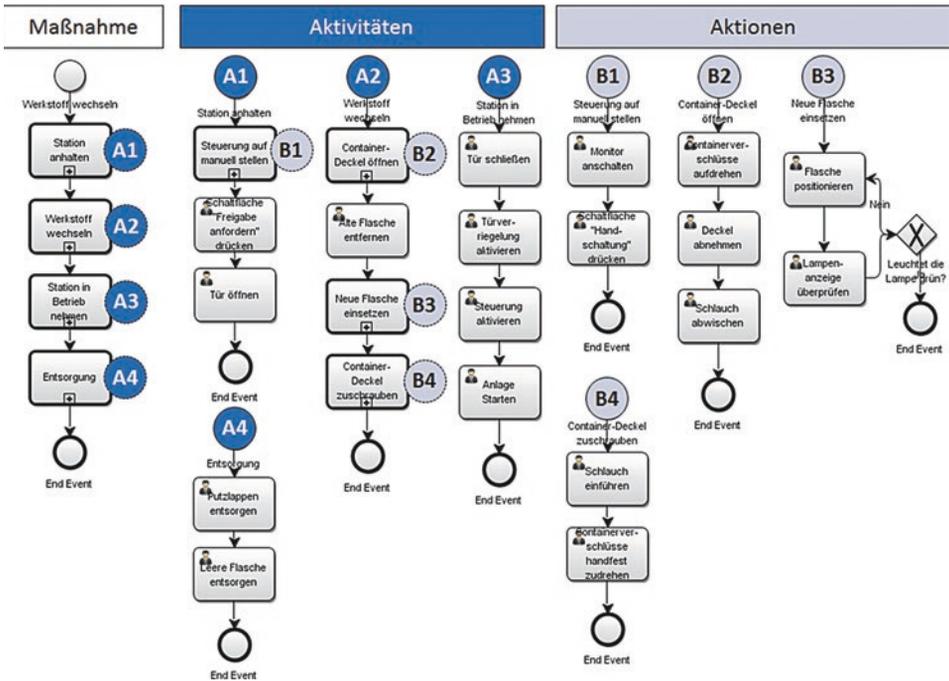


Abb. 8.3 Prozessdarstellung in BPMN

aufbereitete Fotos und Videos werden dem Mitarbeiter angezeigt. Gerade bei dem eigentlichen Wechsel- und Entsorgungsvorgang sind darüber hinaus aber auch Warnhinweise notwendig, die auf die Gefahren im Umgang mit dem Stoff sowie auf Vorschriften hinsichtlich der zu treffenden Vorsichtsmaßnahmen aufmerksam machen.

Die Komplexität beim zweiten Anwendungsszenario, dem Montageprozess im Vorrichtungsbau, der von einer Fachkraft durchgeführt wird, liegt weniger in der Beschreibung der einzelnen Prozessschritte, da diese im Wesentlichen bei der angesprochenen Zielgruppe bekannt sind. Vielmehr geht es hier um die korrekte Zuordnung der anzuzeigenden Inhalte, die in diesem Fall hauptsächlich aus technischen Zeichnungen bestehen. Hier kann keine starre Zuordnung zwischen Inhalten und Prozessschritten erfolgen, sondern diese muss sich stets am Kunden und der korrelierenden Variante der Vorrichtung orientieren. Somit ist eine direkte Vernetzung des Assistenzsystems mit den Automatisierungssystemen (z. B. ERP, MES) notwendig.

Um die verschiedenen Arten der Unterstützung, die durch das APPSist-System möglich sind, zu veranschaulichen, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich der angeleitete Montagearbeiter in der Nebentätigkeit „Lernzeit“ und die Fachkraft in der Haupttätigkeit befindet.

Fordert der Montagearbeiter Frank Müller Assistenz an, werden die im Lernermodell abgelegten Entwicklungsziele herangezogen: Die Führungskraft hat bemerkt, dass Herr Müller über erhebliches technisches Geschick verfügt. So hat Herr Müller in den

letzten Wochen, unterstützt durch die APPsist-Assistenz, erfolgreich verschiedene Werkstoffe gewechselt. Es wurde daher vereinbart, dass der Mitarbeiter sich strategisch auf die Übernahme weiterer Instandhaltungsaufgaben vorbereiten soll. Ihm werden also vom APPsist-System weitere, etwas komplexere Maßnahmen zur Instandhaltung wie beispielsweise „Problem bei Schraubenzufuhr beheben“ vorgeschlagen (Regel NA). Wählt er eine Maßnahme aus, kann er diese, geleitet von der Assistenz, beispielsweise an einer Lerninsel oder in einer Lernfabrik vorab simulieren.

Wählt hingegen die Fachkraft Sabine Meyer Unterstützung durch Assistenz in der Haupttätigkeit aus (Regel HA), werden ihr auf den aktuellen Kontext bezogene Maßnahmen vorgeschlagen, in diesem Fall beispielsweise „pneumatische Komponenten montieren“. Fordert Frau Meyer Inhalte an (Regel HI), dann werden für die momentane Situation relevante Dokumente ausgewählt, z. B. der pneumatische Schaltplan für den spezifischen Kunden oder Lerninhalte zu pneumatischer Montage.

Im Falle von Herrn Müller werden bei Inhaltsanforderung (Regel NI) vereinbarte Inhalte (Informationen über das Unternehmen, das Produkt und den Produktionsprozess) und hinsichtlich der Entwicklungsziele relevante Inhalte (Beschreibung der Aufgaben eines Instandhalters etc.) angezeigt.

8.3.3 Veränderungen im Arbeitsprozess durch die Einführung des Assistenzsystems

In den derzeitigen Pilotszenarien lassen sich bereits einige Tendenzen für die Veränderung von Tätigkeiten und der Organisation von Arbeit ausmachen (Tab. 8.1). Diese entsprechen den Zielvorstellungen innerhalb des Projektes. Damit diese Effekte sich auch in einem großflächigen Einsatz des Systems bestätigen, bedarf es der fortlaufenden Beobachtung, Anpassung und Optimierung und darauf basierender Gestaltung.

Bei der Darstellung der Veränderungen wird zunächst der oben beschriebene Anwendungsfall der Assistenz für einfache Instandhaltungstätigkeiten (Wechsel eines Werkstoffs) in einer teilautomatisierten Montagelinie (Spalte 1) fokussiert.

Personalbedarf/Übertragung von Tätigkeiten zwischen Arbeitsplätzen und betrieblichen Funktionen: Im konkreten Anwendungsfall werden einzelne Tätigkeiten der vorbeugenden Instandhaltung vom Anlagenführer (Facharbeit) auf die Anlagenbediener (angelernte Montagemitarbeiter) übertragen. Diese werden mittels Assistenz in die Lage versetzt, ausgewählte komplexere Tätigkeiten auszuführen. Hierbei handelt es sich weiterhin um standardisierbare Routinetätigkeiten. Ihre Ausführung umfasst jedoch im Unterschied zur kurz getakteten Routinetätigkeit am Montagearbeitsplatz mehr Arbeitsschritte und diese fallen vergleichsweise selten, bspw. im Abstand von mehreren Tagen an.

Durch die Übertragung von Tätigkeiten an die Montagemitarbeiter sinkt für diese insgesamt der Anteil monotoner (Montage)Arbeiten. Gleichzeitig nimmt der Komplexitätsgrad der Tätigkeit zu und es werden mehr problemlösende und kontrollierende Tätigkeiten

Tab. 8.1 Auswirkungen auf Tätigkeiten und Kompetenzanforderungen

Veränderungen	Szenario 1: einfache Teilmontage durch angelegerte Montage-MA	Szenario 2: komplexe Werkzeugmontage durch Fachkraft
Personalbedarf	0	0
<i>Tätigkeitsveränderungen</i>		
Problemlösung	++	0
Monotone Aufgaben	-	0
Komplexe Aufgaben	+	0
Planen	0	0
Kontrolltätigkeiten	+	-
Lernen, informell	++	+
Lernen, formell	+	+
Selbstbestimmung	+	0
Optimierung	+	+
Kooperation	+	+
<i>Kompetenzanforderungen</i>		
Kommunikation	+	+
Interdisziplinarität	+	+
IT-Kenntnisse	0	0

-- wird viel weniger, - wird weniger, 0 bleibt gleich, + wird mehr, ++ wird viel mehr.

übernommen. Dies bedeutet jedoch nicht automatisch, dass die Erweiterung von Tätigkeiten auch mit einem erhöhten Maß an Selbstbestimmung am Arbeitsplatz einhergeht, da die erweiterten Aufgaben und Problemlösungen jeweils mehr oder weniger strikt durch das System vorgegeben werden. Hier kommt es auf die konkrete Ausgestaltung des APPsist-Systems an. Zu erwarten ist zudem, dass auch Prozesse der Selbstoptimierung der Montagemitarbeiter durch das System unterstützt werden. Auch dürfte die Kooperation zwischen den Einzelarbeitsplätzen in der Montagelinie und zwischen den unterschiedlichen Funktionsbereichen zunehmen, da durch den Einsatz des mobilen Systems mehr Abstimmungsprozesse anfallen (wer die konkrete Maßnahme ausführen soll, Wissensaustausch über von Kollegen/Innen hinterlegte Erfahrungsberichte, Kontaktaufnahme mit Technikern bei Störungen etc.).

Mit der Übertragung von Tätigkeiten auf die Montagemitarbeiter werden auch Effekte für andere Mitarbeitergruppen entstehen. Es wird insgesamt eine aufwertende Verschiebung im Tätigkeitsgefüge ausgelöst (Fahrstuhleffekt). So soll etwa der Maschinenführer künftig einzelne Aufgaben übernehmen, die bisher bspw. den Instandhaltern vorbehalten waren – etwa die Beseitigung von vergleichsweise häufig auftretenden mechanischen

Störungen. Die Instandhalter wiederum erhalten zusätzliche Aufgaben in einem zunehmend technisierten Umfeld (perspektivisch steigender Automatisierungsgrad). Letztlich fallen auch zusätzliche Arbeiten bei der Pflege des Assistenzsystems an. Zum einen entsteht zusätzlicher Arbeitsaufwand für die Generierung neuer Unterstützungsszenarien, die zunächst maschinenlesbar in BPMN modelliert werden müssen. Zum anderen ist zu erwarten, dass bei breitflächiger Implementierung des Systems auch ein erhöhter Instandhaltungsbedarf für das System selbst entsteht. Insgesamt werden durch den Einsatz des Assistenzsystems die Tätigkeiten an den Montagearbeitsplätzen wie auch auf der Ebene des Anlagenführers und des Wartungspersonals tendenziell anspruchsvoller. Eindeutige Beschäftigungseffekte für die unterschiedlichen betrieblichen Funktionen lassen sich derzeit noch nicht prognostizieren.

Qualifizierungsbedarf und Qualifizierungsmöglichkeiten:

Das Assistenzsystem ist für den Benutzer selbsterklärend und wird in dieser Hinsicht umfangreich mit ausgewählten Mitarbeitern des Pilotbereichs getestet und optimiert. Ein unmittelbarer Qualifizierungsbedarf für die Handhabung des Systems ergibt sich auf dieser Ebene zunächst nicht. Dessen ungeachtet ist allein schon aus arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen eine Unterweisung in die Systemhandhabung und die assistierten Prozesse nötig. Hierzu gehört auch, die Mitarbeiter über die Rahmenbedingungen des Systemeinsatzes (bspw. Regelungen zum Datenschutz, zur Leistungskontrolle etc.) sowie über den grundsätzlichen Aufbau der verwandten Modelle (Transparenz darüber, welche Daten wozu verwendet werden und welche Folgen ein bestimmtes Nutzerverhalten hat) zu informieren.

Im Unterschied zu anderen, meist stationären Assistenzsystemen im Montagebereich, beinhaltet das APPSist-System weitere Dienste, die über die unmittelbare Anleitung von Tätigkeiten hinausgehen. Insbesondere eröffnen sich durch die Integration von Lernmaterial und weiteren Informationsressourcen neue Möglichkeiten für **arbeitsplatznahes Lernen** (siehe oben).

Effekte könnten sich auch für die erforderlichen **kommunikativen Kompetenzen** ergeben. In dem Maße, wie Kooperations- und Kommunikationsschnittstellen innerhalb des Systems realisiert werden (im aktuellen Stadium sind noch nicht alle vorgesehenen Funktionalitäten implementiert) und Abstimmungsprozesse bspw. mit Instandhaltern oder IT-Services auftreten, erhöhen sich auch die Anforderungen an kommunikative Kompetenzen.

Demgegenüber stellen sich bei den Systembenutzern zunächst keine erhöhten Qualifikationsanforderungen in Bezug auf **IT-Kenntnisse** – jedenfalls auf der Ebene der einfachen Montagearbeitsplätze. Höhere Qualifizierungsanforderungen könnten aber bei anderen Beschäftigtengruppen entstehen, etwa bei den Systeminstandhaltern. Hier wird es davon abhängen, bei welchen Arbeitsplätzen die Pflege des Assistenzsystems angesiedelt ist bzw. wie hier gegebenenfalls auch einzelne Aufgaben (Aufnahme neuer Prozesse, Beheben von Störungen im Assistenzsystem, Weiterentwicklung der Systemarchitektur) verteilt werden.

Höhere Anforderungen an Kommunikation und soziale Kompetenz könnten sich zudem noch auf einer anderen Ebene ergeben: Sofern Entwicklungsziele von Mitarbeitern tatsächlich über Qualifizierungsgespräche und Zielvereinbarungen festgelegt werden sollen, müssen auch die Vorgesetzten hierfür geschult sein. Auch für die Mitarbeiter selbst wäre, wie Erfahrungen aus anderen Unternehmen zeigen, eine Vorbereitung auf das Qualifizierungsgespräch sinnvoll.

Für die im Beispiel beschriebenen Fachkräfte im Vorrichtungsbau ergibt sich bezüglich der Veränderungen ihrer Tätigkeiten ein anderes Bild. Hier zeichnet sich weniger eine komplett neue Tätigkeitsstruktur mit gänzlich neuen Anforderungen, sondern vielmehr eine Optimierung und Unterstützung der bestehenden Arbeitsabläufe ab. Durch die Verfügbarkeit der richtigen Inhalte und Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort können ineffiziente Abläufe reduziert werden. So müssen beispielsweise Schaltpläne nicht mehr zentral auf einem Bildschirm neben dem Montagearbeitsplatz abgerufen werden, sondern stehen direkt auf dem Tablet vor Ort bereit. Ebenso werden langwierige Vorbereitungen durch das Suchen der korrekten, also zum Kunden passenden, Pläne als Arbeitsvorbereitung reduziert sowie Inkonsistenzen durch Versionsupdates solcher Zeichnungen eliminiert. Der Mitarbeiter kann sich somit vollständig auf die eigentliche, wertschöpfende Montagetätigkeit konzentrieren.

Zusammenfassend skizziert [Tab. 8.2](#) die prognostizierten Veränderungen: Durch die Erweiterung der Arbeitsaufgaben für Montagekräfte wird es am **Layout der Arbeitsplätze** nur geringfügige Änderungen geben, da es sich beim **Arbeitsmittel** nicht um ein stationäres, sondern um ein mobiles Endgerät handelt. Dieses wird beispielsweise innerhalb einer U-förmigen Montagelinie bzw. an einer außenliegenden Station zur Nutzung angebracht. Veränderungen müssen insofern erfolgen, als dass ein geeigneter Ort für die Bearbeitung von Lerneinheiten außerhalb der eng geführten Assistenzschritte insbesondere für die Nebentätigkeit Lernzeit gefunden werden muss. Die **Arbeitsorganisation** muss so angepasst werden, dass Lernzeiten planbar zur Verfügung stehen. **Führungsstrukturen** ändern sich nicht, wohl aber die Anforderungen an unmittelbare Vorgesetzte in Bezug auf die systematische Gestaltung von Qualifizierungsgesprächen und Zielvereinbarungen.

8.4 Projektansatz: Beteiligungsorientierte Entwicklung und Implementierung von Assistenzlösungen

Das Projekt APPsist verfolgt einen beteiligungsorientierten Ansatz bei der Entwicklung und Implementierung des Systems, um einerseits mögliche Akzeptanzprobleme frühzeitig zu erkennen, andererseits Potenziale zur Systemoptimierung aus dem späteren Benutzerumfeld während der Entwicklungs- und Testphase einspeisen zu können. Der Beteiligungsansatz bezieht sich sowohl auf die späteren Systembenutzer als auch auf die betrieblichen Arbeitnehmervertreter, die im Prozess der Systemeinführung und -ausgestaltung aufgrund der betriebsverfassungsrechtlichen Vorgaben vielfältige Informations- und Mitbestimmungsrechte haben.

Tab. 8.2 Zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen

Arbeitsaufgabe	Neue (höherwertige) Aufgaben kommen hinzu und müssen unterstützt werden
Arbeitstätigkeiten	Neue Tätigkeiten werden ermöglicht Tätigkeiten werden unterstützt/erläutert Seltene, repetitiv auftretende Tätigkeiten können unterstützt und in Erinnerung gerufen werden
Arbeitsplatz/Arbeitsraum	Montagearbeitsplätze bleiben zunächst unverändert, da Einsatz des Assistenzsystems an automatisierter Station Veränderungen ggf. bei Einsatz als Lernsystem am Arbeitsplatz
Arbeitsmittel	Bisherige Arbeitsmittel (Werkzeuge, Pläne etc.) werden ergänzt bzw. ersetzt durch ein intelligentes, mobiles Assistenzsystem (Tablet, APPs etc.)
Arbeitsorganisation	Muss angepasst werden: Neue Tätigkeiten; Tätigkeiterweiterung Zeitmodelle für Lerneinheiten Zeitmodelle für Wissensaufbau
Arbeitsumgebung	Mittelbare Auswirkungen auf Zusammenarbeit möglich (z. B. Anwender vs. Nicht-Anwender)
Qualifikation/Kompetenz	Kompetenzniveau wird angehoben; operativ (Assistenz) sowie nachhaltig (Wissenselemente) MA mit formell gleicher Qualifikationsstufe können komplexere Tätigkeiten ausführen System als vielseitig einsetzbares Tool für arbeitsplatznahes Lernen (Inhalte erweiterbar)
Führung	Zunächst keine direkten Auswirkungen auf Führungsstrukturen

8.4.1 Beteiligung der Benutzer an der Systemgestaltung

Zur Vorbereitung der schrittweisen Systemimplementierung, der eine längere Erprobungs- und Verbesserungsphase vorausgeht, wurde in einem der Anwenderunternehmen eine Testgruppe gebildet. Diese ist intensiv in die Erprobung der unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Assistenzsystems eingebunden. Die Gruppe besteht aus einem repräsentativen Querschnitt von Montagekräften und Maschinenführern. Sie wurde auf der Grundlage einer Rahmenvereinbarung der Betriebsparteien (siehe unten) auf freiwilliger Basis konstituiert. Das Interesse der Beschäftigten im Pilotbereich zur Mitarbeit in der Testgruppe wird von allen Projektbeteiligten als hoch eingeschätzt.

Die Gruppe ist dabei ausdrücklich aufgefordert, eigene Vorschläge in die Systemgestaltung einzubringen. Erste Tests der Benutzeroberfläche fanden bereits statt. In der nächsten Erprobungsstufe wird mit den Beteiligten ein Test der oben dargestellten Assistenzszenarien im realen Produktionsumfeld und des im Entwicklungskonsortium erarbeiteten Lernermodells in unterschiedlichen Varianten erfolgen.

Hierbei wird durch die beteiligten Projektpartner sowie durch die Prozessbeteiligung des Betriebsrats sichergestellt, dass auftretende Fragen und Probleme wie auch Verbesserungsvorschläge in einem strukturierten Dialog bearbeitet werden können.

8.4.2 Absicherung des betrieblichen Rahmens durch Einbindung der Arbeitnehmervertretung

Bei der Systemeinführung sind grundlegende Beteiligungs- und Mitbestimmungsrechte des Betriebsrats berührt (u. a. §80 und §87 (1) BetrVG). Eine frühzeitige Beteiligung der Arbeitnehmervertreter ist daher ohnehin geboten. Diese wurde im Projekt gewährleistet, indem zwei Betriebsratsmitglieder als ständige Repräsentanten in das Projektkonsortium aufgenommen wurden, die somit einen Zugang zum Projektstand haben. Auf Initiative des Betriebsrats eines Anwenderunternehmens wurde zudem auf betrieblicher Ebene eine Rahmenvereinbarung (Regelungsabrede) abgeschlossen, in der die Bedingungen für die Entwicklungs- und Erprobungsphase des Assistenzsystems festgeschrieben wurden. Dies betraf den zeitlichen Ablauf, die Bildung einer freiwilligen Testgruppe und die Kommunikationswege während der Testphase. Im Wesentlichen ging es darum, eventuell entstehende Nachteile für Benutzer des Systems von vornherein auszuschließen und somit präventiv die Systemakzeptanz zu erhöhen. Für den Betriebsrat ging es darum, die Zielrichtung des Projektes – über die bei den Arbeitnehmervertretern hohe Unsicherheit bestand – symbolisch und für die Mitarbeiter sichtbar abzusichern. Hierbei kam es auch zu einer Einschränkung der nutzbaren Endgeräte. Der Einsatz von Datenbrillen, die aufgrund ihrer ergonomischen Risiken und den mit dieser Technologie verbundenen erleichterten Überwachungsmöglichkeiten auf Vorbehalte bei den Betriebsräten stießen, ist in der Testphase nicht vorgesehen. Vereinbart wurde zudem, aus den im Erprobungsprozess gesammelten Erfahrungen, vor der tatsächlichen Implementierung des Systems in den Regelbetrieb, gemeinsam den weiteren Regelungsbedarf festzustellen und notwendige Vereinbarungen zu treffen. In diesem Prozess der Ausarbeitung betrieblicher Vereinbarungslösungen werden die Betriebsparteien durch eine wissenschaftliche Begleitung und durch die IG Metall unterstützt, die innerhalb des Projektes mit der konzeptionellen Unterstützung der Arbeitnehmervertreter betraut ist. Letztlich soll es darum gehen, Musterlösungen zu finden, die für ähnlich gestaltete Assistenzsysteme auch in anderen Unternehmenskontexten anwendbar sind.

8.4.3 Betrieblicher Regulierungsbedarf im Rahmen der Systemimplementierung

Im Rahmen der Systemimplementierung sind neben rein organisatorischen auch eine Reihe regulatorischer Fragen zu klären. Diese werden im Projektkonsortium vorgeklärt, bedürfen aber letztlich verbindlicher Absprachen und Vereinbarungen zwischen den betrieblichen Akteuren. Dabei geht es im Wesentlichen um folgende Themen:

1. Ein erster Themenkomplex betrifft unmittelbar Fragen von Ergonomie und Arbeitsschutz. Hier gilt es sicherzustellen, dass die Endgeräte und Benutzeroberflächen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechen und vor Inbetriebnahme eine Gefährdungsbeurteilung des Gesamtsystems durchgeführt wird. Hierzu müssen die Akteure des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebsleitung, Betriebsrat, Fachkraft für Arbeitssicherheit, Sicherheitsbeauftragter des Bereichs) mit Unterstützung des Projektkonsortiums gemeinsam Implementierungslösungen erarbeiten.
2. Ein zweiter zentraler und für die Mitarbeiter sensibler Themenkomplex ist der Datenschutz und die mit der Generierung von mitarbeiter- und prozessbezogenen Daten entstehenden vielfältigen Möglichkeiten der Überwachung und Leistungskontrolle. Hier sind zentrale Mitbestimmungsrechte des Betriebsrats (§87 (1) 6 BetrVG) berührt, die eine Vereinbarung zwischen Betriebsrat und Arbeitgeber zwingend erfordern. Auch auf der Seite der Mitarbeiter, die das System nutzen sollen, kann die Frage, wozu die erhobenen Daten verwendet werden und welche Auswirkungen die Datensammlung für sie hat, Akzeptanzprobleme hervorrufen. Daher wird im Projekt schon in der Entwicklungsphase großer Wert auf Transparenz hinsichtlich des Datenmodells (welche Daten sollen erhoben und zu welchem Zweck gespeichert werden) und der Adaptivitätsregeln (welche Folgen haben einzelne Handlungen) gelegt und nach Möglichkeiten der Entkopplung von Personen- und Prozessdaten gesucht. Dies wird eine Regelung zum Datenschutz und zur Datennutzung zwischen den Betriebsparteien nicht überflüssig machen aber wesentlich erleichtern.
3. Ein dritter Themenkomplex betrifft Qualifizierungsfragen. Hier gilt es, geeignete Regelungen für den Einsatz des Lernsystems am Arbeitsplatz zu entwickeln. Schließlich sind dabei komplexe Sachverhalte betroffen. Dies beginnt bei der Klärung organisatorischer Fragen, die sich auf die praktische Durchführbarkeit von Lernen im Arbeitsprozess beziehen (geeignete Lernorte, Lage und Anrechnung von Lernzeiten). Hierbei muss nach geeigneten Modellen gesucht werden, die auch die Restriktionen geltender tarifvertraglicher Rahmenbedingungen (TV Bildung¹) berücksichtigen.

¹Tarifvertrag Bildung in der Metall- und Elektroindustrie 2015 löst den Tarifvertrag Qualifizierung von 2006 ab.

4. Schließlich ergibt sich bei dem hier vorgestellten Modell, das auf eine Aufwertung von Arbeitsplätzen setzt, auch die Frage nach der künftigen Bewertung von assistierten Tätigkeiten – zumindest dann, wenn diese den Gesamtcharakter der Tätigkeiten am betreffenden Arbeitsplatz nachhaltig verändern. Kann eine solche Aufwertung auch zur Höherbewertung der betroffenen Arbeitsplätze führen? Dies muss perspektivisch auf der Basis der bestehenden tarifvertraglichen Regelwerke (ERA²) zwischen den Betriebsparteien geklärt werden. Unter Umständen ergeben sich auch Entwicklungsbedarfe für das Regelwerk selbst, etwa wenn Facharbeitertätigkeiten durch den Einsatz von Assistenz teilweise von angelernten Kräften übernommen werden können. Dies soll unter Einbeziehung von Fachexperten geprüft werden.

8.5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Assistenz- und Wissensdienste für Mitarbeiter in der Produktion und ihre Auswirkungen auf Arbeitsprozesse an konkreten Anwendungsbeispielen beschrieben. Ein Assistenzdienst kann zu monotonerer Arbeit führen, durch strikte Prozessvorgaben den Handlungsspielraum von Mitarbeitern einschränken oder auch abwechslungsreichere Arbeit ermöglichen und arbeitsplatznahe Lernprozesse unterstützen. Die in APPSist angelegte technische Infrastruktur aus mobilen Endgeräten, konkreter Prozessunterstützung und hiermit vernetzten Wissensbeständen eröffnet große Möglichkeiten für das zweite Szenario. Allein die technische Bereitstellung der Unterstützungsdienste hat dabei noch keine eindeutigen Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse. Für die konkrete Ausprägung ist das Zusammenspiel zwischen technischer und organisatorischer Implementierung entscheidend. Daher werden in APPSist auch Leitfäden für die Systemausgestaltung und -implementierung sowie Bausteine für Musterbetriebsvereinbarungen entwickelt werden, die eine qualifikationsfördernde und Handlungsspielräume erweiternde betriebliche Realisierung ermöglichen.

Ein ebenfalls relevanter Punkt, der im Projektverlauf bearbeitet werden wird, ist die weitere Ausarbeitung der Unterstützung „höherwertiger“ Tätigkeiten. Das Potenzial des APPSist-Systems für Fachkräfte liegt weniger in der Assistenz beim Durchführen von prozessbezogenen Tätigkeiten (welche Aktion ist in diesem Schritt notwendig?), als vielmehr bei der Unterstützung von Tätigkeiten, die sie als Experten charakterisieren, also bei der Wissensverknüpfung, Wissensgenerierung, Prozessoptimierung etc. Es werden also möglicherweise andere Dienste und auch andere Adaptionsregeln für diese Zielgruppe nötig werden.

² Entgelttarifvertrag der Metall- und Elektroindustrie. Dieser enthält einen umfangreichen Katalog zur Bewertung von Tätigkeiten und Aufgaben.

8.6 Förderkennzeichnung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) innerhalb des Technologieprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ unter dem Förderkennzeichen 01MA13004A gefördert und vom Projektträger „Technische Innovationen in der Wirtschaft“ im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- BPMN. (2011). Technical Report. Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0. Object Management Group.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). *Wandel von Produktionsarbeit – Industrie 4.0*. Dortmund: Technische Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät.
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P., & Niehus, J. (Hrsg.) (2014). *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision von Industrie 4.0 und ihre sozialen Voraussetzungen*. Baden-Baden: Edition Sigma/Nomos.
- Ullrich, C., Aust, M., Blach, R., Dietrich, M., Igel, C., Kreggenfeld, N., Kahl, D., Prinz, C., & Schwantzer, S. (2015). Eine Architektur für intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste in der Industrie 4.0. In S. Schäfer (Hrsg.), *Industrie 4.0: Grundlagen und Anwendungen; Branchentreff der Berliner Wissenschaft und Industrie* (S. 111–123). Berlin [u. a.]: Beuth.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Der Mensch in Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme

9

Susanne Wolf, Christiane Dollinger, Andreas Hees und
Gunther Reinhart

Zukünftige Veränderungen des Marktes führen dazu, dass Unternehmen neue Strategien zum Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit verfolgen müssen. Ziel ist es, den Kunden und die vollständige Erfüllung seines Wunsches noch stärker in den Mittelpunkt zu stellen (Westkämper 2006). Der Trend geht von kundenindividuellen Produkten über zu kundeninnovierten Produkten. Der Kunde wird dabei als Designer bzw. Entwickler in den Produktentstehungsprozess eingebunden und in die Lage versetzt, operativ sein individuelles Produkt zu gestalten und nicht nur aus vorkonfigurierten Möglichkeiten auszuwählen. Kundeninnovierte Produkte weisen eine höhere Varianz auf als kundenindividuelle Produktkonstruktionen, sollten jedoch hinsichtlich Qualität, Lieferzeit und Herstellkosten mit Serienprodukten vergleichbar sein (Teschemacher et al. 2014).

S. Wolf (✉)

Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), Boltzmannstr. 15, 85748 Garching b. München, Deutschland
e-mail: Susanne.Wolf@iwb.mw.tum.de

C. Dollinger · G. Reinhart

Institut für Werkzeugmaschinen, und Betriebswissenschaften (iwb),
Technische Universität München, Deutschland

A. Hees

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,
Chemnitz, Deutschland

Die Herstellung dieser kundeninnovierten Produkte fordert neuartige Produktionskonzepte und verfahren, die einen außergewöhnlichen Grad an Flexibilität in Bezug auf Material, Geometrie und Technologie bieten und dafür laut Pfeiffer & Schmidt (2006) ein hohes Maß an Autonomie aufweisen müssen (Pfeifer und Schmitt 2006). Diese wird im Zuge von Industrie 4.0 und der damit verbundenen Digitalisierung geschaffen. Durch die Verknüpfung digitaler Strukturen mit physischen Objekten, wie z. B. Fertigungsanlagen oder Produkten, entstehen sogenannte Cyber-Physische Systeme. Diese Systeme tragen dazu bei, dass Informationen in Echtzeit und ortsunabhängig übermittelt und verarbeitet werden. Dies bedeutet, dass Prozesse über weite Distanzen hinweg gesteuert und ihr Fortschritt permanent kontrolliert werden können. Dadurch ergeben sich zum einen neue Möglichkeiten für die Produktionsplanung und -steuerung und zum anderen Veränderungen für die Arbeit des Menschen in der Fabrik. Die Ressource Mensch wird allerdings trotz zunehmender Automatisierung und Digitalisierung fester Bestandteil produzierender Unternehmen bleiben (Spath et al. 2013). Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sich ein neues Rollenprofil und Aufgabenspektrum für manuelle Tätigkeiten ergeben wird. Dies erfordert Kompetenzen und Qualifikationen, die in heutigen Anforderungsprofilen noch nicht erfasst sind und erst entwickelt werden müssen. Steigende Datenmengen, komplexere Produkte sowie eine dauerhafte Erreichbarkeit haben nicht nur Einfluss auf das Tätigkeitsspektrum eines Mitarbeiters, sondern auch auf seine kognitive Beanspruchung (Langhoff und Schmelzer 2015). Damit die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter nicht durch diese zunehmenden kognitiven und physischen Lasten beeinträchtigt wird, müssen Unternehmen frühzeitig eingreifen. Als präventive Maßnahmen zur Lastreduktion können beispielsweise Assistenzsysteme eingesetzt sowie innerbetriebliche Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen angestoßen werden. Die Herausforderung liegt vor allem darin, dass diese steigenden Anforderungen von einer Belegschaft höheren Durchschnittsalters geleistet werden müssen. Laut einer Studie des statistischen Bundesamtes sind im Zeitraum zwischen 2017 und 2024 etwa 40 % der Erwerbspersonen den 50- bis unter 65-Jährigen zuzuordnen (Plötzsch und Rößger 2015). Zudem wird die Gesamtbevölkerung im erwerbsfähigen Alter (zwischen 20 und 64 Jahren) deutlich abnehmen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Anteil von 49,2 Millionen (Stand 2013) auf etwa 38 Millionen (prognostizierter Stand 2016) schrumpfen wird (Plötzsch und Rößger 2015). Diese demografische Entwicklung und die Reduzierung der Produktlebenszyklen bestärkt die Notwendigkeit für die frühzeitige Durchführung von Qualifikationsmaßnahmen sowie für den Einsatz von Assistenzsystemen, damit das zur Verfügung stehende Personal langfristig Leistung erbringen kann.

Dieser Beitrag hat zum Ziel, Auswirkungen auf die Arbeit von Produktionsmitarbeitern aufzuzeigen, welche an der Herstellung von kundeninnovierten Produkten beteiligt sind (Kap. 1). Dies erfolgt am Beispiel eines Use-Cases aus dem Forschungsprojekt InnoCyFer (Integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen). Des Weiteren werden konkrete Lösungsansätze vorgestellt, wie Unternehmen mit diesen Veränderungen umgehen können (Kap. 2).

9.1 Analyse der Umgebung für autonome Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme am Beispiel des Forschungsprojekts InnoCyFer

Das Forschungsprojekt InnoCyFer verfolgt das Ziel, die integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte zu ermöglichen. Dies geschieht durch die Entwicklung einer Open-Innovation-Plattform, welche die Einbindung des Kreativitäts- und Innovationspotenzials der Kunden in den Produktentstehungsprozess ermöglicht (Holle et al. 2014). Einer der Forschungsinhalte ist die Planung und Steuerung für eine autonome, auf Cyber-Physischen Systemen basierende Fertigung und Montage. Da herkömmliche Steuerungsmethoden mit der hohen Variantenvielfalt und den sich daraus ergebenden Entscheidungsmöglichkeiten an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit stoßen, wird die Produktionsplanung und -steuerung über einen sogenannten bionischen Scheduler mit dem physischen Produktionssystem gekoppelt (Vernim et al. 2014). Dieser basiert auf einem Ameisenalgorithmus und ermöglicht die autonome Durchführung der Maschinenbelegung der eingehenden Aufträge. Um ihn in bestehende PPS-Systeme zu integrieren, müssen die Schnittstellen zum bionischen Scheduler so gestaltet sein, dass sowohl das umgebende System als auch die Anwender die etablierten Prinzipien der Produktionsplanung verwenden können. Beispielsweise muss der bionische Scheduler die durch einen Produktionsplaner aufgebrachte Priorisierung der Aufträge in die entsprechende Pheromonkonzentration und -halbwertszeit überführen (Vernim et al. 2014). *Abb. 9.1* zeigt den Ablauf sowie die beteiligten Komponenten in diesem Planungs- und Steuerungssystem. Der bionische Scheduler interagiert mit der Termin- und Kapazitätsplanung und wird dadurch zu einem Element der Produktionsplanung und -steuerung. Der Produktionsplaner wird über die Planungsvorschläge oder Steuerungsentscheidungen informiert und kann bei Bedarf die gewünschte Möglichkeit auswählen oder bewerten. Dadurch kann er steuernd eingreifen und zu jeder Zeit Produktionsentscheidungen durch eine transparente Aufbereitung nachvollziehen. Eine Prüfung und Freigabe der vom autonomen System vorgeschlagenen Entscheidung wird zudem berücksichtigt.

Dieses Konzept bietet durch die Eingriffsmöglichkeit des Nutzers einen grundlegenden Vorteil vor allem in unerwarteten Situationen. Für die beteiligten Mitarbeiter, in diesem Fall Produktionsplaner oder Meister, ergeben sich jedoch durch die Interaktion mit einem autonomen Planungs- und Steuerungssystem Veränderungen hinsichtlich ihrer Arbeitsweise, welche im Folgenden konkreter betrachtet werden.

9.1.1 Auswirkungen des Einsatzes autonomer PPS-Systeme auf die Arbeit von Produktionsmitarbeitern

Eine zunehmende Digitalisierung und Autonomisierung im produktionstechnischen Umfeld führt zu einer Veränderung von Produktionsprozessen sowie deren Planung und Steuerung. Der Mensch wird weiterhin ein wichtiger Bestandteil der Fertigung und



Abb. 9.1 Interaktion zwischen Produktionsplaner und autonomen PPS-System

Montage bleiben, jedoch in einer veränderten Rolle. Folgend werden die wichtigsten Auswirkungen des Einsatzes von autonomen PPS-Systemen auf die Rolle von Produktionsmitarbeitern beschrieben. Die einzelnen Auswirkungsdimensionen wurden auf Basis von zuvor im Rahmen des Projektes InnoCyFer ermittelten Ergebnissen abgeleitet. Bei der Auswertung wurden die Expertenmeinungen der beteiligten Industriepartner eingeholt (vgl. [Abb. 9.2](#)).

Bedingt durch eine zunehmende Variantenvielfalt und kundeninnovierte Produkte werden für einen Meister, den Produktionsplaner und den IT-Spezialisten komplexe Aufgaben zunehmen, die nach einer erhöhten Problemlösungskompetenz verlangen. Aufgrund dieser steigenden Komplexität wird besonders für die drei oben genannten Rollen der Bedarf an Lernbereitschaft wachsen, um mit technologischen Veränderungen mitzuhalten. Lernen kann hierbei informell über Assistenzsysteme erfolgen. Mitarbeiter bekommen während der Tätigkeitsausführung Informationen und Hilfestellungen bereitgestellt, wodurch sie sich neues Wissen aneignen. Zudem wird auch formelles Lernen in Form von Schulungen und Weiterbildungsmaßnahmen vom Unternehmen angeboten, wobei z. B. neue Technologien, Verfahren oder Best Practices gelehrt werden.

Monotone Aufgaben des Tagesgeschäfts, also zum Beispiel die täglich durchzuführende Einplanung von Aufträgen, werden für den Meister und den Produktionsplaner reduziert,

da sie vom autonomen System übernommen werden. Dadurch nimmt allerdings auch das Maß an Selbstbestimmung ab.

Für alle in **Abb. 9.2** Genannten gilt, dass sie aufgrund der in InnoCyFer erzielten Ergebnisse vermehrt interdisziplinär arbeiten werden, da besonders mit der IT eine enge Zusammenarbeit notwendig wird. Dies gilt nicht nur für die Zeit während der Implementierung, in der von der Produktion und dem IT-Spezialisten gemeinsam die Randbedingungen für den Algorithmus definiert werden. Auch während des Betriebs sind ein regelmäßiger Austausch und die Zusammenarbeit über die Abteilungsgrenzen hinweg nötig, wenn Fehler oder Probleme behoben werden müssen oder sich Randbedingungen so deutlich ändern, dass sie für das reibungslose Funktionieren des Systems angepasst werden müssen. Um diese Zusammenarbeit zu erleichtern, ist es für alle Beteiligten hilfreich, wenn sie über ein gewisses Maß an IT-Kenntnissen verfügen, um gezielter Bedarfe und Hindernisse an die jeweils andere Partei kommunizieren zu können.

Hinsichtlich des Bedarfs an Mitarbeitern insgesamt wird vermutet, dass es nur zu einer leichten Verschiebung im Bereich der Meister und IT-Spezialisten kommt. Aufgrund der Komplexität der digitalen Werkzeuge und des Planungsalgorithmus wird es während der Einführung und der Anfangsphase der Nutzung einen erhöhten Bedarf an IT-Spezialisten (IT-Support) geben. Diese Nachfrage kann jedoch auch von extern gedeckt werden, wodurch sich der Bedarf innerhalb des Unternehmens nicht signifikant ändern wird. Die Führungsebene in der Werkstatt, also die Meister, kann reduziert werden, da einige Tätigkeiten, beispielsweise die Feinplanung der von der PPS vorgegebenen Auftragsfolge, zukünftig ebenfalls vom autonomen PPS-System übernommen wird.

	Maschinenbediener / - überwacher	Meister	Produktionsplaner	IT-Spezialist
Bedarf	0	-	0	+
Problemlösung	+	+	+	+
Monotone Aufgaben	0	-	-	0
Komplexe Aufgaben	0	+	+	++
Planen	0	+	0	+
Kontrolle	+	+	+	0
Lernen, informell	0	+	+	+
Lernen, formell	0	+	+	+
Selbstbestimmung	0	-	-	+
Optimierung	+	+	0	0
Kooperation	+	0	0	+
Kommunikation	0	+	0	+
Interdisziplinarität	+	+	+	+
IT-Kenntnisse	+	+	+	+

Legende:

-- wird viel weniger + wird mehr
 - wird weniger ++ wird viel mehr
 0 bleibt gleich

Abb. 9.2 Auswirkungsdimensionen der sich durch den Use-Case InnoCyFer verändernden Rollen

9.1.2 Handlungsempfehlungen für den Einsatz autonomer PPS-Systeme

Häufig scheitert die Einführung neuer, komplexer Systeme, beispielsweise die Implementierung eines autonomen PPS-Systems, nicht an der technischen Umsetzbarkeit, sondern daran, dass die Mitarbeiter nicht ausreichend in den Entwicklungsprozess mit einbezogen werden und dadurch wichtige mitarbeiterseitige Anforderungen nicht berücksichtigt werden (Weidner et al. 2014).

Das in InnoCyFer zu entwickelnde PPS-System setzt einen Schwerpunkt auf die Interaktion mit dem Produktionsplaner sowie weiteren an der Produktion beteiligten Mitarbeitern. Bei der Gestaltung der Interaktion wird besonderer Wert auf einen humanzentrierten und transparenten Ansatz gelegt. Obwohl der bionische Scheduler den Großteil der Planungs- und Steuerungsentscheidungen autonom trifft, ist er in unvorhergesehenen Situationen dennoch auf den Produktionsplaner als Entscheidungsträger angewiesen, beispielsweise wenn es zu einem Zielkonflikt zwischen den im Algorithmus hinterlegten Logikregeln und einer spontan eintretenden Situation in der Produktion kommt, die lediglich kurzfristig nach geänderten Randbedingungen verlangt. Durch das manuelle Eingreifen und Entscheiden des Produktionsplaners kann ein zeitaufwändiges Anpassen der im Algorithmus hinterlegten Regeln bzw. Randbedingungen vermieden werden. Das hat zur Folge, dass der Planer zwar einerseits einen gewissen Umfang an Entscheidungsmacht verliert, seine Rolle aber andererseits nicht an Wichtigkeit verliert, da die Entscheidungen, die er nach wie vor treffen muss, umso wichtiger für das Funktionieren des Gesamtsystems sind. Der Mensch spielt also weiterhin eine zentrale Rolle im autonomen PPS-System. Damit er diese erfolgreich bestreiten kann, müssen jedoch die Voraussetzungen dafür geschaffen werden.

Diese sind unter anderem

- die Definition der Zuständigkeiten von Planer und autonomem System,
- das Sicherstellen der richtigen Kompetenzen und Fähigkeiten des Planers in einem Rollenprofil,
- die transparente und intuitive Darstellung der für Planungsentscheidungen relevanten Daten sowie
- die Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit der vom bionischen Scheduler getroffenen Entscheidungen.

Bevor ein autonomes System eingeführt werden kann, müssen die Zuständigkeiten der Aufgaben und die Entscheidungsgewalt der Beteiligten, Mensch und System, sorgfältig geklärt werden. Für den Produktionsplaner ändern sich durch den Einsatz eines autonomen Systems die Anforderungen, die in Zukunft an seine Tätigkeit gestellt werden. An die Stelle der operativen Ausführung von Planungs- und Steuerungsaufgaben, treten vermehrt Kontroll- und Überwachungsaufgaben. Er muss in der Lage sein, komplexe, unerwartet auftretende Situationen schnell zu erfassen und darauf zu reagieren. Mehr als bisher

braucht er grundlegende Kenntnisse über informationstechnische Zusammenhänge und ein Verständnis für IT-Systeme, um nachvollziehen zu können, wie sie arbeiten. Dadurch wird maßgeblich die Akzeptanz solcher Systeme erhöht. Diese Kompetenzen und die sich daraus ergebenden Tätigkeiten müssen in das Rollenprofil des Planers aufgenommen werden. Ein Abgleich mit seinen bereits ausgeprägten Kompetenzen zeigt den Handlungsbedarf für die Fortbildung des Produktionsplaners auf.

Der bionische Scheduler verarbeitet eine Vielzahl von Daten in sehr kurzer Zeit. Der menschliche Planer kann mit dieser Datenmenge und der Geschwindigkeit nicht mithalten und sie nicht verarbeiten. Damit er trotzdem noch in der Lage ist, das System zu überwachen und im Bedarfsfall einzugreifen, muss er Zugriff auf die für ihn relevanten Daten erhalten. Diese müssen bestenfalls in einer einfach und intuitiv nachvollziehbaren Form dargestellt werden, damit er schnell und jederzeit die aktuelle Situation erfassen kann. Hierbei kommt es vor allem auf die Menge und Relevanz der dargestellten Informationen an. Einerseits müssen alle für eine mögliche Entscheidung notwendigen Daten angezeigt werden, andererseits erschwert eine zu große Anzahl die Verständlichkeit und Übersichtlichkeit (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik 2009). Gleichzeitig beeinflusst die Art der Darstellung die Nutzbarkeit der gezeigten Informationen. Vorstellbar ist die Berücksichtigung von individuellen Ansprüchen des Planers, aber auch der individuellen Situation und Verfassung, in der sich der Mitarbeiter befindet. Hierunter sind nicht nur Aspekte der formellen Darstellung, also zum Beispiel Schriftgröße, -farbe etc. zu verstehen, sondern auch kognitive Fähigkeiten (Schumm et al. 2014). Handelt es sich um einen zahlenaffinen Menschen, ist für ihn die Darstellung roher Zahlen vermutlich schneller und einfacher zu erfassen als die Darstellung in einer farbigen Grafik.

Forschungsansätze, wie diese Voraussetzungen in Zukunft geschaffen werden können, werden im Folgenden genauer beschrieben.

9.2 Lösungsansätze für eine erfolgreiche Interaktion des Menschen mit autonomen Systemen

Der Bedarf an Maßnahmen, die den Menschen bei seiner Interaktion mit autonomen Systemen befähigen und unterstützen, wurde im vorherigen Kapitel erläutert. Im Folgenden werden drei Lösungsansätze vorgestellt, die im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer identifiziert wurden. Sie zeigen auf, wie es Unternehmen gelingt, frühzeitig Qualifikationsmaßnahmen abzuleiten und mitarbeiterindividuelle Assistenzsysteme einzusetzen. Des Weiteren wird der Handlungsbedarf im Bereich der Datenaufbereitung und Weiterverarbeitung diskutiert.

Frühzeitige Ableitung von Qualifikationsmaßnahmen Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, dürfen organisatorische und die Mitarbeiter betreffende Aspekte bei der Einführung von autonomen Systemen nicht unterschätzt werden. Neben einer guten Gestaltung dieser Systeme, ist für die Mitarbeiter in erster Linie wichtig, dass sie über die notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen verfügen, um mit diesen Systemen arbeiten zu

können. Um eventuellen Handlungsbedarf im Bereich der Mitarbeiterweiterbildung zu identifizieren, müssen Anforderungen an die Mitarbeiterkompetenzen frühzeitig aufgezeigt werden. Qualifizierungsmaßnahmen bedürfen einer gewissen Vorlaufzeit, bis sie umgesetzt werden können, weswegen es umso wichtiger ist, einen Abgleich zwischen benötigten und bereits vorhandenen Kompetenzen im Verlauf des Planungs- und Entwicklungsprozesses für autonome Systeme aufzunehmen.

Damit dies erfolgreich geschehen kann, wird zurzeit an einem Ansatz gearbeitet, welcher es Unternehmen ermöglicht, in Abhängigkeit eines zukünftig angestrebten Ausprägungsgrades an Systemautonomie bzw. Systemdigitalisierung zu entscheiden, welche Mitarbeiterprofile mit welchen dazugehörigen Kompetenzausprägungen in der Produktion benötigt werden. Unternehmen können damit nicht nur gezielt festlegen, welchen Ausprägungsgrad an Autonomie und Digitalisierung sie mit einem neuen System erreichen möchten, sondern zugleich ableiten, welche Veränderungen im Bereich der Mitarbeiterqualifikation getroffen werden müssen. Zeiteffizient parallel zur Planung und Entwicklung des technischen Systems wird so gewährleistet, dass rechtzeitig zu dessen Einführung Mitarbeiter mit den richtigen Kompetenzen vorhanden sind, um dieses System auch zu bedienen.

Mitarbeiterindividuelle Anpassung von Assistenzsystemen Der Einsatz von Assistenzsystemen im produktionstechnischen Umfeld wird in Zukunft zum Wettbewerbsfaktor. Mitarbeiter werden im Zuge der Digitalisierung durch eine zunehmende Informationsflut sowie ortsunabhängige Erreichbarkeit stark kognitiv belastet. Über einen längeren Zeitraum betrachtet führt diese permanente Überanstrengung zu einer Leistungsminderung, die häufig mit bleibenden gesundheitlichen Schäden verbunden ist. Gerade unter dem Gesichtspunkt des demografischen Wandels und des Rückgangs der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter spielen kognitiv entlastende Systeme eine zentrale Rolle. Die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter muss präventiv geschützt werden. Jedoch haben Mitarbeiter unterschiedliche Fertigkeiten und Kompetenzen sowie ein individuelles Lernverhalten, was bei der Konzeptionierung von Assistenzsystemen beachtet werden muss. Mitarbeiter sollen mithilfe von Unterstützungssystemen die für sie persönlich und für den spezifischen Anwendungsfall relevanten Informationen erhalten. Ein Produktionsplaner, der seit über 20 Jahren im Unternehmen ist, hat bereits Erfahrungswissen gesammelt, welches er bei Problemlösungsaufgaben mit einfließen lässt. Ihn würden zu viele Informationen in seiner Entscheidungsfreiheit einengen und die Qualität seiner Entscheidung beeinflussen. Dies würde eher zu Demotivation und Akzeptanzproblemen führen. Ist ein Mitarbeiter dagegen erst kurz im Unternehmen und verfügt über geringes Erfahrungswissen, benötigt er, um nicht überbelastet zu werden, eine detaillierte Hilfestellung im Umgang mit akut auftretenden Störfällen.

Aus diesem Grund wird an einem Ansatz gearbeitet, der mitarbeiterindividuelle Fertigkeiten und Kompetenzen berücksichtigt und in die Planung von Montagelinien mit aufnimmt.

Datenaufbereitung und Weiterverarbeitung Durch Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) stehen eine Vielzahl an Daten aus der Produktion zur Verfügung, welche ohne Konzepte für eine gewinnbringende Nutzung jedoch nicht effektiv sind. Grundsätzlich stellen diese Daten eine vielversprechende Möglichkeit dar, die zunehmende Komplexität sowohl in der Prozessausführung als auch in der Produktionsplanung und -steuerung zu beherrschen. Hierfür müssen die Daten in die übergeordneten IT-Systeme übertragen und in Planungs- und Steuerungsmethoden nutzbar gemacht werden. Die Menge an durch den Menschen zu verarbeitenden Informationen in CPPS ist ohne eine große Zahl unterstützender Planungs- und Informationssysteme kaum beherrschbar. Zumeist wird nicht situationsbasiert, sondern auf Basis von Vergangenheitsdaten gearbeitet, die durch Produktionsmaschinen und eine ineffiziente Betriebsdatenerfassung bereitgestellt werden. Ein CPPS-basiertes Produktionsumfeld bietet hier das Potenzial, Zustandsinformationen aus einem Sensornetzwerk über intelligente Sensoren zu erheben und im Rahmen der Ableitung von Produktionsentscheidungen zu nutzen. Nahezu zeitgleich können die bereitgestellten Daten nutzerspezifisch aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Durch Schaffung von formalisierten Zugängen zu diesen Informationen können z. B. intelligente Services eingesetzt werden, welche die Vorausberechnung von Produktionsabläufen in einer virtuellen Produktion übernehmen. Weiterhin sind die systemübergreifende Nutzung von Informationsquellen, die Wissensextraktion mittels zielgerichteter Massendatenverarbeitung zur Nutzung von Erfahrungswissen sowie komplexe Assistenz- und Steuerungssysteme zu ermöglichen.

9.3 Zusammenfassung und Fazit

Durch die Entwicklung und Implementierung von autonomen Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen werden sich die Aufgaben und Rollen der im Umfeld der Produktion tätigen Mitarbeiter deutlich verändern. Einerseits werden die Mitarbeiter durch zunehmend selbstständige Systeme in gewissen Tätigkeitsbereichen entlastet, andererseits bringt die Zusammenarbeit mit diesen Systemen auch ein erhebliches Maß an kognitiver Belastung mit sich. Durch gezielte Maßnahmen zur Werkerunterstützung oder zur Qualifizierung im Umgang mit autonomen Systemen kann diese jedoch reduziert und unter Kontrolle gebracht werden. Ein Produktivitätsverlust bei den Produktionsmitarbeitern wird hierdurch ebenfalls vermieden. Entscheidend bei der Einführung solch neuartiger Systeme ist, dass die Unternehmen sich frühzeitig nicht nur mit den resultierenden technischen Anforderungen und Änderungen beschäftigen, sondern auch ihre Mitarbeiter mit deren Qualifikationsprofilen auf den Einsatz vorbereiten.

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München und die Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie dem Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt für die Förderung und Betreuung im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer (Förderkennzeichen: 01MA13009A). Zudem gilt unser Dank den unterstützenden Industrieunternehmen.

Literatur

- Holle, M., Roth, M., Gürtler, M. R., & Lindemann, U. (2014). From customer innovations to manufactured products: A project outlook. In: *International Conference on Innovation, Management and Technology*, Paris, 28.–29.04.2014. S. 918–923.
- Langhoff, T., & Schmelzer, K.-M. (2015). Der Zusammenhang zwischen psychischen Belastungen in der Arbeitswelt und psychischen Erkrankungen. In *Exploring Demographics: Transdisziplinäre Perspektiven zur Innovationsfähigkeit im demografischen Wandel* (S. 529–540). Berlin: Springer.
- Pfeifer, T., & Schmitt, R. (2006). *Autonome Produktionszellen*. Berlin: Springer.
- Plötzsch, O., & Rößger, F. (2015). Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.
- Schumm, D., Spanke, A. J., Dreier, K., Fäßler, V., Becker, B., & Schmeck, H. (2014). Konzept und Methodik zur Entwicklung einer mobilen digitalen Persönlichkeit für nutzergerechte Anwendungen. *GI-Jahrestagung, 2014*, 1265–1276.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Studie Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0*. Fraunhofer Institut für Arbeitswissenschaften und Organisation (IAO), Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Teschemacher, U., Hees, A., & Reinhart, G. (2014). Produktionsorganisation für die Herstellung kundeninnovierter Produkte. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109(1–2), 16–19.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2009). *Automation 2020 – Bedeutung und Entwicklung der Automation bis zum Jahr 2020*. Düsseldorf.
- Vernim, S., Hees, A., Teschemacher, U., Wagner, M., & Reinhart, G. (2014). Produktionsplanung und -steuerung mittels bionischem Scheduler. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109(12), 915–919.
- Weidner, R., Redlich, T., & Wulfsberg, J. (2014). Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag. In R. Weidner et al. (Hrsg.), *Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, Hamburg, 15.–16.12.2014. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, S.1–8.
- Westkämper, E. (2006). *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin: Springer.

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.



ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen

10

Auswirkungen der Ergebnisse aus ReApp auf betriebliche Funktionen am Beispiel eines Anwendungsfalls in der Elektroindustrie

Ulrich Reiser, Uwe Müller, Mike Ludwig, Mathias Lüdtkke und Yingbing Hua

10.1 ReApp in a Nutshell

Ziel von ReApp ist es, den Entwicklungsprozess von Roboteranlagen durch die Nutzung von wiederverwendbaren Softwarebausteinen deutlich effizienter zu machen. Die Hemmnisse für wiederverwendbare Software bestehen heute vor allem in der stark heterogenen Landschaft der Robotik- und Automatisierungskomponenten, unterschiedlichen Roboterprogrammiersprachen und fehlenden Schnittstellenstandards. Um diese Hindernisse zu überwinden, sollen in ReApp nach dem Muster von Android (The Android Source Code) die Grundlagen für ein Ecosystem für die Robotik geschaffen werden. Das

U. Reiser (✉)
Fraunhofer IPA, Group Manager 326/Robot Systems, Nobelstrasse 12, D-70569 Stuttgart, Deutschland
e-mail: ulrich.reiser@ipa.fraunhofer.de

U. Müller
InSystems Automation, Berlin, Deutschland
e-mail: mueller@insystems.de

M. Ludwig
dresden elektronik ingenieurtechnik GmbH, Dresden, Deutschland
e-mail: ml@dresden-elektronik.de

M. Lüdtkke
Fraunhofer IPA, Stuttgart, Deutschland
e-mail: mathias.luedtke@ipa.fraunhofer.de

Y. Hua
Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Deutschland
e-mail: yingbing.hua@kit.edu

Android-Ecosystem ist aus wenigen Kernelementen zusammengesetzt. Die Android Hardware-Abstraction Layer (HAL) definiert Schnittstellen (APIs), die von den Smartphone-Herstellern implementiert werden. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Android-Apps auf allen Android-Smartphones lauffähig sind, obwohl in den Smartphones unterschiedliche Kameras, Displays und Sensoren verbaut sind. Die Hersteller haben den Vorteil, dass alle Apps im globalen App-Repository, dem Google App-Store, kompatibel zu ihren Smartphones sind. So lässt sich der hohe Marktanteil der Android-Systeme von über 80 %¹ erklären. Neben der HAL, die sicherlich ein Schlüsselement des Ecosystems darstellt, sorgen Entwicklungswerkzeuge, die Android SDK Tools, für die einfache Entwicklung von neuen Apps und die Einhaltung von Standards. Für ein standardisiertes Deployment (d. h. Installation und Ausführung der Apps) sorgt die Laufzeitumgebung, Android Runtime.

Um die Zielsetzung von ReApp zu verdeutlichen, sind die einzelnen Elemente des avisierten ReApp-Ecosystems in **Abb. 10.1** den einzelnen Elementen des Android-Ecosystems gegenübergestellt. Die Rolle der Android HAL wird dabei dem OpenSource Robotik-Framework ROS-Industrial² zugeordnet.

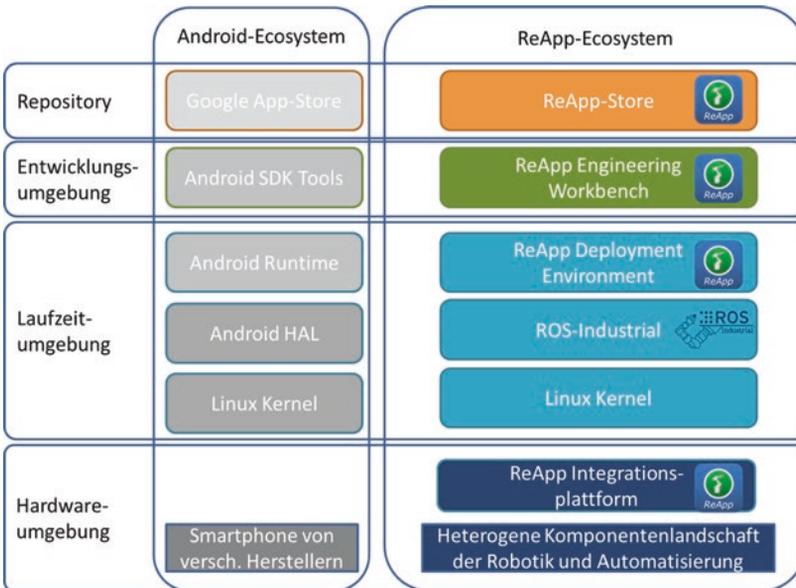


Abb. 10.1 Das ReApp-Ecosystem

¹ Quelle: Statista: Marktanteil von Android am Absatz von Smartphones weltweit vom 1. Quartal 2009 bis zum 2. Quartal 2015.

² www.rosindustrial.org

10.1.1 Das ReApp-Projektkonsortium

Das ReApp-Konsortium setzt sich neben den Forschungspartnern fortiss gmbH (FORTISS), dem FZI Forschungszentrum Informatik, dem Karlsruhe Institute of Technology (KIT) und dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA aus einer Vielzahl von Industriepartnern zusammen. Die Technologiepartner SICK und fluid Operations AG bringen Sensorik und Cloud-Technologien in das Projekt mit ein. Die Unternehmen dresden elektronik ingenieurtechnik GmbH (DDE), BMW AG und Fischer IMF GmbH & Co. KG werden die Ergebnisse von ReApp als Endanwender beurteilen, die Unternehmen Ruhrbotics GmbH und InSystems Automation GmbH als Systemintegratoren. Damit deckt das Konsortium alle Beteiligten ab, die für die Entwicklung von roboterbasierten Automatisierungslösungen heute eine Rolle spielen. Dies ist erforderlich, um die unterschiedlichen Aspekte und möglichen Auswirkungen des Forschungsprojekts vollumfänglich beurteilen zu können.

10.1.2 Der ReApp-Lösungsansatz

Um die in [Abschn. 10.1.1](#) genannten Projektziele zu erreichen, wurden zu Beginn des Projekts die einzelnen Elemente des ReApp-Ecosystems ([Abb. 10.2](#)) konzipiert, bei der alle in der Vorhabenbeschreibung definierten Teilziele (Entwicklung von intelligenten Plug&Produce-Komponenten, Integrationsplattform, Komposition und Konfiguration von Programmbausteinen, intuitive Entwicklungsumgebung etc.) zu einer Gesamtlösung integriert werden. Ein großer Schwerpunkt liegt dabei auf der Schaffung einer durchgängigen Entwicklungsumgebung,

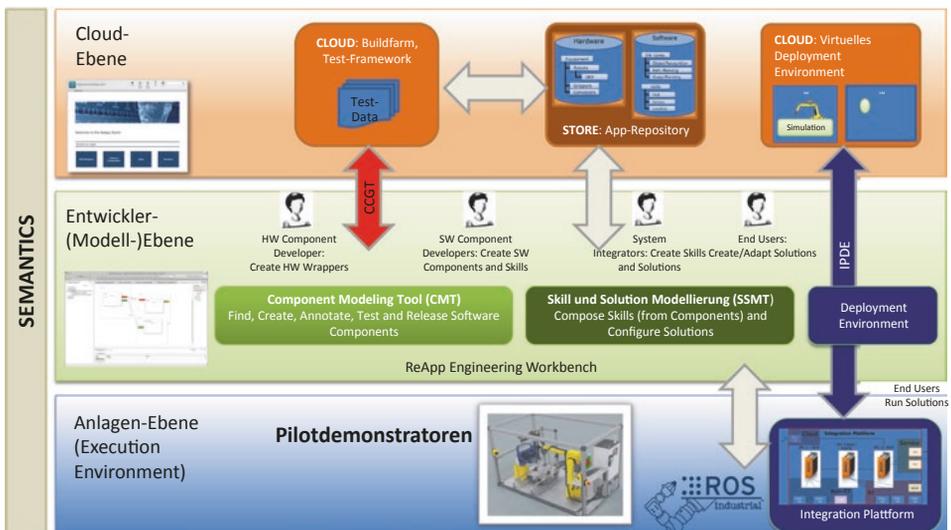


Abb. 10.2 Überblick über die einzelnen Elemente des ReApp-Ecosystems

der ReApp Engineering Workbench, die sowohl die Verbindung zum App-Repository, dem ReApp-Store, als auch zur Ausführungsschicht und der Hardware bereitstellen muss.

Mit dem „Component Modeling Tool“ (CMT) können neue Apps, z. B. Hardware-Treiber oder höherwertige Software-Komponenten, entwickelt und, nach erfolgreichem Durchlaufen einer Qualitätssicherung, dem Testframework, in den Store eingestellt werden. Das CMT stellt dabei sicher, dass die entwickelte Komponente einem standardisierten Komponentenmodell entspricht, das Eigenschaften, Strukturen und die Semantik von Komponenten definiert und dadurch die Kompatibilität der Komponenten gewährleistet. Die Komponenten werden dann automatisch bezüglich der ReApp-Ontologie (Zander et al. 2015) klassifiziert, die eine spätere Suche im Store erheblich vereinfacht.

Mit dem „Skill und Solution Modeling Tool“ (SSMT) können Apps zu komplexeren Anwendungen komponiert werden. Die Grundidee ist, dass zunächst hardwareunabhängige Fähigkeiten oder Skills erstellt werden, die eine hohe Wiederverwendbarkeit gewährleisten. Ein generischer Pick-and-Place-Skill könnte z. B. aus den folgenden Basis-Apps aufgebaut sein: einer Objektlageerkennung, die mithilfe eines Farbbildes und eines Objektmodells die Position und Lage des Objektes im Bild wiedergibt, und einer Trajektorien-generierung, die mithilfe von Tiefendaten der Umgebung und dem Robotermodell eine kollisionsfreie Trajektorie berechnet. Soll der Skill dann für einen bestimmten Roboter und eine bestimmte Kamera wiederverwendet werden, müssen lediglich die Treiber-Apps für die Hardware hinzugefügt werden. Aus dem Skill wird so eine „Solution“. Sowohl Skills als auch Solutions können im Store bereitgestellt werden.

Schließlich kann die erstellte Solution mithilfe der ReApp-Deployment-Umgebung auf einer konkreten Anlage installiert, konfiguriert und ausgeführt werden. Dabei hilft die ebenfalls standardisierte Steuerungshardware, die sogenannte „Integrationsplattform“. Sie bietet physikalische Schnittstellen für gängige Feldbusse, sodass Robotersteuerungen oder SPS-Steuerungen einfach angebunden werden können. Damit ist eine durchgängige Deployment-Kette vom Store bis auf die Steuerung geschaffen, die vom Entwickler abstrahiert wird. Das bedeutet, dass der Systemintegrator weder die üblichen Schnittstellenanpassungen noch Modifikationen für die Steuerungsarchitektur durchführen muss. Er kann sich darauf verlassen, dass alle Apps im Store, die über die ReApp-Deployment-Umgebung auf die Integrationsplattform installiert wurden, auch kompatibel und lauffähig sind. Wie in [Abb. 10.2](#) dargestellt, kann das Deployment auch zunächst in einer virtuellen Laufzeitumgebung in der Cloud getestet werden.

Die ReApp Engineering Workbench unterstützt somit den gesamten Lebenszyklus von roboterbasierten Automatisierungsanlagen: Konzeption, Simulation und Test, Aufbau und Inbetriebnahme, Konfiguration und Rekonfiguration, Deployment und Operation.

10.1.3 Auswirkungen auf betriebliche Funktionen

Da Industrieroboterzellen heute in aller Regel durch Systemintegratoren konzipiert, aufgebaut, programmiert, eingerichtet, in Betrieb genommen und gewartet werden, ist diese Berufsgruppe sicherlich am unmittelbarsten und am umfangreichsten von den

ReApp-Lösungskonzeptionen betroffen. Durch ReApp soll eine Plattformtechnologie geschaffen werden, mit der eine um ein Vielfaches erhöhte Wiederverwendbarkeit bereits existierender Lösungen erzielt werden soll. Der Entwicklungsprozess wird sich daher vor allem in der Designphase stark ändern: Anstatt Hardwarekomponenten für den Aufbau der Automatisierungszelle nur nach Erfahrung und Wunsch des Kunden auszusuchen, wird in Zukunft die technische Eignung für die Anwendung des Kunden eine größere Rolle als bisher spielen, da der Entwicklungsaufwand durch die Plattformtechnologie weitgehend unabhängig von der Wahl des Herstellers ausfällt.

Während große Endanwender wie BMW eher indirekt durch den geänderten Entwicklungsprozess bei den Systemintegratoren tangiert werden, könnten kleine und mittelständische Unternehmen in die Lage versetzt werden, auch für kleine Stückzahlen roboterbasierte Automatisierung einzusetzen.

Durch die ReApp-Infrastruktur sollen die folgenden betrieblichen Rollen durch standardisierte Schnittstellen und verbesserte Datendurchgängigkeit besser separiert werden:

- Entwickler von Automatisierungskomponenten (z. B. Sensoren, Aktoren, Steuerungen)
- Entwickler von Softwarekomponenten (z. B. Bilderkennung, HMI etc.)
- Entwickler von Simulationssoftware/Simulationsmodellen
- Anlagenentwickler/Systemintegratoren
- Entwickler von Applikationssoftware

Neben Entwicklerfunktionen wird ReApp auch Auswirkungen auf Endanwender haben. Zum einen soll durch die verbesserte Effizienz in der Anlagenentwicklung und -einrichtung eine Erhöhung des Automatisierungsgrads auch bei kleinen Stückzahlen ermöglicht werden. Monotone (und damit fehleranfällige) sowie einfache Tätigkeiten werden so reduziert. Zum anderen soll Endanwendern durch entsprechende Schnittstellen eine größere Möglichkeit gegeben werden, Systemparameter zu konfigurieren und die Anlage in gewissem Maße eigenständig umzurüsten.

In ReApp wurden im ersten Projektjahr drei Pilotdemonstratoren spezifiziert, die unterschiedliche Aufgaben der Endanwender behandeln. Dazu gehören das Kommissionieren bei einem Automobilzulieferer, das Löten für einen Elektronikhersteller und die Türfertigung für einen Autohersteller. In Pilotdemonstratoren ändern sich die Arbeitsabläufe für die folgenden Funktionen/Tätigkeiten:

- Maschinenbediener
- Bandarbeiter in der Automobilproduktion
- Monteure
- Kommissionierer
- Elektronikfachkräfte/Lötfachkräfte

Im Folgenden wird anhand eines der drei Pilotdemonstratoren erörtert, welche Auswirkungen sich durch den Einsatz einer roboterbasierten Automatisierungslösung ergeben und welche Rolle die Projektergebnisse von ReApp dabei spielen.

10.2 Anwendungsfall: Bestücken in der Elektroindustrie – „Automatisches Verlöten von LED-Strips“

10.2.1 Unternehmen

Die dresden elektronik ingenieurtechnik GmbH begann 1990 mit drei Mitarbeitern und entwickelte sich während der letzten 25 Jahre kontinuierlich zu einem Komplettanbieter für Elektronikentwicklung und -fertigung mit über 80 Arbeitsplätzen. Während am Anfang vorwiegend Geräte für die Industrieautomatisierung hergestellt wurden, hat sich das Portfolio von dresden elektronik mittlerweile auf viele Businessbereiche ausgedehnt, u. a. Entwurf und Entwicklung von Hard- und Software, Module für die drahtlose Kommunikation, Lichtsignalanlagen für die Verkehrstechnik und Bestückung von Leiterplatten in SMD und Durchstecktechnologie.

Die steigende Komplexität der Geräte und das immer breiter werdende Spektrum an Geräteoptionen führt dazu, dass die Anzahl der bestückten Leiterplatten von einem Typ immer weiter sinkt, obwohl die Gesamtbestellmenge gleich bleibt oder gar steigt.

Die Bestückung von Leiterplatten – speziell von SMD-Prozessen – ist schon hoch automatisiert. Allerdings ist die Bestückung von Durchsteckbauelementen auf Leiterplatten immer noch zum großen Teil Handarbeit. Da fast jede Leiterplatte Durchsteckelemente aufweist, erfordert diese Bestückung – die variantenspezifisch meist nach der größtenteils automatisierten SMD-Bestückung erfolgt – eine manuelle Bearbeitung. Obwohl durch Schwalllötten und Selektivlötten schon automatisierte Lötprozesse für Durchsteckbauelemente genutzt werden, ist in vielen Fällen zusätzlich auch ein Handverlöten einiger Bauelemente erforderlich. Damit wird Durchsteckbestückung zu einem entscheidender Kostenfaktor in der Gesamtkalkulation, in der Handlötten die teuerste Art der Bestückung darstellt.

Die Entwicklung, Baugruppen in mehreren Varianten herzustellen, führt dazu, dass die Losgrößen immer weiter sinken und damit die Produktion eine immer flexiblere Ausstattung benötigt, welche schnell und effektiv an das nächste Produkt oder die nächste Variante angepasst und rekonfiguriert werden kann. Die benötigte Einrichtzeit aller Maschinen ist mittlerweile zu einem der wichtigsten Kostenfaktoren für eine konkurrenzfähige Leiterplattenbestückung im Kleinserienbereich geworden.

Um die notwendigen kostenintensiven manuellen Prozesse auch am Standort Deutschland konkurrenzfähig anbieten zu können, braucht es neue Automatisierungslösungen mit dem Fokus auf kurze Einrichtzeiten und hohe Flexibilität.

Im Betrieb sind neben Entwicklungsingenieuren vor allem Elektroniker, Mechatroniker und Elektronikfacharbeiter in der Produktion beschäftigt.

10.2.2 Beschreibung des Anwendungsfalls

Das für das Pilotprojekt gewählte Produkt ist Teil von handelsüblichen LED-Leuchten. Diese Leuchten werden in unterschiedlichen Längen, Leuchtfarben und Verbrauchsklassen angeboten. Außerdem gibt es noch Optionen für kundenspezifische Anschlusslängen und Endstück-Ausführungen.



Abb. 10.3 Manueller Lötprozess von LED-Leuchtbändern

Diese breite Palette von LED-Leuchten basiert auf Leiterplatten, die unterschiedlich bestückt und miteinander verbunden werden. Die Leiterplatte wird in die Trageschiene mit auftragspezifischer Länge eingefädelt, welche in einer Montage- und Lötlehre fixiert wurde. Nach dem Einschub einer weiteren Leiterplatte in die Lötlehre werden die Leiterplatten so ausgerichtet, dass sie aneinanderstoßen. Beide Leiterplatten müssen nun durch zwei kurze Drähte an zwei Stellen durch Löten von Hand miteinander verbunden werden (s. [Abb. 10.3](#)). Dabei muss sowohl die mechanische Ausrichtung als auch der Abstand der Leiterplatten zueinander exakt ausgerichtet werden. Nach dem Verlöten werden die beiden verbundenen Leiterplatten weiter in die Tragschiene eingeschoben und die nächste Leiterplatte in die Montage- und Lötlehre eingeschoben. Dieser Prozess wiederholt sich so lange, bis die für diese LED-Leuchte erforderliche Anzahl an Leiterplatten miteinander verbunden ist.

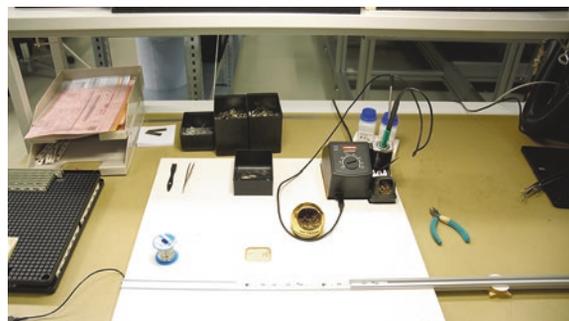
Danach erfolgt die manuelle Montage des Endstückes, um die Leiterplatten in der Tragschiene zu fixieren. Zum Abschluss des Bestückungsprozesses wird das Anschlusskabel entsprechend der Bestelloption per Hand angelötet. Die Anschlusskabel selbst werden in einem separaten Schritt konfektioniert.

Das Verlöten von LED-Stripes (LED-Leisten) wird zurzeit an einem Arbeitstisch auftragsbezogen durch einen Mitarbeiter durchgeführt (s. [Abb. 10.4](#)).

10.2.3 ReApp-Lösungsansatz: mobile, roboterbasierte Lötstation

Der Fokus bei der Entwicklung einer Automatisierungslösung lag neben wirtschaftlichen Aspekten hauptsächlich darauf, die manuelle Arbeit zu erleichtern und die Qualität zu

Abb. 10.4 Bisheriger Arbeitsplatz mit manueller Löt-Station und Hilfswerkzeugen (Quelle DDE)



erhöhen. Bisher musste durch den Mitarbeiter bei der Herstellung von Lötverbindungen sowohl der LötKolben als auch der Löt Draht zugeführt werden. Gleichzeitig wurde auch der Draht oder das Kabelende auf dem Löt pad platziert und fixiert – meist durch Niederhalten mit der heißen Spitze des Löt Kolbens. Beim Platzieren des Drahtes oder der Kabelenden können so sehr schnell „kalte“ Lötstellen entstehen.

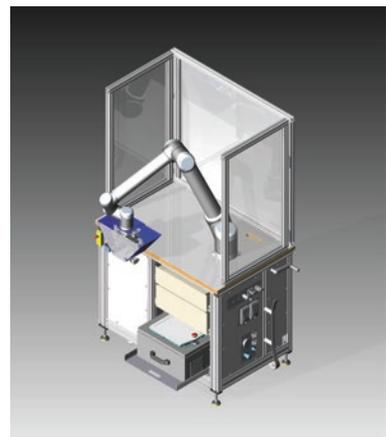
Da das manuelle Löten typischerweise in kleinen Losgrößen erfolgt, musste auch eine sehr flexible Lösung angedacht werden, um sehr schnell unterschiedliche Lötaufgaben – teilweise an verschiedenen Arbeitsplätzen – durchführen zu können. Hier ist besonders ein möglichst geringer Rüstaufwand gefordert, um die Herstellkosten für die Produktion in kleinen Losgrößen wirtschaftlich gestalten zu können.

Der Lösungsansatz war hier, eine mobile Einheit zu schaffen, die mit einem Leichtbauroboter, allen nötigen Steuereinheiten und auch Sicherheitseinrichtungen ausgestattet werden soll (s. [Abb. 10.5](#)). Ein automatischer Löt Kolben mit Löt Drahtvorschub als Prozesswerkzeug vereinigt die hohe Präzision eines Roboters mit der Möglichkeit der Herstellung von reproduzierbaren Lötverbindungen.

Beim automatischen Kolbenlöten wird der Kolben mit seinem pneumatischen Hub durch den Roboter auf die Lötstelle aufgesetzt. Wenn die Lötstelle auf Löttemperatur erwärmt ist, wird mit dem automatischen Löt Drahtvorschub der Löt Draht zugeführt. Anschließend wird der Löt Drahtvorschub wieder zurückgezogen. Die Lötspitze verbleibt noch kurze Zeit auf der Lötstelle, damit das Lot richtig verläuft und sich ein Meniskus an der Lötstelle ausbildet.

Durch den Einsatz eines Leichtbauroboters UR 10 mit nur geringen Bahngeschwindigkeiten und auch nur kurzen Bewegungsabläufen konnten die Sicherheitseinrichtungen zum Schutz des Anwenders und anderer Personen überschaubar gestaltet werden. Neben ausklappbaren Seitenflügeln, die Eingriffe in den Prozessraum verhindern, wurde die Löt einheit gegen unabsichtliches Berühren durch eine Einhausung geschützt. Da der Löt Kolben allerdings auch nach dem Lötprozess für einige Zeit heiß bleibt und damit eine potenzielle Gefahrenquelle darstellt, wurde hier ein Mechanismus entwickelt, welcher die Lötspitze in die Einhausung zurückzieht. Dies erfolgt auch bei Auslösung der Not-Aus-Funktion.

Abb. 10.5 Mobile Roboter-Einheit mit UR 10 und Löt einheit (Quelle LP Montagetechnik)



Ein Abstandssensor erkennt den Abstand zur Lötstelle, Miniaturschaltleisten vermindern zudem die Gefahr des Quetschens für den Bediener. Die Ausrichtung der LED-Stripes wird von einer 2D-Kamera überwacht. Auch eine falsche Ausrichtung der LED-Stripes sowie die Positionierung zueinander werden so erkannt und Fehler vermieden.

Die Software-Architektur für die beschriebene Funktionalität ist in [Abb. 10.6](#) abgebildet. Die grünen Achtecke repräsentieren einzelne Skills, die wiederum aus weiteren grundlegenden Apps zusammengesetzt sind. So besteht z. B. der Skill „Soldering Localization“, der die Lage der LED-Stripes ermittelt, aus einer Kameratreiber-App und einer Objekterkennungs-App. Die Objekterkennungs-App erhält dabei Bildmuster für die LED-Stripes als Parameter und gibt die Pose des erkannten Stripes zurück. Im „Soldering Controller“ erfolgt die Koordination der einzelnen Skills, d. h. die Ablaufsteuerung des gesamten mobilen Lötroboters.

Die mobile Robotereinheit kann an jeden Arbeitsplatz angedockt werden. Nach Herstellen der Energieversorgung und nur kurzem Einlernen der neuen Aufgabe kann die Station zur Unterstützung für manuelle Lötaufgaben eingesetzt werden. Das Anlernen der neuen Aufgabe erfolgt grundsätzlich über die ReApp-Entwicklungsumgebung und die in ReApp modellierten Apps.

10.3 Auswirkungen auf die betrieblichen Abläufe und die Personalstruktur

10.3.1 Auswirkungen für den Endanwender

Auf die Personalstruktur ergeben sich unmittelbare Auswirkungen durch den Einsatz des Roboters: Die erforderliche Qualifikation des für den Fertigungsprozess einzusetzenden Personals kann durch die automatisierten Lötplätze reduziert werden. Wo vorher Handlöt-Facharbeiter eingesetzt werden mussten, können nun niedriger qualifizierte Mitarbeiter als Bediener eingesetzt werden. Da der Bediener vorbereitende Tätigkeiten neben dem nun automatisierten Lötvorgang zeitneutral abarbeiten kann, werden die Montagezeit und dadurch die Stückkosten reduziert. Das Konzept der Zusammenarbeit zwischen Werker und Roboter ist in [Abb. 10.7](#) dargestellt.

Im beschriebenen Anwendungsfall werden sich somit zwar die Produktionsabläufe durch den Einsatz der mobilen Roboter-Lötstation nicht per se grundlegend ändern, durch die somit tendenziell homogenere Personalstruktur können Produktionsschwankungen jedoch flexibler als früher ausgeglichen werden. Diese zusätzliche Flexibilität in der Planung erhöht die Termintreue bei der Abarbeitung der Aufträge im Unternehmen.

Zwar eignen sich nicht alle Leiterplatten zur Übergabe an den Roboter, da neben der Umprogrammierung des Roboters auch noch weitere produktspezifische Vorbereitungen getroffen werden müssen, wie z. B. die Anfertigung einer Halterung für die Leiterplatte, damit diese für den Roboter lötbar gelagert ist. Sofern sich der mobile Lötroboter jedoch in weniger als 30 Minuten und ohne spezielles Fachwissen umprogrammieren lässt, wird

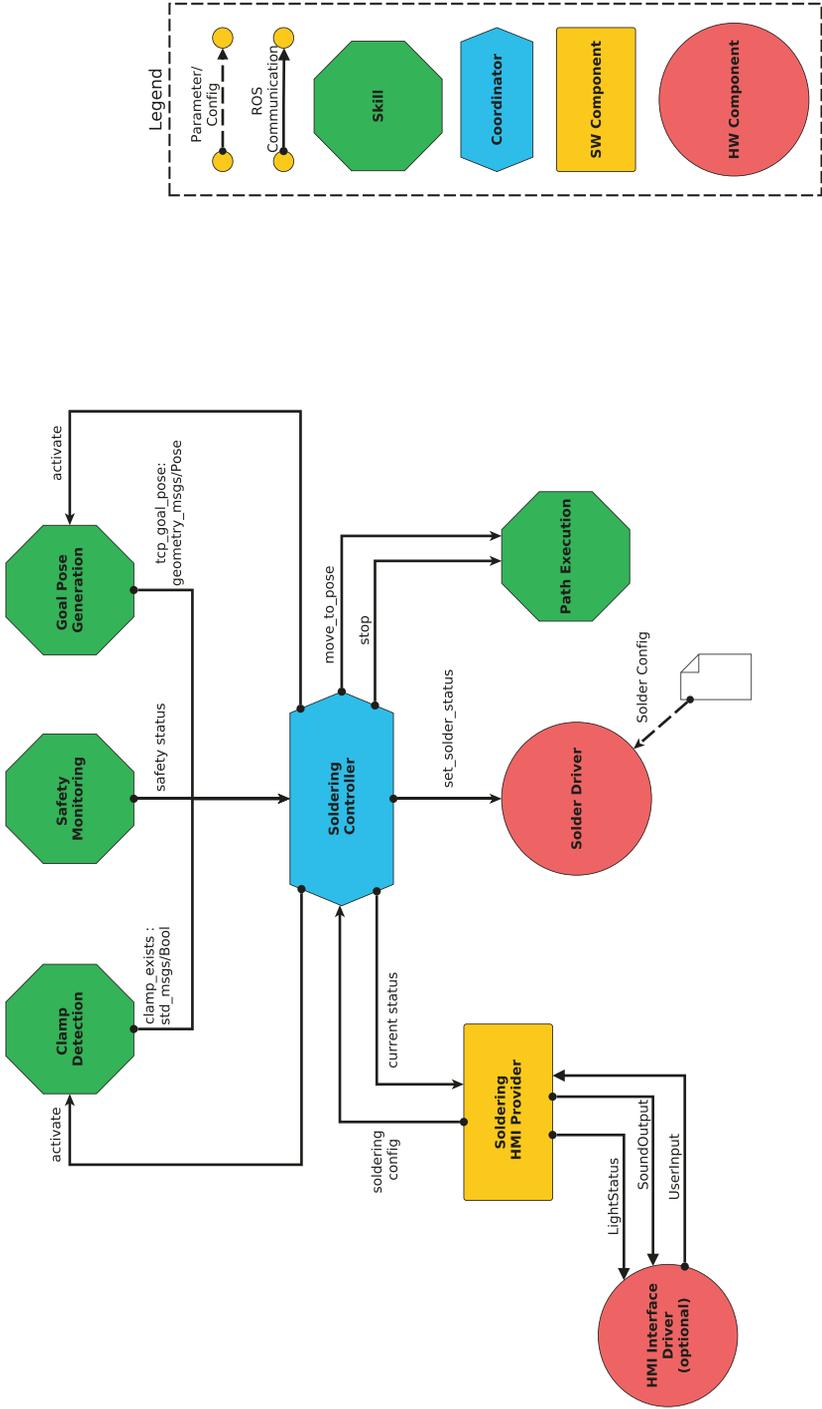
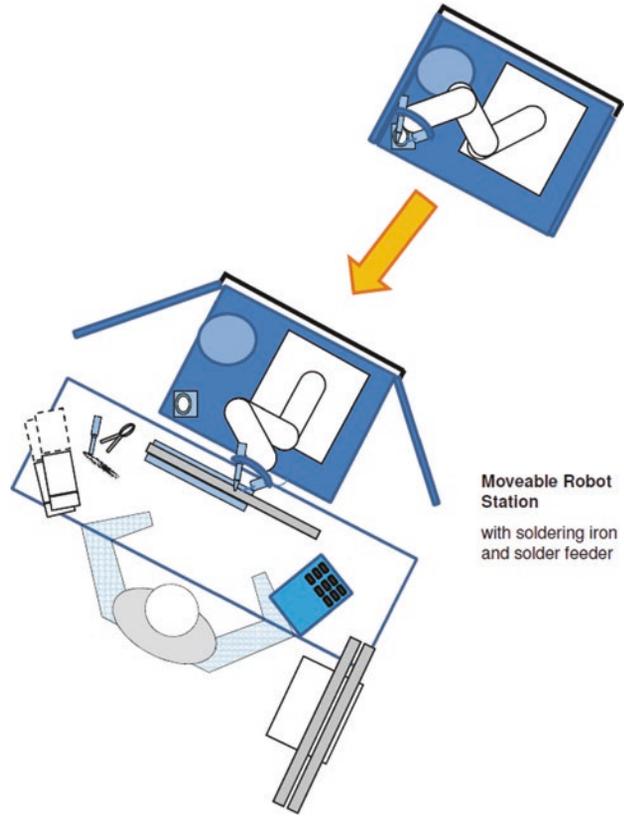


Abb. 10.6 Software-Architektur der Lötanwendung, die aus wiederverwendbaren Apps zusammengesetzt wird

Abb. 10.7 Arbeitsplatz mit mobiler roboterbasierter Lötstation



eine wirtschaftliche Einsatzbarkeit bereits für Stückzahlen ab ca. 100 Stück erwartet. Produkte, welche sich bisher durch die manuelle Herstellung nicht gerechnet haben, könnten weiter oder wieder in Deutschland gefertigt werden. Grundsätzlich gilt: Je geringer der Einrichtungsaufwand des Roboters auf das aktuelle Produkt ist (inkl. der dazu notwendigen Einrichtungsschritte wie Kalibrierungssequenz starten, Artikelnummer wählen etc.), desto flexibler und für desto geringere Stückzahlen lässt sich die Lösung einsetzen. Wo bisher aus Kostengründen keine spezielle Automatisierungslösung infrage kam, kann nun der roboterunterstützte Löt Arbeitsplatz helfen, eine ähnliche Kostenreduzierung wie eine spezielle Automatisierungslösung zu erreichen. Gleichzeitig ist ein Roboter wesentlich flexibler und kann daher von mehreren Personen genutzt werden.

Eine weitere Auswirkung ergibt sich durch die gleichbleibend gute Qualität des automatisierten Lötprozesses. Selbst bei gut ausgebildeten Fachkräften schwankt die Lötqualität, sodass beim Roboterlöten deutlich weniger Nacharbeiten als bisher zu erwarten sind. In der Qualitätssicherung können somit perspektivisch Kosten gespart werden.

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 10.1) gibt die Einschätzung der Auswirkungen eines Einsatzes der roboterbasierten Lötstation auf die betrieblichen Funktionen wieder.

Tab. 10.1 Auswirkungen auf die betrieblichen Funktionen

	Gering qualifizierte Mitarbeiter	Fachkräfte	Gruppenleiter/Ingenieur
Bedarf	++	-	-
Problemlösung	-	-	-
Monotone Aufgaben	--	--	-
Komplexe Aufgaben	-	+	+
Planen	0	0	+
Kontrolle	-	-	--
Lernen, informell	0	+	+
Lernen, formell	+	+	+
Selbstbestimmung	-	+	0
Optimierung	-	+	+
Kooperation	+	+	+
Kommunikation	+	+	+
Interdisziplinarität	0	+	+
IT-Kenntnisse	+	0	+

Legende: -- wird viel weniger, - wird weniger, 0 bleibt gleich, + wird mehr, ++ wird viel mehr

Zusammengefasst lässt sich sagen: Eine Änderung der Personalstruktur wird bereits bei einem, aber insbesondere beim Einsatz mehrerer roboterunterstützter Arbeitsplätze erwartet, da diese dann von geringer ausgebildetem Personal bedient werden können. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung, die durch den Gruppenleiter oder Ingenieur einmalig bei der Einführung des Produkts in die Fertigung durchgeführt wird, da hier das Einrichten der roboterbasierten Lötstation mit berücksichtigt werden muss.

10.3.2 Auswirkungen für den Systemintegrator

Im oben genannten Beispiel können Änderungen und Anpassungen an der mobilen Roboterstation durch Hinzufügen oder Löschen von Skills oder der Modifikation des Ablaufs im Koordinator vorgenommen werden. Eine grundlegende Neuentwicklung ist nicht erforderlich, selbst wenn mehrere Skills (z. B. automatisierte Erkennung des Lötdrahts) hinzugefügt werden sollen. Der Schwerpunkt wird somit von der Umsetzung in Richtung Konzeption verlagert.

Für die Systemintegratoren bedeutet der mögliche Einsatz der ReApp-Infrastruktur eine Verringerung des Installations- und Programmieraufwandes bei Automatisierungsprojekten

und dadurch die Möglichkeit von attraktiveren, wirtschaftlicheren Lösungskonzepten gerade für mittelständische Endanwender wie dresden elektronik.

Die Bedingung dafür ist ein Wandel der Qualifikation der Mitarbeiter von Systemintegratoren. Es werden weniger Softwareexperten mit fundierten Programmiererfahrungen und Hochsprachenkenntnis benötigt, vielmehr werden Erfahrungen gerade im Bereich der Konzeptionierung von Mensch-Maschine-Kooperation, Anwendungingenieure mit Kenntnissen in visueller Technologie (z. B. Bilderkennung) oder Erfahrungen in der Navigation autonomer mobiler Systeme benötigt.

10.4 Zusammenfassung und Fazit

Mit ReApp werden roboterbasierte Automatisierungslösungen immer mehr auch für kleine Losgrößen und somit für kleine und mittelständische Unternehmen einsetzbar. Die Programmierung und Einrichtung wird deutlich vereinfacht und kann in Zukunft zunehmend vom Endanwender direkt durchgeführt werden.

Diese Automatisierungssysteme werden Auswirkungen auf die Personalstruktur haben. Vor allem repetitive Prozesse, die eine hohe Genauigkeit oder Zuverlässigkeit erfordern, werden verstärkt durch Roboter durchgeführt werden. Dadurch wird in der Regel die Anzahl von ungelerten Mitarbeitern zugunsten von Personal mit Qualifizierung im Bereich Automatisierungstechnik (z. B. Roboterprogrammierern) tendenziell zurückgehen. Wie das Anwendungsbeispiel „Automatisiertes Lötén“ in diesem Kapitel zeigt, kann jedoch auch der umgekehrte Fall auftreten. Durch den Einsatz einer roboterbasierten Lötstation können hochqualifizierte Fachkräfte durch gering qualifizierte „Roboterbediener“ ersetzt werden. Voraussetzung ist in diesem Beispiel jedoch die einfache Programmierbarkeit der roboterbasierten Lötstation. Sind spezielle Kenntnisse zur Umprogrammierung erforderlich oder dauert der Einrichtprozess insgesamt zu lange, ist ein wirtschaftlicher Einsatz des Roboters gefährdet.

Roboter werden in Zukunft nicht mehr in herstellerspezifischen Roboterprogrammiersprachen programmiert, sondern mithilfe von Softwarewerkzeugen, die wiederverwendbare Programmbausteine kombinieren und konfigurieren. Systemintegratoren werden sich deshalb noch stärker von reinen Roboterprogrammierern zu Systemexperten mit Kenntnissen u. a. in Mensch-Roboter-Kooperation, Bilderkennung und weiteren höherwertigen Funktionalitäten wandeln.

10.5 Danksagung

Dieser Beitrag ist im Rahmen des Projekts „Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen basierend auf Industrial-ROS“ entstanden. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Kennzeichen 01MA13001 gefördert und vom DLR-Projektträger betreut.

Literatur

The Android Source Code. <https://source.android.com/source/index.html>. Zugegriffen: 21. Dez. 2015.

Zander, S., Heppner, G., Neugschwandtner, G., Awad, R., Essinger, M., & Ahmed, N. (2015). „A Model-Driven Engineering Approach for ROS using Ontological Semantics“, 6th International Workshop on Domain-Specific Languages and models for ROBotic systems (DSLRob-15) co-located with 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg, Germany.

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.



Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“

11

Wilhelm Bauer, Sebastian Schlund und Tobias Strölin

11.1 Ausgangssituation

Unsere Arbeit verändert sich – im Büro, in der Produktion und in den Bereichen dazwischen, die immer mehr zusammenwachsen. Sie wird zunehmend flexibel, mobil und vernetzt. Die Diskussion über die Ausgestaltung der Arbeitswelt der Zukunft erlebt gerade eine Hochkonjunktur. Ganz besonders in der Produktion und den produktionsnahen Bereichen stellt die zunehmende digitale Vernetzung momentan eine zentrale Herausforderung dar. Einige Autoren prognostizieren bereits das Ende großer Bereiche der Arbeit, wie wir sie heute kennen (Brynjolfsson und McAfee 2014). Neue Technologien durchdringen vermehrt unsere Arbeitsprozesse, seien es bekannte aus unserem Alltag wie Smartphones und Tablet-Computer oder mittlerweile industriell einsetzbare wie kollaborative Leichtbauroboter und Datenbrillen. Produktivitätssteigerungen in Milliardenhöhe werden für die nächsten Jahre erwartet (BITKOM/Fraunhofer IAO 2014).

In Kenntnis des Einflusses, den das Ökosystem Internet heute auf unser Leben, unsere Freizeit und unsere Wissensarbeit hat, erzeugt die industrielle Umsetzung des Internets der Dinge eine hohe Erwartungshaltung (Bauer und Schlund 2015; Ganschar et al. 2013; Ingenics/Fraunhofer IAO 2014). An die ausstehende Umsetzung geknüpft sind Potenziale für Produktivitätssteigerungen vom betrieblichen Hallenboden bis zur horizontalen Vernetzung ganzer Wertschöpfungsnetzwerke, wie die folgende Abb. 11.1 zeigt.

S. Schlund (✉)

Technische Universität Wien Theresianumgasse 27, A-1040 Wien, Österreich
Deutschland

e-mail: sebastian.schlund@tuwien.ac.at; wilhelm.bauer@iao.fraunhofer.de;
tobias.stroelin@porsche.de

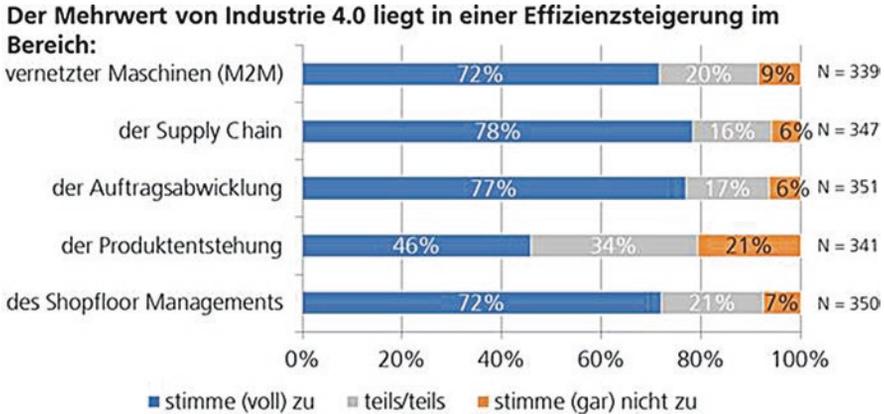


Abb. 11.1 Erwartungen an eine Effizienzsteigerung durch Industrie 4.0 (Ingenics/Fraunhofer IAO 2014)

Die daraus abgeleiteten Wertschöpfungspotenziale bilden die Basis für die hohe und zuweilen überzogene Erwartungshaltung an die Umsetzung von „Industrie 4.0“. Gespeist wird diese durch die Erfahrungen in anderen Bereichen der Arbeit. Aus unseren Büros sind moderne Hilfsmittel der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) schon heute nicht mehr wegzudenken. Die Übertragung echtzeitnaher Informationsverarbeitung und Mensch-Mensch- sowie Mensch-Maschine-Interaktion in die industrielle Wertschöpfung ist in vollem Gange. Diskutierten wir noch vor fünf Jahren über fehlende technische Infrastruktur, verfügen schon heute 41 % der Produktionsunternehmen über einen Anschluss ans Breitbandnetz und 45 % über zuverlässige WLAN-Verfügbarkeit in der Fabrik (Ingenics/Fraunhofer IAO 2014).

Parallel zu dieser Entwicklung liegen bereits qualitative und auch erste quantitative Abschätzungen zu den Auswirkungen auf die Arbeitswelt vor (Frey and Osborne 2013; Bowles 2015; ING DIBA 2015; Bonin et al. 2015; The Boston Consulting Group 2015; Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2015; Pfeiffer und Suphan 2015). Die Ergebnisse variieren stark in ihrer Bandbreite und sind in der Ausgewogenheit ihrer Grundannahmen, Datenbasis und Modellierungsparameter nicht vergleichbar. Neben den offensichtlichen Schwierigkeiten der Vergleichbarkeit bilden sämtliche Studien abgeleitete Gesamtaussagen ab. Diese bestehen aus Experteneinschätzungen der Substitution von Arbeit durch ausgewählte Automatisierungs- und Digitalisierungstechnologien sowie der Anwendung dieser Substitutionsfaktoren auf die Grundgesamtheit bestehender Beschäftigter im Bezugsland. Teilweise wird diesem Negativsaldo die Erwartungshaltung neu entstehender Beschäftigung entgegengestellt. Diese speist sich aus:

- Beschäftigungseffekten einer gestiegenen Wettbewerbsfähigkeit, die sich in Form einer Mehrproduktion günstigerer Produkte widerspiegelt
- Auswirkungen neuer technologie-induzierter Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten

- Wachstum neu entstehender und i. d. R. IT-affiner Berufe und Berufsgruppen, wie beispielsweise Data Scientists, Produktionsinformatikern und Cloud-Service-Spezialisten
- Beschäftigungseffekten, die durch vermehrte Investitionen in Industrie 4.0-fähige Anlagen, Betriebsmittel, Schulung und Qualifizierung entstehen

So sind beispielsweise durch die Digitalisierung und Automatisierung von Arbeitstätigkeiten bzw. Berufen je nach Studie in Deutschland über die nächsten 20 Jahre 18 Millionen Arbeitsplätze stark gefährdet (ING DIBA 2015) oder werden mehr als 600.000 Arbeitsplätze aufgebaut (The Boston Consulting Group 2015).

Neben der schwierigen bis unmöglichen Vergleichbarkeit der bestehenden Studien, sind die Ergebnisse für die Umsetzung und Gestaltung betrieblicher Prozesse nur begrenzt anwendbar und nicht durchgängig handlungsleitend. Zudem bilden die aufgeführten Studien jeweils genau eine Ausprägung erwarteter Veränderungen ab und nicht den Gestaltungsraum, der durch ein integriertes Zusammenspiel von Maßnahmen in den arbeitswissenschaftlichen Kernbereichen Mensch, Technik und Organisation aufgespannt wird.

11.2 Notwendigkeit für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“

Notwendig gemacht wird die Prognose zukünftiger Veränderungen von Arbeit durch die verstärkte Umsetzung technologiegestützter Arbeitsprozesse in Produktionsunternehmen und deren konkrete Ausgestaltung. Basis dafür bildet die Grundannahme, dass Arbeit auch vor dem Hintergrund neuer Formen der Automatisierung und Digitalisierung gestaltbar bleibt und nicht komplett technikdeterminiert stattfindet (vgl. Ittermann und Niehaus 2015).

Dies gilt gerade vor dem Hintergrund zahlreicher paralleler Technologien und Anwendungen (Plattform Industrie 4.0 2015; Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg 2015), deren dominierende Lösungen heute noch nicht absehbar sind und betrifft Unternehmen genauso wie die Gesellschaft bezogen auf die Schaffung dafür förderlicher politischer Rahmenbedingungen. Dies trifft zusammen mit unterschiedlichen Einschätzungen hinsichtlich der Nutzung neuer Lösungen in der Organisation. Gleichwohl wird für Unternehmen die Schaffung der notwendigen Voraussetzungen der Organisation und Qualifikation der Mitarbeiter neben dem Bereich sicherer und zukunftsfester Hard- und Software-Infrastruktur zur entscheidenden Investitionsfrage bei der Schaffung erster Umsetzungsprojekte.

Grundsätzlich existiert heute eine Vielfalt von Modellen zur Beschreibung von Arbeit. Diese unterscheiden sich grob nach ihrem Betrachtungsfokus und ihrem Detaillierungsgrad. Abhängig von der erwarteten Aussage werden unterschiedlich hohe Detaillierungsgrade zugrunde gelegt (volkswirtschaftliche Modellierungsansätze vs. Arbeitsprozessbeschreibungen) bzw. bezieht sich die Struktur der Modellierung auf unterschiedliche Schwerpunkte. So stellt im Gegensatz zu den aufgeführten Modellen (Frey und Osborne

2013; Bowles 2015; ING DIBA 2015; Bonin et al. 2015; The Boston Consulting Group 2015; Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2015; Pfeiffer und Suphan 2015) das Arbeitssystem der DIN EN ISO 6385 (2014) eine stark prozessual orientierte Modellierung in den Vordergrund und orientiert sich an arbeitsphysiologischen Grundsätzen der ergonomischen Arbeitsgestaltung. Jedoch lassen sich die beiden vor dem Hintergrund der momentanen Industrie-4.0-Debatte diskutierten möglichen Entwicklungsrichtungen der polarisierten Organisation bzw. der Schwarm-Organisation hier nicht eindeutig voneinander abgrenzen. Die Prognose der Schwarm-Organisation (Ittermann und Niehaus 2015) geht davon aus, dass der durchgängige Einsatz neuer Vernetzungslösungen vorrangig hochqualifiziertes und spezialisiertes Personal mit hohen Handlungsspielräumen benötigt und eine Aufwertung der erforderlichen Kompetenzen stattfindet. Dem gegenüber wird in der polarisierten Organisation zusätzlich ein Bereich abgewerteter Fachkräfte Rest-Tätigkeiten auf ausführenden Ebenen übernehmen. Beide Entwicklungsrichtungen scheinen vor dem Hintergrund bisheriger Erfahrungen möglich, ihre betriebs- und volkswirtschaftliche Ausgestaltung bzw. der dafür wünschenswerte Rahmen unterscheiden sich jedoch grundsätzlich.

Schwierig gestaltet sich die Beschreibung von Veränderungen von Arbeit heute zudem durch die Komplexität der Fragestellung. Diese liegen zum einen in den grundsätzlichen Einschränkungen von Prognosen begründet, zum anderen in der:

1. Abhängigkeit von der Validität von Eingangsdaten, Modell und Modellparametern
2. mangelnden Prognostizierbarkeit von Strukturbrüchen
3. Scheingenauigkeit, insbesondere quantitativer, bezifferbarer Ergebnisse

Im konkreten Fall der Prognose von Arbeit und Beschäftigung kommen weitere Schwierigkeiten hinzu:

4. fehlende Prognostizierbarkeit veränderter Arbeitsprozesse aufgrund entstehender Anwendungsfälle der Digitalisierung und Automatisierung
5. Abhängigkeit von einzelnen Experteneinschätzungen und -meinungen
6. Diskrepanz zwischen technischer Umsetzbarkeit neuer Lösungen und Einführung in bestehende und neue Arbeitsprozesse
7. Schwierigkeiten in der Umsetzungsgeschwindigkeit neuer Technologien und der Realisierung der abgeleiteten Auswirkungen und daraus resultierende hohe Unsicherheiten bezüglich des Bezugszeitpunkts von Prognoseaussagen
8. Arbeit als komplexes Konstrukt verändert sich in einer Reihe von Dimensionen, die mitnichten nur technologiezentriert sind, sondern Ergebnisse organisationaler, gesellschaftlicher und weiterer Einflüsse darstellen

Von einem arbeitsplatznahen Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ wird deshalb erwartet, die bestehenden Ansätze um eine genauere Beschreibung der

Auswirkungen neuer Anwendungen der Automatisierung und Digitalisierung auf der Mikroebene zu ergänzen und gleichzeitig Ansatzpunkte für Veränderungstendenzen der Arbeitsorganisation zu geben.

11.3 Modellansatz

Zur Beschreibung und Bewertung der Veränderung von Arbeit durch technologieinduzierte Veränderungen aus den Bereichen der Automatisierung und Digitalisierung industrieller Wertschöpfung wurde der folgende arbeitsplatznahe Modellansatz entwickelt. Es handelt sich hierbei um einen Entwurf, dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist, auf dessen Basis jedoch die Grundtheorie eines arbeitsplatznahen Beschreibungsmodells der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ entwickelt wird.

Zielsetzung für den Modellansatz war eine Darstellung des Lösungsraums für die Arbeitsgestaltung der Zukunft, die sich möglichst nah und praktikabel an der sichtbaren betrieblichen Realität im verarbeitenden Gewerbe orientiert. Zudem sollte das Beschreibungsmodell anschlussfähig bleiben für übergeordnete Fragestellungen, bspw. die Auswirkungen auf physische und psychische Belastungen, grundsätzliche Veränderungsprozesse von Organisationen sowie Aussagen zu Beschäftigung und Qualifizierungsbedarf.

Im Kern des Ansatzes werden Industrie-4.0-induzierte Veränderungen von Arbeitstätigkeiten in 14 Beschreibungsdimensionen aufgetragen und interpretiert. Diese basieren auf den Auswirkungen von Technologieanwendungen aus den Bereichen Automatisierung und/oder Digitalisierung in der Produktion. Als Beschreibungsdimensionen wurden Kriterien ausgewählt, die einerseits die Veränderungen grundsätzlicher Arbeitstätigkeiten beschreiben und andererseits am Beispiel heutiger Pilotprojekte bewertbar sind.

Im Kern des Modellansatzes stehen die in [Tab. 11.1](#) aufgeführten 14 arbeitsplatznahen Beschreibungsdimensionen.

Jeder dieser Dimensionen liegen die in der Tabelle abgebildeten Fragen zugrunde, welche die Veränderung für einen betrieblichen Funktionsträger beschreibt. Als solche werden Rollen und Jobprofile zusammengefasst, die typischerweise in Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes vorkommen bzw. aktuell in der Herausbildung sind und von einer Veränderung in den Modelldimensionen betroffen sind. Die im Folgenden abgebildete Liste ist erweiterbar. Nach Rücksprache mit Beteiligten aus zahlreichen Umsetzungsprojekten stellen die aufgeführten Funktionsträger jedoch die im ersten Schritt relevantesten im Umfeld der Digitalisierung und Automatisierung der Produktion und produktionsnaher Bereiche dar.

Für die Bewertung der Veränderung von Arbeit für die betrieblichen Funktionsträger in den aufgeführten Beschreibungsdimensionen werden bestehende und geplante Umsetzungsprojekte („Anwendungsfälle Industrie 4.0“) herangezogen. In einem ersten Schritt wird ein solches Projekt erläutert und hinsichtlich des zu lösenden Problems, der

Tab. 11.1 Beschreibungsdimensionen des Modellansatzes

Modelldimension	Leitfrage(n)
Bedarf	Werden mehr oder weniger Mitarbeiter mit dieser betrieblichen Funktion benötigt?
Problemlösung	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich der eigenständigen Lösung nicht vorhersagbarer Probleme?
Monotone Aufgaben	Steigt oder sinkt der Anteil monotoner, sich wiederholender Tätigkeiten?
Komplexe Aufgaben	Steigt oder sinkt der Anteil komplexer Arbeitsinhalte (wenig Wiederholung, relativ hohe kognitive Beanspruchung)?
Planen	Steigt oder sinkt der Anteil planerischer Aktivitäten?
Kontrolle	Steigt oder sinkt der Anteil kontrollierender/überwachender Tätigkeiten?
Lernen, informell	Erhöht oder verringert sich die Möglichkeit/Notwendigkeit des Lernens im Prozess der Arbeit?
Lernen, formell	Erhöht oder verringert sich die Möglichkeit/Notwendigkeit des formellen Lernens (bspw. durch Weiterbildungsmaßnahmen, neue Ausbildungsmodule, neue Studiengänge etc.)?
Selbstbestimmung	Steigt oder sinkt der Grad der Selbstbestimmung der betroffenen Mitarbeiter hinsichtlich: Bestimmung der Reihenfolge der auszuführenden Tätigkeiten, Auswahl der Arbeitsmethoden und/oder -mittel, Arbeitsgeschwindigkeit, Auswahl der Mitarbeiter, mit denen zusammengearbeitet wird?
Optimierung	Steigt oder sinkt die Möglichkeit der Optimierung der eigenen Arbeit (hinsichtlich der Prozesse aber auch der Organisation)?
Kooperation	Wird die Tätigkeit mehr oder weniger in Team-Strukturen eingebunden und entstehen damit höhere/niedrigere Anforderungen an kooperative Fähigkeiten der Mitarbeiter?
Kommunikation	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich kommunikativer Fähigkeiten (bspw. durch verstärkte Team-Arbeit, stärkere vertikale/horizontale Vernetzung im Betrieb)?
Interdisziplinarität	Steigen oder sinken die Anforderungen hinsichtlich interdisziplinären Wissens, das über die Kenntnisse im eigenen Fachbereich hinausgeht?
IT-Kennntnis	Steigen oder sinken die Anforderungen an die betroffenen Mitarbeiter hinsichtlich ihrer IT-Kompetenzen?

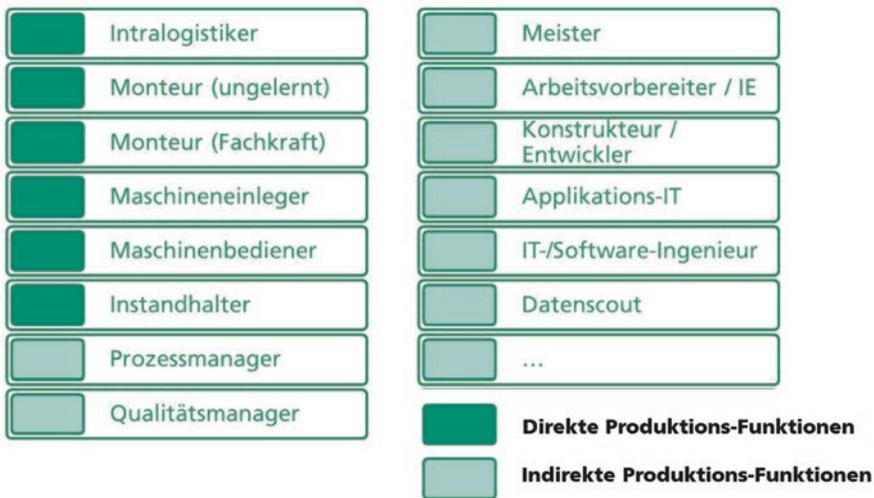


Abb. 11.2 Betriebliche Funktionsträger im Produktionsumfeld

Erwartungen hinsichtlich des Nutzens und der Änderungen des Arbeitsprozesses beschrieben (Schritt 1).

Anschließend werden die betroffenen betrieblichen Funktionsträger ausgewählt (Schritt 2, [Abb. 11.2](#)). Dies betrifft neben den heute am ausgewählten Arbeitsprozess beteiligten auch erwartete neue Tätigkeiten bzw. neu entstehende betriebliche Funktionsträger. Auf dieser Grundlage erfolgt die Bewertung der Veränderung des Arbeitsprozesses gemäß der Beschreibungsdimensionen (Schritt 3). Dazu wird auf einer fünfstufigen Likert-Skala zwischen den Ausprägungen ‚starker Anstieg‘; ‚Anstieg‘; ‚gleichbleibend‘; ‚Rückgang‘ und ‚starker Rückgang‘ unterschieden. Im Ergebnis liegt für jeden betrieblichen Funktionsträger eine Profillinie für die aufgrund des betrachteten Technologieeinsatzes ausgelösten Veränderungen seiner Arbeit vor. Das Gesamtverfahren gibt die folgende [Abb. 11.3](#) schematisch wieder.

Der Modellansatz basiert auf der Prämisse, dass durch die Aggregation der individuellen Veränderungen für mehrere Anwendungsfälle und betriebliche Funktionsträger allgemeingültige Aussagen für die Arbeitswelt in Industrie 4.0 bestimmt werden können. In ersten Pilotprojekten und bereits stark arbeitsteiligen und global verknüpften Wertschöpfungsnetzwerken sehen wir bereits heute die Auswirkungen dieses technologischen Fortschritts auf die Arbeit. Die praktische Anwendbarkeit an konkreten Umsetzungslösungen stand bei der Entwicklung des Ansatzes im Vordergrund. Getestet wurde der Modellansatz gemeinsam mit der VDI/VDE-IT und den Projekten des aktuellen AUTONOMIK-Programms des BMWi. Die Anwendung zeigt, dass der beschriebene Modellierungsansatz für die Einordnung der Auswirkungen einzelner Umsetzungsprojekte der Automatisierung und Digitalisierung auf Arbeit in Produktion und produktionsnahen Bereichen anwendbar ist. Insbesondere ist zu erkennen, dass durch das beschriebene Modell qualitative Veränderungen der Arbeitstätigkeiten sehr gut arbeitsplatznah

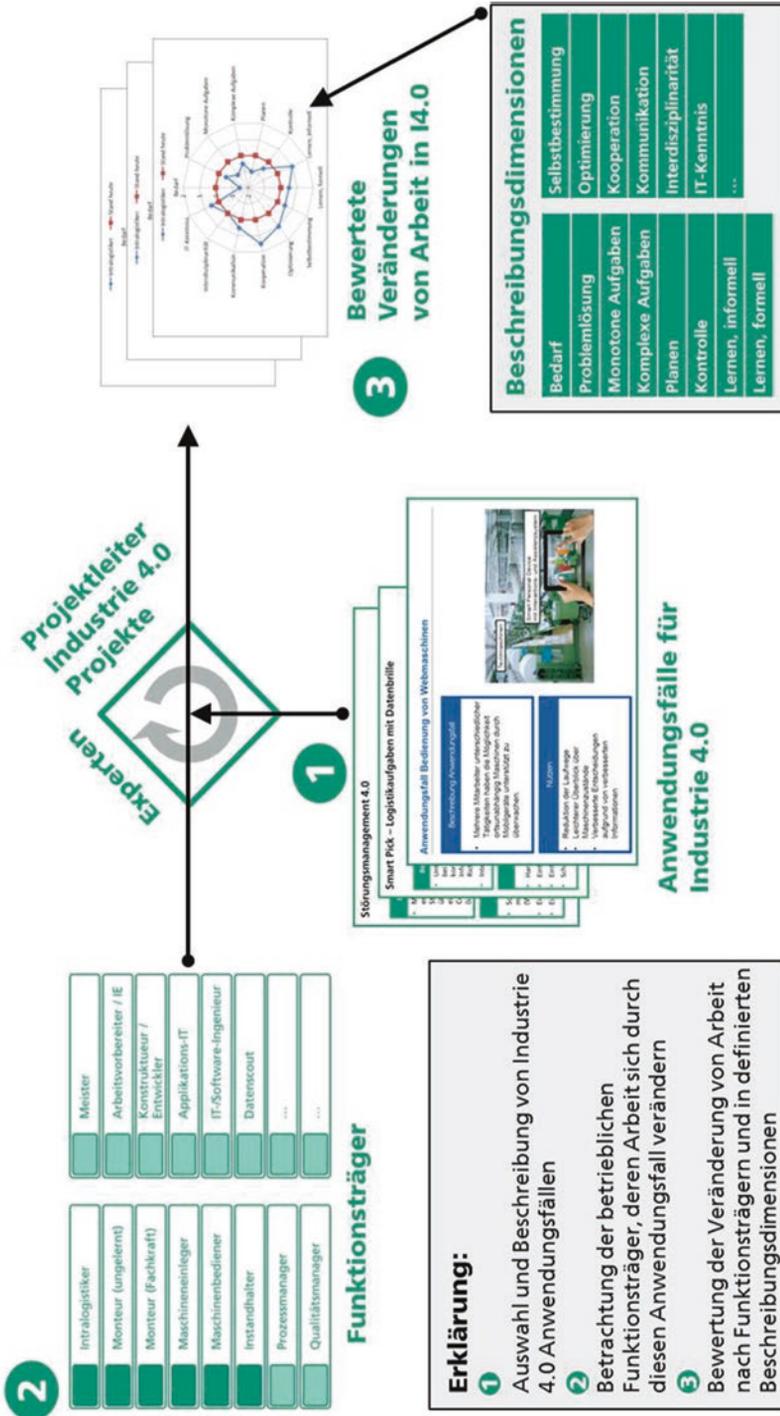
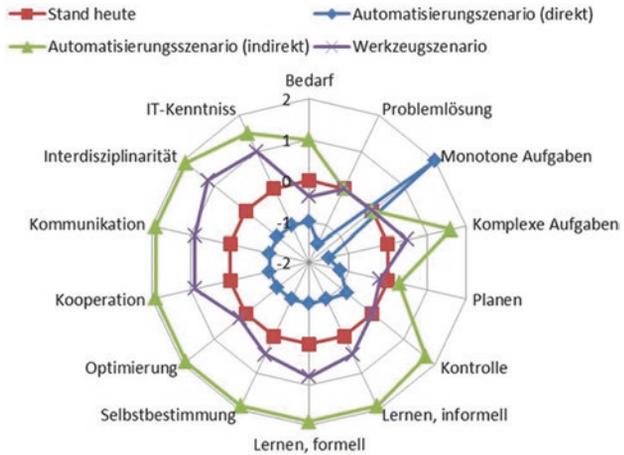


Abb. 11.3 Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“

Abb. 11.4 Automatisierungsszenario vs. Werkzeugszenario
Mögliches Arbeitsprofil für einen Monteur in unterschiedlichen Szenarien



beschrieben werden können. Über einzelne Umsetzungsprojekte hinaus lassen sich zusätzlich mögliche Entwicklungsrichtungen der Arbeitsgestaltung darstellen und als Referenz mit den Anwendungsergebnissen vergleichen. Beispielsweise lassen sich die beiden Grundscenarien der Automatisierung bzw. der Spezialisierung einordnen (Winkelband und Dworschak 2015) Abb. 11.4. Ersteres Szenario beschreibt eine Ausprägung der Arbeitsgestaltung, in der technische Systeme Mitarbeiter lenken und deren Arbeit durch die eingesetzte Technik bestimmt wird. In Folge einer eingeschränkten Autonomie der Mitarbeiter entsteht eine Kompetenzlücke, aufgrund der bspw. im Falle des Auftretens ungeplanter Ereignisse (Störungen u. Ä.) das benötigte Fachwissen nicht mehr direkt von den Mitarbeitern vor Ort eingebracht werden kann. Demgegenüber lenken im Spezialisierungsszenario (auch „Werkzeugszenario“) Fachkräfte die eingesetzten technischen Systeme und beherrschen die für den Arbeitsprozess notwendigen Kompetenzen ganzheitlich. Bezogen auf das vorgestellte Beschreibungsmodell zeigt die folgende Abbildung eine erste Einordnung der jeweiligen Ausprägungen der einzelnen Dimensionen für die beiden Szenarien auf der Grundlage bisheriger Erfahrungen mit Industrie-4.0-Umsetzungsprojekten der Autoren.

11.4 Weiterentwicklung und Ausblick

Der vorgestellte Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ stellt den ersten Schritt dar, ein möglichst praktikables Hilfsmittel zu schaffen, welches sich stark an der betrieblichen Realität in deutschen Unternehmen orientiert. Es bildet bottom-up die Veränderungen der Arbeitswelt ab, welche durch die zunehmende Automatisierung und Digitalisierung in Form konkreter Umsetzungsprojekte bzw. Anwendungsfälle ausgelöst werden. Der Modellansatz orientiert sich

an der erwarteten Veränderung der Tätigkeiten und Tätigkeitsausprägungen an Arbeitsplätzen betrieblicher Funktionsträger und beschreibt somit die Mikroebene der Arbeitsgestaltung. Er stellt damit eine Auswahl der Beschreibungsdimensionen bestehender Modelle von Arbeit dar sowie eine Ergänzung zu aggregierten Prognosen hinsichtlich der Zukunft von Arbeit und Beschäftigung. In einem ersten Schritt wurden für die Arbeit in der Produktion und in produktionsnahen Bereichen Veränderungsprofile aufgenommen, die momentan ausgewertet werden. Schon jetzt ist sichtbar, dass die Auswertung von aktuell bestehenden 22 Veränderungsprofilen plausible Rückschlüsse auf die erwartete Entwicklung der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ ziehen lassen. Vor allem erlaubt die arbeitsplatznahe Einschätzung der Auswirkungen technologiezentrierter Umsetzungen durch Fachexperten unterschiedlicher Fachdomänen, Unternehmens- und Mitarbeitervertreter eine Darstellung des Gestaltungsbereichs zwischen Extrempositionen der Erwartungshaltung. Für die Zukunft ist geplant, die methodische Basis eingeordneter Veränderungsprofile erheblich zu erweitern. Des Weiteren wird der Ansatz in folgende Richtungen weiterentwickelt:

- Klärung und Diskussion der Beschreibungsdimensionen in Abwägung der Vollständigkeit des Modells mit dessen praktikabler Anwendbarkeit
- Prüfung auf Plausibilität durch Vergleich der Ergebnisse gleicher betrieblicher Funktionsträger in unterschiedlichen Unternehmen und Umsetzungsprojekten
- Untersuchung der Veränderungsprofile im Vergleich der betrieblichen Funktionsträger mit dem Ziel der Identifikation von Mustern neuer Arbeitsprofile
- Aggregation der Ergebnisse zum Abgleich mit Beschreibungsmodellen der Arbeitsgestaltung auf Meso- und Makroebene
- Ableitung von Handlungsempfehlungen und Strukturierung des Diskurses „gewünschter“ Gestaltungsrichtungen für Unternehmen, Mitarbeiter und Gesellschaft im Spannungsfeld zwischen Automatisierungs- und Spezialisierungsszenario

Ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ bietet die Möglichkeit, Auswirkungen von Automatisierung und Digitalisierung auf Arbeitstätigkeiten, Arbeitsplätze und Arbeitsorganisation frühzeitig zu identifizieren und bereits bei der Implementierung erster Pilotumsetzungen praktikable Handlungsempfehlungen für eine leistungsförderliche und mitarbeitergerechte Gestaltung der Arbeit zu geben. Es erweitert bestehende Modellansätze der Meso- und Makro-Ebene, ergänzt bereits bestehende Erwartungshaltungen der zukünftigen Arbeitsgestaltung und bildet eine Grundlage für die zukunftsfeste Gestaltung der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ in Abwägung der Interessen der beteiligten Stakeholder.

11.5 Danksagung

Die Autoren danken dem Fachausschuss „Arbeitswelt Industrie 4.0“ des VDI für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeiten.

Literatur

- Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg. (2015). 100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg. http://www.i40-bw.de/100_places/awards/_Von-der-Zukunftsvision-zur-Realität.html. Zugegriffen: 23. Nov. 2015.
- Bauer, W., & Schlund, S. (2015). Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen: Planung und Engineering. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Berlin: Nomos.
- BITKOM/Fraunhofer IAO. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, Berlin.
- Bonin, H., Gregory, T., & Zierahn, U. (2015). Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland; ZEW-Kurzexpertise für das BMAS; Endbericht. <http://doku.iab.de/externe/2015/k150618r29.pdf>. Zugegriffen: 18. Nov. 2015.
- Bowles, J. (2015). Chart of the week: 54% of EU jobs at risk of computerisation; Blog Post Bruegel.org. <http://bruegel.org/2014/07/chart-of-the-week-54-of-eu-jobs-at-risk-of-computerisation/>, 24.07.2014; Zugegriffen: 18. Nov. 2015.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *Second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York: W. W. Norton & Company.
- DIN EN ISO 6385 – Entwurf. (2014). Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO/DIS 6385:2014).
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* Oxford: Oxford University Press.
- Hirsch-Kreinsen, H. (Hrsg.), Ittermann, P., & Niehaus, J. (2015). *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Berlin: Nomos.
- ING DIBA. (2015). Die Roboter kommen – Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt; Economic Research, 30. Apr. 2015. <https://www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf>. Zugegriffen: 18. Nov. 2015.
- Ingenics/Fraunhofer IAO. (2014). *Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung. Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden*. Ulm.
- Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. (2015). *Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft – Szenario-Rechnungen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, IAB-Forschungsbericht 8/2015*.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0., Stuttgart. <http://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-draft.pdf>. Zugegriffen: 18. Nov. 2015.
- Plattform Industrie 4.0. (2015) Landkarte Industrie 4.0. <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Karte/karte.html>. Zugegriffen 23. Nov. 2015.
- Spath, D. (Hrsg.), Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
- The Boston Consulting Group. (2015). *Man and machine in industry 4.0 – How will technology transform the industrial workforce through 2025?* München: Selbstverlag BCG.
- Windelband, L., & Dworschak, B. (2015). Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0 – Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Berlin: Nomos.

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.



Wenke Apt und Marc Bovenschulte

12.1 Einleitung

Die Arbeitswelt von morgen wird anders sein. Neben technischen Neuerungen wird der demografische Wandel ausschlaggebend für die zukünftige Arbeitsgestaltung sein. Insbesondere die alternde und schrumpfende Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter wird diesen Wandel verursachen. Rein quantitativ wird die menschliche Arbeitskraft als Produktionsfaktor zu einem knapperen Gut. Bereits heute sind viele Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen in peripheren Wirtschaftsregionen, von Fachkräftengpässen betroffen. Vor allem Berufe im Bereich Gesundheit und Soziales sowie Stellen mit ingenieurwissenschaftlichen bzw. technischem Hintergrund können nicht ausreichend besetzt werden (Bußmann und Seyda 2014). Dabei handelt es sich vor allem um Berufe mit einem geringen Substituierbarkeitspotenzial, die somit von schwer automatisierbaren und oft manuellen Tätigkeiten geprägt sind. Nach einer Studie arbeiten etwa 11,8 Millionen Personen bzw. 40 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Deutschland in Berufen mit einem niedrigen Substituierbarkeitspotenzial (Dengler und Matthes 2015). Entsprechend der Definition könnten in diesen Berufen nach heutiger Einschätzung maximal 30 % der Tätigkeiten mittels algorithmenbasierter Verfahren automatisiert werden. Demnach überwiegen die Tätigkeitsbestandteile, die (noch) nicht von Maschinen übernommen werden können. Selbst in hochtechnologisierten Branchen wird menschliche Arbeit weiterhin als wichtiger Bestandteil von Produktion und Wertschöpfung gesehen (Spath et al. 2013). Die konkreten Arbeitsmarkteffekte, Eintrittswahrscheinlichkeiten und

W. Apt (✉) · M. Bovenschulte

Institut für Innovation und Technik, Steinplatz 1, 10623 Berlin, Deutschland

e-mail: apt@iit-berlin.de; bovenschulte@iit-berlin.de

Zeithorizonte lassen sich derzeit nicht mit Gewissheit bestimmen; sie können auch nach Branche, Anwendungskontext und regionalem Bezug variieren. Mit Blick auf die unmittelbaren Auswirkungen des demografischen Wandels stehen die mittel- bis langfristigen Automatisierungspotenziale hier nicht im Vordergrund. Vielmehr werden die Technologie, und allen voran technische Assistenzsysteme, als Ergänzung für eine Arbeitsgesellschaft im demografischen Wandel gesehen. Im Fokus dieses Beitrags stehen deshalb die arbeitsmarktrelevanten Veränderungen in der erwerbsfähigen Bevölkerung sowie die Potenziale technischer Systeme als assistive Fähigkeitsverstärker älter und heterogener werdender Belegschaften.

12.2 Alterung und Schrumpfung der Erwerbsbevölkerung

Die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland wird langfristig auch weiterhin von Alterung und Schrumpfung geprägt sein. Nach der 13. Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes wird die Gesamtbevölkerung demnach von 81,3 Millionen im Jahr 2015 auf 73,1 Millionen im Jahr 2060 zurückgehen (Statistisches Bundesamt 2015). Insbesondere die Alterung der stark besetzten mittleren Jahrgänge führt dabei zu tief greifenden Veränderungen in der Altersstruktur. Die prozentualen Anteile der Altersgruppen verschieben sich (Tab. 12.1). Vor allem die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter entwickelt sich rückläufig, während der Anteil älterer Menschen überproportional zunimmt. Die zunehmende Zahl der Hochbetagten spielt dabei eine wichtige Rolle. Während im Jahr 2015 die Zahl der 80-Jährigen und Älteren bei 4,7 Millionen und ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung bei 6 % lag, wird ihre Zahl kontinuierlich steigen und im Jahr 2050 mit knapp 10 Millionen Personen und einem Bevölkerungsanteil von 13 % ihren Höhepunkt erreichen (Statistisches Bundesamt 2015). Das Medianalter gilt dabei als allgemeine Kennzahl, um die Bevölkerungsalterung zu beschreiben. Es teilt die Bevölkerung nach dem Alter in zwei gleich große Gruppen; die eine Hälfte ist jünger und die andere älter als das Medianalter. Ein steigendes Medianalter bedeutet demnach einen zunehmenden Anteil an älteren Menschen in der Bevölkerung. In Deutschland wird das Medianalter von gegenwärtig 45,6 Jahren auf etwa 49,7 Jahre im Jahr 2045 ansteigen und anschließend auf diesem hohen Niveau verbleiben (Tab. 12.1).

Die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter zwischen 20 und 64 Jahren ist bereits seit dem Jahr 2005 in Deutschland rückläufig (Statistisches Bundesamt 2015).¹ Im Jahr 2015 betrug die Bevölkerung im Erwerbsalter 49,1 Millionen Menschen und machte damit einen Anteil von 61 % an der Gesamtbevölkerung aus. Bis zum Jahr 2030 wird die Bevölkerung im Erwerbsalter auf 44,8 Millionen Personen und bis zum

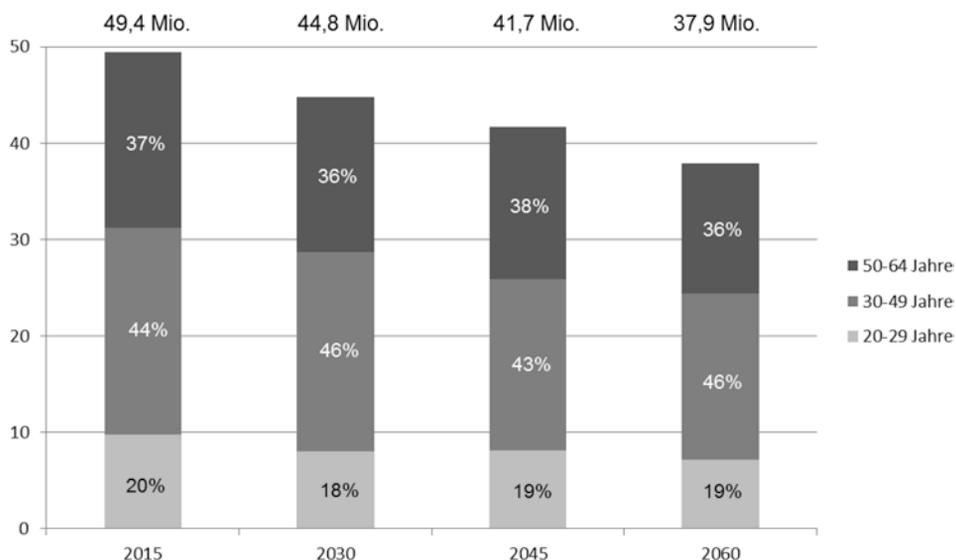
¹ Die altersmäßige Definition der erwerbsfähigen Bevölkerung variiert und reicht nach internationaler Benennung von 15 bis unter 75 Jahre. In Deutschland wird häufig eine Abgrenzung von 20 bis unter 60 Jahre bzw. von 20 bis unter 65 Jahre vorgenommen.

Tab. 12.1 Entwicklung der Gesamtbevölkerung und Altersgruppen in Deutschland. Nach Statistisches Bundesamt (2015), Variante 2 „Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung“, eigene Darstellung

	Gesamtbevölkerung (Mio.)	<20 Jahre (%)	20–64 Jahre (%)	65+ Jahre (%)	Medianalter (Jahre)
2015	81,3	18	61	21	45,6
2030	80,9	18	55	27	47,1
2045	77,6	16	54	30	49,7
2060	73,1	16	52	32	49,7

Jahr 2060 weiter auf 37,9 Millionen Personen bzw. einen Bevölkerungsanteil von 52 % zurückgehen (Abb. 12.1). Etwa die Hälfte der Bevölkerung befindet sich dann in einem potenziellen „Empfängeralter“, also unter 20 und über 65 Jahren, da die jüngere wie auch die ältere Bevölkerung Netto-Leistungen aus dem sozialen Sicherungssystem beziehen. Für beide Gruppen muss die mittlere, erwerbsfähige Altersgruppe im weitesten Sinne sorgen (Statistisches Bundesamt 2015, S. 7 und 24), ein Umstand, der im Zuge der Diskussion um die Zukunftsfestigkeit des umlagefinanzierten Rentensystems hinreichend bemüht wurde.

Auch innerhalb der erwerbsfähigen Bevölkerung verschiebt sich die Altersstruktur. In früheren Projektionen des Erwerbspersonenpotenzials zeigte sich deutlich, dass die

**Abb. 12.1** Entwicklung der Erwerbsbevölkerung nach Altersgruppen. Nach Statistisches Bundesamt (2015), Variante 2 „Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung“, eigene Berechnung und Darstellung

Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter nach 2020 deutlich schrumpft, dabei insbesondere die mittlere Altersgruppe der 30- bis 49-Jährigen zurückgeht und die erwerbsfähige Bevölkerung zu einem erheblichen Teil aus Menschen bestehen wird, die älter als 50 Jahre sind (Statistisches Bundesamt 2009). Die 13. Bevölkerungsberechnung des Statistischen Bundesamtes lässt die demografische Herausforderung für den deutschen Arbeitsmarkt jedoch weniger dramatisch erscheinen (Abb. 12.1). Annahmen über eine anhaltend hohen Nettozuwanderung führen zu einer mittelfristig fast ausgeglichenen Bevölkerungsbilanz (Deschermeier 2015).²

In der Vergangenheit ging das Statistische Bundesamt davon aus, dass sich der jährliche Wanderungssaldo auch zukünftig auf einem Niveau bewegen wird, das dem beobachteten langfristigen Durchschnitt entspricht und rechnete deshalb mit einer Nettozuwanderung von 100.000 und 200.000 Personen pro Jahr (Statistisches Bundesamt 2009). Allgemein gelten Zuzüge aus dem Ausland bei Bevölkerungsvorausberechnungen als kaum prognostizierbar und vorhandene Wanderungsszenarien deckten den Umfang der Asylzuwanderung nach Deutschland im Jahr 2015 nicht ab. Bei der Modellierung des erwarteten Bevölkerungszuzugs lag die Obergrenze bisher bei etwa 800.000 Menschen (Fuchs und Söhnlein 2013). Dieses Spektrum unterschiedlicher Annahmen zeigt das hohe Maß an Unsicherheit über die Eintrittswahrscheinlichkeit der Vorhersagen. Zudem bestehen Zweifel, ob sich das durch Flüchtlinge im erwerbsfähigen Alter hinzugewonnene Erwerbspersonenpotenzial tatsächlich in vergleichbarem Maße positiv auf die Erwerbsbevölkerung auswirkt. So nimmt etwa das Institut der deutschen Wirtschaft Köln in einer Prognose und auf Grundlage der existierenden Maßnahmen und Angebote an, dass lediglich 100.000 Flüchtlinge im Jahr 2016 und etwa 130.000 Flüchtlinge im Jahr 2017 einen Arbeitsplatz finden werden (Schäfer 2016).

Vor diesem Hintergrund bleibt die Weiterbeschäftigung älterer Personen in Unternehmen und die Steigerung der Erwerbsquoten im höheren Erwerbsalter weiterhin wichtig. Seit 2004 ist die Erwerbsbeteiligung älterer Personen bereits signifikant gestiegen (OECD 2015). Insbesondere der Anteil der Erwerbstätigen in der Altersgruppe von 60–64 Jahren hat in Deutschland – auch im internationalen Vergleich – stark zugenommen (Tab. 12.2). Wenn der Anteil älterer Beschäftigter in der Erwerbsbevölkerung zunimmt, dürfte auch die Bedeutung einer aktiven Unterstützung zunehmen, um nachlassende Fähigkeiten auszugleichen bzw. ihrem vorzeitigen Verlust vorzubeugen.

12.3 Kognitive Leistungsfähigkeit im Alter

Zahlreiche Studien zeigen, dass die Leistungswandlung älterer Beschäftigter grundsätzlich kein Hemmnis für die Arbeitsproduktivität und Innovationsfähigkeit darstellt (Dönitz

²Die in diesem Beitrag abgebildete Variante 2 „Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung“ unterstellt einen stufenweisen Rückgang des Wanderungssaldos auf 200.000 Personen bis zum Jahr 2021.

Tab. 12.2 Erwerbsbeteiligung älterer Personen, 2004–2014. Nach OECD (2015), eigene Darstellung

Erwerbstätigenquote	2004	2007	2014
55–64 Jahre (%-Anteil in Altersgruppe)	41,8	51,3	65,6
<i>davon 55–59 Jahre</i>	61,9	66,7	77,2
<i>davon 60–64 Jahre</i>	25,1	32,9	52,6
65–69 Jahre (%-Anteil in Altersgruppe)	5,1	7,1	13,9

2010). Lediglich etwa 10 % der Unterschiede in der Arbeitsleistung lassen sich allein durch das Lebensalter erklären. Der Einfluss des Alters auf die Produktivität ist demnach „sehr gering“ (Conrads et al. 2008). Auch sind Alterungsprozesse individuell verschieden. Altern ist nicht gleich Altern. Dies bezieht sich auf den Vergleich von Person zu Person wie auch auf einzelne Körperfunktionen. Demnach erscheint das kalendarische Alter immer weniger aussagekräftig, und die Menschen weisen gewissermaßen zwei Alter auf – das Alter gemäß ihres Geburtsjahrgangs und das Alter gemäß ihrer tatsächlichen Fähigkeiten, Verhaltensweisen und Lebensumstände: „Grob gesprochen ist ein heute 50-Jähriger so fit wie noch 1970 ein 40-Jähriger oder ein 65-Jähriger so gesund wie ein damals 55-Jähriger“ (Vaupel und Schwentker 2011).

Auch bleiben zahlreiche Einflussfaktoren auf kognitive Leistungen über den Lebensverlauf konstant und sind altersunabhängig, so beispielsweise die individuelle Motivation, Lernbereitschaft und Flexibilität (Conrads et al. 2008). Weiterhin verändern sich Gedächtnis, Intelligenz und kognitive Fähigkeiten im Laufe des Lebens höchst unterschiedlich. Das Gehirn ist dabei durch eine hohe Formbarkeit („Plastizität“) gekennzeichnet. Neben der „inter-individuellen Variabilität“ des Alterungsprozesses verändern sich innerhalb eines einzelnen Lebensverlaufs auch die einzelnen kognitiven Fähigkeiten in unterschiedlicher Weise. So haben Ältere im Durchschnitt weniger körperliche Kraft als Jüngere und einige kognitive Fähigkeiten nehmen mit dem Alter tendenziell ab. Die Präzision wie auch die Lern- und Konzentrationsfähigkeit lassen nach; Denk- und Reaktionsprozesse werden langsamer. Fähigkeiten wie schlussfolgerndes Denken, welche auf der Verknüpfung von Wissen und Erfahrung basieren, bleiben bis ins späte Lebensalter jedoch erhalten oder verbessern sich sogar noch (Korte 2012). Auch verfügen ältere Menschen oft über mehr Erfahrung und soziale Kompetenz.

Vielmehr als das Alter beeinflusst das Arbeitsumfeld die individuelle Leistungsfähigkeit. Untersuchungen haben ergeben, dass die Leistungsfähigkeit Älterer erheblich höher ist, wenn ihre Arbeitsplätze altersgerecht ausgestattet sind, die Arbeitsanforderungen und -inhalte ihre Stärken berücksichtigen und sie gemeinsam mit jüngeren Beschäftigten in altersgemischten Teams arbeiten (Göbel und Zwick 2010). Entsprechende Anpassungen des Arbeitsplatzes in Bezug auf Lichtverhältnisse oder Geräuschpegel erfordern beispielsweise wenig Aufwand und haben einen unmittelbar positiven Effekt auf die

Arbeitsproduktivität älterer Menschen. Einen ungleich höheren positiven Einfluss auf den Arbeitsprozess können technische Assistenzsysteme haben.

12.4 Technische Assistenzsysteme für ältere Belegschaften

Die Schaffung altersgerechter Arbeitsplätze und Arbeitsbedingungen bildet seit etwa Mitte der 1990er Jahre einen Schwerpunkt in der betrieblichen Praxis und der Arbeitsforschung. Während sich die Fragestellungen anfangs noch im Sinne des betrieblichen Gesundheitsmanagements auf arbeitsergonomische und arbeitsmedizinische Aspekte konzentrierten, rückten mit der Zeit auch die Potenziale technischer Systeme zum Erhalt von Arbeitskraft und der Verbesserung der Leistungsfähigkeit in den Fokus.

Zentrale Fähigkeiten von technischen Assistenzsystemen auf dem aktuellen Stand der Technik sind die Umgebungswahrnehmung, reaktives Verhalten, Aufmerksamkeitssteuerung und Situationsinterpretation. Ziel ist die Schaffung von Synergieeffekten durch die optimale Kombination automatisierter Systeme mit der Flexibilität und der Adaptions- und Reaktionsfähigkeit der Beschäftigten. Um dies zu gewährleisten, müssen die technischen Systeme:

- arbeitsprozessrelevante kognitive und/oder physische Fähigkeiten unterstützen und dabei insbesondere auf die Diversity-Dimensionen Alter, Geschlecht, Bildungsstand und kulturelle Zugehörigkeit in der Belegschaft eingehen
- Arbeitsprozesse in einer Weise assistierend unterstützen, dass durch die Interaktion von Mensch und Technik ein deutlicher Mehrwert entsteht
- die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer nicht entmündigen, sondern in ihrer Selbstbestimmung fördern
- zu einem erfüllenden Arbeitsumfeld beitragen, das sich begünstigend auf den langfristigen Erhalt der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit sowie auf die Arbeitsmotivation und die Arbeitszufriedenheit auswirkt³

Digital unterstützende, individualisierte Tutorensysteme ermöglichen in der Zukunft nicht nur eine schnellere Einarbeitung in neue Arbeitsabläufe, sie können auch zu einer stärkeren Inklusion und Partizipation an der Arbeitswelt beitragen. Ältere und leistungsgeminderte Beschäftigte können mit derartigen Systemen abgestimmt auf ihr jeweiliges Leistungsvermögen im Arbeitsprozess unterstützt und in die Lage versetzt werden, Arbeiten zu verrichten, die sie vorher gar nicht oder nur unter Schwierigkeiten übernehmen konnten. Gleichzeitig können die Systeme als informelle Weiterbildungswerkzeuge genutzt werden und damit das Lernen im Prozess der Arbeit zu einem festen Bestandteil der alltäglichen

³ In ähnlicher Weise wurden diese Bedingungen in der Förderbekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben – Assistierte Arbeitsplätze im demografischen Wandel“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom 09.05.2012 formuliert.

Tätigkeit einer breiten Arbeiterschicht werden lassen. Damit lässt sich die zukünftig notwendige Flexibilität und Fluidität hinsichtlich der individuellen Kompetenzprofile sehr viel effizienter erfüllen als mit den heute geläufigen formellen Weiterbildungsmaßnahmen.

Noch ohne über die entsprechenden technischen Möglichkeiten zu verfügen, formulierten Hartley und Sleeman (1973) die grundlegende Funktionsweise eines technischen Systems zur Unterstützung des individuellen Lernens mitsamt seinen dafür notwendigen Komponenten:

- Wissen über eine Wissensdomäne
- Wissen über die Lernenden und deren (Vor-)Wissen
- Wissen über Strategien und Wege der Wissensvermittlung

Die Besonderheit eines solchen Systems liegt in der individuellen Anpassung an Wissensstand, Lernanforderungen und Lernfortschritt. Mit der Beantwortung der Fragen „Welches Wissen soll vermittelt, gelernt und angewendet werden?“ und „Auf welches Wissen kann aufgebaut werden?“ ergibt sich eine individuelle Strategie der Wissensvermittlung: „Wie kann das Wissen vermittelt, gelernt, angewendet werden?“ Dabei adressieren intelligente Tutorensysteme auf dem aktuellen Stand der Technik im Besonderen die Diversity-Dimensionen Alter, Geschlecht, Bildungsstand und kulturelle Zugehörigkeit und können damit individuelle Unterschiede hinsichtlich Fähigkeiten, Kompetenzen und Erfahrungen in heterogenen Belegschaften ausgleichen.

Mit dem digitalen Strukturwandel hat sich die Arbeitswelt in den letzten Jahren grundlegend gewandelt. Neben hoch standardisierten Prozessabläufen wird zunehmend eine erhöhte Flexibilität hinsichtlich der Arbeitstätigkeiten und -inhalte erwartet. Insbesondere müssen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter heute verstärkt kompetent in elektronischen und datentechnischen Fragen sein, die zusätzlich einem ständigen und sich beschleunigenden Wandel unterliegen. Mit gelegentlichen Weiterbildungsseminaren ist dies nicht zu realisieren. Durch diese zunehmende Flexibilisierung von Arbeitsanforderungen und -abläufen ergeben sich neue Herausforderungen und Möglichkeiten für das Prozessmanagement. Es werden neue Wissensmanagement-Systeme benötigt, die Änderungen in den Prozessabläufen dynamisch erfassen, abbilden und auswerten können (Hartmann 2015).

Die IT-Unterstützung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern während ihrer Tätigkeit ist seit langem üblich. Assistenzsysteme zeigen bedarfsgerecht Informationen an, etwa eine Montageanleitung, oder sie kontrollieren das Arbeitsergebnis, z. B. eine Schweißnaht. Derzeit zielen die Entwicklungen jedoch in der Regel vor allem auf die Verbesserung der Benutzerschnittstelle. Während der eigentlichen Ausführung der Arbeitshandlung erhalten die Beschäftigten gegenwärtig kaum Unterstützung: Ist die Reihenfolge der Teilschritte richtig? Wurde eine Bewegung falsch ausgeführt? In diesem Punkt unterscheiden sich prozessorientierte Tutorensysteme von „einfachen“, IT-basierten Assistenzsystemen, indem sie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter während einer Tätigkeit beobachten und Probleme oder Fehler direkt erkennen und eine wissensbasierte Unterstützung, aber keine technische Überkompensation von Wissens- oder Fähigkeitsdefiziten anbieten.

Intelligente Tutorensysteme sind in der Lage, Nutzer- bzw. Fähigkeitsprofile zu erstellen und sich in ihrer Unterstützungsleistung an die Bedürfnisse und konkreten Unterstützungswünsche der Nutzenden anzupassen. In diese Unterstützung können Lernsequenzen unterschiedlichen Umfangs und unterschiedlicher Komplexität eingebettet werden; die Übergänge zwischen Unterstützung und Lernen sind dabei fließend. Als Konsequenz daraus verschwimmen auch zunehmend die Grenzen zwischen Arbeiten und Lernen bzw. zwischen produktiver Arbeit und Weiterbildung („prozessimmanente Weiterbildung“). Dies hat weitere Auswirkungen, auch in den Bereichen der Organisation und Führung, weil immer weniger offensichtlich ist, was Weiterbildung substantziell ist, wo sie beginnt und aufhört und wer darüber entscheidet, ob und wie Weiterbildung stattfinden soll.

Bei der Entwicklung von technischen Assistenz- und Tutorensystemen spielen neben technischen Herausforderungen auch arbeits- und motivationspsychologische Aspekte eine entscheidende Rolle. Es darf weder eine Unter- noch eine Überforderung der Beschäftigten erfolgen. Individuelle Stärken und Schwächen müssen während der Tätigkeit über eine Analyse der Bewegungen und Emotionen erkannt werden und die Hinweise eines Tutorensystems sollten sich daran ausrichten. Einerseits soll es keine Bevormundung durch zu viele Meldungen geben, andererseits sollen unnötige Fehler vermieden werden. Hierbei können etablierte Modelle der Arbeitspsychologie die Grundlage für die Entwicklung bilden. Ganz zentral für die Akzeptanz zukünftiger Systeme ist die hinreichende Berücksichtigung und Bewahrung des Datenschutzes, der persönlichen Autonomie und der Privatheit am Arbeitsplatz.

12.5 Beispiele für Assistenz- und Tutorensysteme in der Arbeitswelt

Aktuelle Anwendungsbeispiele finden sich im Technologieprogramm „Autonomik für Industrie 4.0“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), in dem zuletzt moderne Informations- und Kommunikationstechnologien mit der industriellen Produktion verzahnt werden. Die Vision ist, dass softwarebasierte Assistenzsysteme mittels sensorischer Erfassung des Kontextes und des spezifischen Wissensstandes von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern den jeweils angemessenen Unterstützungsbedarf leisten. Auf diese Weise könnten Unterstützungen und Lernprozesse für unterschiedlichste Aufgaben und Anforderungen automatisch erfolgen, etwa die Inbetriebnahme, der Betrieb, die Wartung, Reparatur und vorbeugende Instandhaltung von Maschinen und Anlagen. Beispielsweise entwickelte das Forschungsprojekt APPSist ein multimediales Assistenzsystem, das den Werker bei der Bedienung cyber-physikalischer Produktionssysteme und dem internen Wissensaustausch unterstützt. Dafür griffen die Forscherinnen und Forscher auf Methoden der künstlichen Intelligenz, der virtuellen Realität, des Wissensmanagements und der „Gamification“ (also spielerische Elemente und Anreize) zurück (BMWi 2015a). In ähnlicher Weise verfolgte das Autonomik-Projekt motionEAP eine kontextbewusste und prozessintegrierte Assistenz in Produktionsprozessen. Mittels Kamera und Abstandssensor wurden Arbeitsschritte der Werker erfasst und ausgewertet.

Bei Montagefehlern, unergonomischen Körper- und Handhaltungen oder anderweitigen Abweichungen projiziert das System einen entsprechenden Hinweis in das Sichtfeld des Werkers (BMWi 2015b).

Unterdessen wurde in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt PLuTO das Ziel verfolgt, das Erfahrungswissen älterer Beschäftigter im Reparaturbetrieb eines Verkehrsträgers zu sichern und das technische Wissen neuer bzw. jüngerer Beschäftigter in altersgemischten Technik-Teams und mittels mobiler Assistenten am Arbeitsort aufzunehmen und aktuell zu halten. Mithilfe multimedialer Wissensaufnahme und multimodalem Zugriff über Sprache oder Gesten steht das jeweils erforderliche Wissen am Arbeitseinsatz situationsangepasst und personalisierbar zur Verfügung. Der Wissenstransfer zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wird über eine Wissensdatenbank organisiert. Damit integriert das Projekt bisher getrennte Ansätze wie E-Learning, mobiles Lernen, Wissensmanagement und Wissens-kollaboration (BMBF 2015f).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgte das ebenfalls vom BMBF geförderte Forschungsprojekt knowledge@all, das die Entwicklung eines Lehr- und Lernsystems für den generationenübergreifenden Wissensaustausch in der Logistik anstrebt. Zentral dabei ist die Erfassung, Aufbereitung und Weitergabe von unterschiedlichem Fach- und Erfahrungswissen im Unternehmen mithilfe eines generationenübergreifenden Kooperations-, Lehr- und Lernsystems. Die Abspeicherung des Mitarbeiterwissens erfolgt in einer Datenbank. Die Wissensabfrage über Datenbrillen soll direkt im Arbeitsprozess ermöglicht werden. Begleitend wurde ein Schulungskonzept entwickelt (BMBF 2015d). Im Fokus des BMBF-Förderprojektes KANTATE standen kognitive Assistenztechnologien für ältere Beschäftigte an Telearbeitsplätzen mit dem Ziel von Verbesserungen im Sprachverstehen und Hörkomfort durch eine persönlich anpassbare Hörunterstützung. Zu diesem Zweck soll eine kontinuierliche Sprach- und Inhaltserkennung während eines Kundengesprächs erfolgen, um automatisch Informationen aus den bestehenden Wissensdatenbanken bereitzustellen (BMBF 2015c). Auch das Forschungsprojekt ALUBAR verfolgte die Entwicklung eines adaptiven Schulungs- und Unterstützungssystems für ältere Mitarbeiter, in diesem Fall basierend auf Sensorik, moderner Kommunikationstechnologie und zielgruppengerechter Visualisierung. Ziel war die Unterstützung der Beschäftigten bei der Erfassung neuer Inhalte durch Belastungsmessung und Darstellung der Inhalte auf zielgruppenangepassten Visualisierungssystemen, z. B. auf Basis von Tablet-PCs oder Augmented-Reality-Brillen. Ältere Wissensträger sollen dadurch gefördert und an ein Unternehmen gebunden werden (BMBF 2015b).

Mit Blick auf die physische Unterstützung älterer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zielte das BMBF-Projekt ORTAS auf die Entwicklung eines neuartigen tragbaren Systems (Orthese), das aus körpernahen Textil- oder leichtgewichtigen Hartschalen-Komponenten besteht und den Werker physisch unterstützt. Durch eine integrierte Sensorik werden gleichzeitig Bewegungen und Belastungen erfasst und analysiert, um dem Träger durch taktiles Feedback bei der Einhaltung einer ergonomisch günstigen Körperposition zu helfen. Der Anwendungsfokus liegt auf kritischen Belastungen des

Hand-Arm-Schulter-Nacken-Komplexes und des Rumpf-Rücken-Bereiches (BMBF 2015e). In ähnlicher Weise wurde in dem Forschungsprojekt „3. Arm“ ein Assistenzsystem zur Unterstützung bei Arbeiten mit schweren Werkzeugen entwickelt. Ziel ist die Lastenreduktion bei hohen physischen Anforderungen, etwa bei der Positionierung von Bauteilen, wie auch die körpergerechte Arbeitsgestaltung und Verbesserung der Arbeitssicherheit. Grundlage ist dabei eine mechatronische Konstruktion, die am Körper des Nutzers über eine an- und ablegbare Tragekonstruktion befestigt ist. Anwendungsbereiche sind die Montage sowie Bau und Handwerk, wo die Arbeitsabläufe vielen Freiheitsgraden unterliegen, daher wenig standardisiert sind und technische Assistenzsysteme bisher kaum verbreitet sind (BMBF 2015a). Gerade mit Blick auf die Assistenz physischer Fähigkeiten und die Vermeidung körperlicher Belastungen, etwa beim Heben und Tragen von schweren Lasten, wird mit Blick auf altersgerechte Arbeitsplätze ein Beitrag zur Humanisierung der Arbeit geleistet, da derartige Systeme auch stets einen präventiven Anteil haben.

Mit der „Smart Service Welt“ hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Jahr 2014 einen Wettbewerb initiiert, in dem aufbauend auf dem Internet der Dinge und Cyber-Physischen Systemen datenbasierte Services entwickelt und angewendet werden sollen: „Entwicklungsarbeiten zur Intelligenz in SMART SERVICE WELTEN [Hervorhebungen im Original] zielen darauf ab, leistungsfähige Problemlösungsverfahren zu schaffen und einzusetzen, durch die Services sich besonders gut an die Nutzer, die Anwendungssituation oder das jeweilige Endgerät oder die IT-Umgebung anpassen. Grundlage für intelligente Dienste sind u. a. leistungsfähige Sensoren, Verfahren der Datenanalyse und semantische Technologien“ (BMWi 2014).

Im Sommer 2015 wurden insgesamt 16 Projekte für die Förderung mit insgesamt bis zu 50 Millionen Euro ausgewählt; diese untergliedern sich in die Anwendungsfelder Produktion, Mobilität, gutes Leben und Querschnittstechnologien. Auch wenn es bei den Projekten nicht in erster Linie um Inklusion und Erhöhung der Arbeitspartizipation geht, sondern vielmehr ganz allgemein um Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und datenbasierte Mehrwerte, dürfte mit Blick auf die Produktion insbesondere das zu entwickelnde Glass@Service für eine befähigende Arbeitsunterstützung infrage kommen. Es handelt sich um die interaktive personalisierte Visualisierung in Industrieprozessen am Beispiel der Digitalen Fabrik in der Elektronikfertigung (BMWi 21. Juli 2015).

12.6 Inklusion von Menschen mit Behinderungen

In Deutschland leben rund 9,6 Millionen Menschen mit Behinderung; das sind über 10 % der deutschen Wohnbevölkerung. Etwa 7,1 Millionen Menschen haben eine Schwerbehinderung, also einen anerkannten Grad der Behinderung von 50 % und mehr gemäß § 2 SGB IX. Ein großer Teil der Behinderungen wird erst im Lebensverlauf erworben, weshalb gut Dreiviertel der Menschen mit einer Behinderung 55 Jahre und älter sind. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung der Teilhabe am Erwerbsleben von Menschen mit Behinderungen wird vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)

in der „Initiative Inklusion“ zusammengefasst. Mit insgesamt 100 Millionen Euro werden insbesondere vier Schwerpunkte adressiert:

- Berufsorientierung schwerbehinderter Schülerinnen und Schüler
- betriebliche Ausbildung schwerbehinderter Jugendlicher in anerkannten Ausbildungsberufen
- Arbeitsplätze für ältere (über 50-Jährige) arbeitslose oder arbeitsuchende schwerbehinderte Menschen
- Implementierung von Inklusionskompetenz bei Kammern (BMAS 2015)

Möglichkeiten der Digitalisierung als Mittel der Arbeitspartizipation und Inklusion werden in diesem Kontext nicht erwähnt. So stellt auch der Evaluationsbericht zum Fortschritt der Umsetzung des nationalen Aktionsplans fest: „Im Themenfeld ‚berufliche Rehabilitation‘ lassen sich keine Maßnahmen zur Förderung der Aus- und Fortbildung für Fachkräfte und Mitarbeiter bzw. Mitarbeiterinnen in Rehabilitations- und Rehabilitationsdiensten (Artikel 26, Abs. 2) oder zur Förderung der Verfügbarkeit, Kenntnis und Verwendung unterstützender Geräte und Technologien für Zwecke der Habilitation und Rehabilitation (Artikel 26, Abs. 3) zuordnen“ (BMAS 2011).

Auch über den nationalen Aktionsplan hinaus gibt es vergleichsweise wenige Vorhaben (ausgenommen sind hier technische Hilfsmittel zur Bedienbarkeit von bestimmten technischen Geräten wie etwa der PC und sonstige digitale Medien), die auf innovativen Technologien und der Digitalisierung beruhende Arbeitssysteme entwickeln und spezifisch die Inklusion adressieren. Zwar existieren technische Hilfen, die Barrierefreiheit und Jobintegration zum Ziel haben, doch nach einer Recherche in der REHADAT-Datenbank zur beruflichen Teilhabe und sozialen Inklusion behinderter Menschen konzentrieren sich derartige Vorhaben erkennbar auf die Unterstützung blinder und gehörloser Menschen. So verfolgt beispielsweise das vom BMAS geförderte Forschungsprojekt Work-by-Inclusion die Inklusion von Menschen mit einer Hörbehinderung in den Arbeitsprozess durch Bereitstellung moderner Arbeitshilfen“ (REHADAT 2015).

Angesichts der steigenden Leistungsfähigkeit technischer Systeme und des erhöhten Bewusstseins von behinderten Menschen als Beschäftigte – insbesondere vor dem Hintergrund, dass der Großteil der Behinderungen im Leben erworben wird – ist zu erwarten, dass die technischen Potenziale für eine Inklusion und Arbeitspartizipation behinderter Menschen stärker genutzt werden.

12.7 Inklusion von Menschen mit Migrationshintergrund

Vor dem Eindruck der zuletzt hohen Asylzuwanderung nach Deutschland stellt sich auch für die digitalisierte Arbeitswelt die Frage, welchen Beitrag sie leisten kann, um die individuellen Kompetenzen und Qualifikationen von Flüchtlingen zu erfassen, zu entwickeln und zu nutzen und diesen einen Zugang zur Erwerbsarbeit zu ermöglichen. Nachdem unter

dem Eindruck des demografischen Wandels und der Alterung der Erwerbsbevölkerung schon frühzeitig ein Augenmerk auf „Diversity“ angesichts (alters-)heterogener Belegschaften gelegt wurde (siehe beispielsweise die vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales geförderte „Initiative Neue Qualität der Arbeit – INQA“), müssen Gesellschaft und Wirtschaft nun Formen des Umgangs mit einer sich zumindest in den Ballungszentren bildenden „Super-Diversity“ (Crul et al. 2013) finden, in der kulturelle Hegemonien verwischen und keine eindeutige „Leitkultur“ identifizierbar ist. Dabei bietet die Reibungsfläche der Kulturen gleichermaßen Potenzial für Konflikte wie auch für Kreativität und Innovationen. Wissenschaftliche Studien legen nahe, dass die Unterschiede in Wissen und Kompetenzen von Arbeitskräften mit unterschiedlichen kulturellen Hintergründen die Leistungsfähigkeit regionaler Forschung und Entwicklung erhöhen, insbesondere auch die Gründungstätigkeit von Technologiefirmen: Je höher das Bildungsniveau der einzelnen Gruppen war, desto größer ist dieser Effekt (Audretsch et al. 2010). Zudem wurde nachgewiesen, dass kulturelle Vielfalt einen signifikant positiven Effekt auf die Patentintensität hat. Regionen in Deutschland, in denen die Erwerbsbevölkerung vielfältige kulturelle Hintergründe aufweist, sind demnach erfolgreicher bei der Entwicklung neuer Produkte als Gebiete mit vergleichsweise homogenen Beschäftigten. Den stärksten Einfluss auf das Innovationsergebnis hatte der Anteil der Hochqualifizierten (Niebuhr 2007). In Übereinstimmung mit weiteren Untersuchungen tragen unterschiedliche kulturelle Erfahrungs- und Wissenshintergründe maßgeblich zu Innovationen bei; es kommt aber darauf an, diese Kombination und Rekombination von Unterschieden zu initiieren, zu unterstützen und gegebenenfalls zu strukturieren.

Auch mit Blick auf eine allgemeine Erleichterung der Arbeitsmarktintegration von Menschen mit Migrationshintergrund gibt es bisher kaum Lösungen, die auf das Potenzial assistiver digitaler Systeme setzen. Zwar existieren vereinzelte Ansätze zur Unterstützung des Spracherwerbs wie etwa das vom BMBF geförderte Projekt noALIEN, das die Potenziale automatisierter Systeme für effiziente Sprachtrainings untersuchte. Umfassende assistive Systeme, die eine aktive und begleitende Eingliederung von Menschen mit Migrationshintergrund in das Erwerbsleben unterstützen – zum Beispiel bei der individuellen Kompetenzerfassung oder reale Arbeitsprozesse begleitende Mentoring-Systeme – sind selten. Exemplarisch beschäftigte sich das Forschungsprojekt DINTA damit, wie die berufliche Integration von Menschen mit Migrationshintergrund (in diesem Fall: europäische Fachkräfte) durch technische Assistenz unterstützt werden kann: „Ziel des Projekts ist die Erschließung des Forschungsfeldes Mensch-Technik-Interaktion im Bereich berufliche Integration ausländischer Fachkräfte. Dazu soll ein Modell [...] in Form eines digitalen Integrationsassistenten entwickelt werden, der individualisierte Information, Beratung, Lernangebote, Mentoring enthält, auf mehreren technischen Plattformen nutzbar ist und den gesamten Prozess der Integration [...] begleitet. Die wissenschaftliche Herausforderung dabei ist die Entwicklung einer interkulturell funktionierenden Usability“ (Minor 2014).

12.8 Ausblick: Der Wettlauf zwischen demografischem und digitalem Wandel

Der demografische Wandel in Deutschland wird gegenwärtig von Veränderungen in der Altersstruktur und der Bevölkerungszusammensetzung nach Herkunft und Geschlecht bestimmt. Angesichts der fortschreitenden Alterung der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter und der ungeklärten Beschäftigungsperspektiven von Flüchtlingen wird deutlich, dass auch in Zukunft sorgsam mit dem Gut „Arbeitskraft“ umgegangen werden muss. Zwar erscheint ein „Herausforderungszeitraum“ von rund 15 Jahren sehr kurz, um die aufwendige Entwicklung von leistungsfähigen Assistenz- und Tutorensystemen zu rechtfertigen, doch hinter dem vermeintlichen Wettlauf zwischen demografischem und digitalem Wandel verbirgt sich eine zentrale und die Zukunftsfähigkeit Deutschlands maßgeblich bestimmende Frage: Wie kann langfristig die Innovationsfähigkeit in Deutschland gesichert werden? Eine wichtige Komponente sowohl für die Arbeitszufriedenheit als auch für die Innovationsfähigkeit ist die Aufgabenkomplexität. Diese Aufgabenkomplexität ist in Deutschland im europäischen Vergleich überdurchschnittlich ausgeprägt und ein wesentlicher „Erfolgsfaktor“ der Wettbewerbsfähigkeit der hiesigen Industrie.

Angesichts des gegenwärtigen Entwicklungsstandes technischer Assistenz- und Tutorensysteme in der Arbeitswelt ist zu erwarten, dass erst in 10 bis 15 Jahren ausgereifte Systeme weitgehend flächendeckend verfügbar sind und eingesetzt werden. Somit kann der Zeitraum bis etwa zum Jahr 2030 dazu genutzt werden, – parallel zum Rückgang der Erwerbsbevölkerung und der wahrscheinlichen Integration von Zuwanderern in den Arbeitsmarkt – Systeme zur technischen Unterstützung zu entwickeln, die das Ziel einer befähigenden Digitalisierung anstelle einer substituierenden Automatisierung haben. Mit diesem Entwicklungsparadigma wird es prinzipiell möglich sein, die Aufgabenkomplexität zu erhalten, sodass im demografischen Wandel auch die Innovationsfähigkeit gesichert werden kann. Kommt es dann zu einem deutlichen Abflachen der demografischen Entwicklung, hat sich das „befähigende Paradigma“ bereits fest als Teil der Arbeitsorganisation etabliert. Der demografische Wandel macht es also erforderlich, bei der Gestaltung der digitalen Arbeitswelt eine bewusste Entscheidung zugunsten des Menschen und seiner individuellen Fähigkeiten zu treffen.

Literatur

- Audretsch, D., Dohse, D., & Niebuhr, A. (2010). Cultural diversity and entrepreneurship: A regional analysis for Germany. *Annals of Regional Science*, 45(1), 55–85.
- BMAS. (2011). *Unser Weg in eine inklusive Gesellschaft. Der Nationale Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention*. Berlin: Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- BMAS. (2015). *Initiative Inklusion. Maßnahmen zur Förderung der Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt. Informationsblatt*. Bonn: Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Zugegriffen: 30. Nov. 2015.
- BMBF. (2015a). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt 3. Arm – Handwerker-Kraftassistenzsystem mit adaptiver Mensch-Technik-Interaktion. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben/3-arm>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.

- BMBF. (2015b). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt ALUBAR – Adaptive Lern- und Unterstützungssystem basierend auf Augmented Reality. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMBF. (2015c). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt KANTATE – Kognitive Assistenz-Technologie für ältere Arbeitnehmer an Telearbeitsplätzen. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMBF. (2015d). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt knowledge@all – Kognitionsunterstützendes Lehr-Lern-System für den generationen-übergreifenden Wissensaustausch in der Logistik. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMBF. (2015e). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt ORTAS – Orthetisch-bionisches Assistenzsystem. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMBF. (2015f). Bekanntmachung „Mit 60+ mitten im Arbeitsleben“: Projekt PLuTO – Portable Lern- und Wissensplattform zum Transfer episodischen Wissens in Organisationen. <http://www.mtidw.de/ueberblick-bekanntmachungen/mit-60-mitten-im-arbeitsleben>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMWi. (2014). Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Ein Technologie-wettbewerb des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin.
- BMWi. (21. Juli 2015). „Smart Service Welt“ – Gewinner des Technologie-wettbewerbs stehen fest. Berlin. <http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=720380.html>. Zugegriffen: 16. Jan. 2016.
- BMWi. (2015a). Autonomik für Industrie 4.0: Projekt APPSist – Mobile Assistenzsysteme und Internetdienste in der intelligenten Produktion. <http://www.autonomik4.de/APPSist.php> Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- BMWi. (2015b): Autonomik für Industrie 4.0: Projekt motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen. <http://www.autonomik4.de/motionEAP.php>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015.
- Bußmann, S., & Seyda, S. (2014). Fachkräfteengpässe in Unternehmen: Die Altersstruktur in Engpassberufen. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. Köln.
- Conrads, R., Kistler, E., & Staudinger, T. (2008). Alternde Belegschaften und Innovationskraft der Wirtschaft. In Aus Politik und Zeitgeschichte, 2008 (18–19, „Ältere: Gesellschaftliches Potential!“). <http://www.bpb.de/apuz/31270/alternde-belegschaften-und-innovationskraft-der-wirtschaft>. Zugegriffen: 16. Jan. 2016.
- Crul, M., Schneider, J., & Lelie, F. (2013). Super-diversity – A new perspective on integration. Amsterdam: VU University Press. http://www.academia.edu/5338109/Super-diversity_A_new_perspective_on_integration.
- Dengler, K., & Matthes, B. (2015). Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB). Nürnberg (IAB-Forschungsbericht 11/2015).
- Deschermeier, P. (2015). Die Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis 2030 – ein Methodenvergleich. Institut der deutschen Wirtschaft Köln. Köln (IW-Trends, 42. Jg. Nr. 2).
- Dönitz, E. J. (2010). Bestandsaufnahme demografiebezogener Innovationsindikatoren zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Demografie und Innovationen. Arbeitspapier im Rahmen des Strategieprojektes „Demografie und Innovation“. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- Fuchs, J., & Söhnlein, D. (2013). Projektion der Erwerbsbevölkerung bis zum Jahr 2060. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB) (IAB Forschungsbericht, 10/2013). <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2013/fb1013.pdf>. Zugegriffen: 10. Jan. 2016.
- Göbel, C., & Zwick, T. (2010). Which personnel measures are effective in increasing productivity of old workers? Mannheim (ZEW Discussion Paper, 10-069). <http://www.zew.de/de/publikationen/5936>. Zugegriffen: 16. Jan. 2016.

- Hartley, J. R., & Sleeman, D. H. (1973). Towards more intelligent teaching systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 5(2), 215–236.
- Hartmann, E. (2015). Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 9–20). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Korte, M. (2012). *Jung im Kopf: Erstaunliche Einsichten der Gehirnforschung in das Älterwerden* (5. Aufl.). München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Minor. (2014). DINTA. Projektkontor für Bildung und Forschung e. V. Berlin. <http://www.minor-kontor.de/forschung/dinta>. Zugegriffen: 28. Okt. 2015.
- Niebuhr, A. (2007). Migrationseffekte: Zuzug Hochqualifizierter stärkt Innovationskraft der Regionen. Kulturelle Vielfalt in der Erwerbsbevölkerung wirkt positiv auf die Zahl der Patentanmeldungen. In IAB Kurzbericht (12).
- OECD. (2015). Online OECD Employment database. Older workers scoreboard, 2004, 2007 and 2014, Australia, EU and OECD. <http://www.oecd.org/els/emp/OW2014.xlsx>. Zugegriffen: 14. Jan. 2016.
- REHADAT. (2015). 3. Work by Inclusion – Entwicklung von visuellen Arbeitsmitteln für in Lagerprozessen tätige Gehörlose. Institut der deutschen Wirtschaft Köln. http://www.rehadat-forschung.de/de/arbeitsleben/arbeitsgestaltung/index.html?infobox=/index.html&serviceCounter=1&wsdb=FOR&connectdb=forschung_detail&referenznr=R/FO125607&from=1&anzahl=41&detailCounter=2&suche=index.html?ob=%22Arbeitsleben%22&ub=Arbeitsgestaltung*. Zugegriffen: 30. Nov. 2015.
- Schäfer, H. (2016). Asylbewerber: Übertriebene Erwartungen? (iwd – Nr. 2). <http://www.iwkoeln.de/infodienste/iwd/archiv/beitrag/asylbewerber-uebertriebene-erwartungen-258335>. Zugegriffen: 14. Jan. 2016.
- Spath, D., Ganschar, O., & Gerlach, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Statistisches Bundesamt. (2009). Bevölkerung Deutschlands bis 2050 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 18. Nov. 2009 in Berlin. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt. (2015). Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, Zugegriffen: 07. Jan. 2016.
- Vaupel, J. W., & Schwentker, B. (2011). Eine neue Kultur des Wandels – Essay. In Aus Politik und Zeitgeschichte, 2011 (10-11, „Demografischer Wandel“). <http://www.bpb.de/apuz/33439/eine-neue-kultur-des-wandels-essay?p=all>. Zugegriffen: 16. Jan. 2016.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Hartmut Hirsch-Kreinsen, Michael ten Hompel, Peter Ittermann,
Johannes Dregger, Jonathan Niehaus, Thomas Kirks und
Benedikt Mättig

13.1 Einleitung

Der derzeitige Entwicklungsschub der Digitalisierung spricht für deutlich erweiterte Anwendungspotenziale der neuen, internetbasierten Technologien und strukturverändernde Konsequenzen in Wirtschaft und Gesellschaft. Unter den Schlagworten „Internet der Dinge“ und „Cyber-physische Systeme (CPS)“ wird auf neue Verknüpfungen von Informationstechnologien und physischen Gegenständen verwiesen, die bislang unbekannte Nutzungspotenziale in vielfältigen Anwendungsbereichen wie Wohnen, Gesundheit, Erziehung, Verkehr oder industrielle Produktion eröffnen. Im Bereich der industriellen Produktion werden die Entwicklungsdynamiken seit einigen Jahren unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ diskutiert. Wenngleich der Begriff der Industrie 4.0 insgesamt recht unbestimmt und vielseitig verwendet bleibt, fokussiert die Debatte, die insbesondere von Ingenieurwissenschaften, Wirtschaftsverbänden, technologieintensiven Unternehmen und der Politik forciert wird, in einer technologiezentrierten Perspektive auf das „intelligente“ Produkt und seine prozesszentrierte und unternehmensübergreifende Bearbeitung in „entgrenzten“ Betrieben und komplexen Wertschöpfungsketten (Plattform Industrie 4.0 2013).

Durch eine hochflexible Verknüpfung und Synchronisierung der jetzt durch das Internet vernetzten Datenebene mit realen Fabrikabläufen eröffnen sich grundlegend neue Potenziale

P. Ittermann (✉) · H. Hirsch-Kreinsen · J. Niehaus
Technische Universität Dortmund, Forschungsgebiet Industrie- und Arbeitsforschung (FIA), 44221
Dortmund, Deutschland
e-mail: peter.ittermann@tu-dortmund.de

J. Dregger · T. Kirks · B. Mättig · M. ten Hompel
Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (FLW), 44227
Dortmund, Deutschland
e-mail: benedikt.maettig@iml.fraunhofer.de; thomas.kirks@iml.fraunhofer.de

für die Planung, die Steuerung und die Organisation von Produktions- und Wertschöpfungsprozessen (Kagermann et al. 2011; Forschungsunion und acatech 2013; Reinhart et al. 2013; BMWi 2015). Diese zielen u. a. auf die Realisierung einer individualisierten, voll flexiblen Produktion (Losgröße 1), die Atomisierung von Sendungen im E-Commerce (Günthner und ten Hompel 2010) sowie die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und innovativer IT-Services, die dezentral über cloud-basierte Plattformen bereitgestellt werden. Die Entwicklung wird forciert durch umfangreiche Initiativen und Forschungsprogramme aus der Politik, um Deutschland als zukünftigen Produktionsstandort zu stärken und die „Technologieführerschaft“ der deutschen Industrie zu sichern (BMBF 2014; BMWi 2014).

Mit der Entstehung, Realisation und Diffusion von Industrie-4.0-Systemen und der fortschreitenden Digitalisierung industrieller Produktion werden nachhaltige Wandlungsprozesse sozio-ökonomischer Strukturen angestoßen (zusammenfassend z. B. Hirsch-Kreinsen et al. 2015). In diesem Zuge verändern sich auch die Anforderungen an Erwerbsarbeit resp. Industriearbeit, der häufig attestiert wird, dass sie zukünftig vernetzter, digitaler und flexibler sein wird (BMAS 2015). Im industriellen Bereich betrifft dies nicht nur die Tätigkeiten auf dem Shopfloor, sondern auch die indirekten Bereiche von der Planung und Steuerung bis hin zur Produktentwicklung und auch die Anforderungen an Leitung und Management werden sich deutlich verändern. Darüber hinaus ist mit einer durchgreifenden Reorganisation überbetrieblicher Arbeits- und Wertschöpfungsketten zu rechnen. Viele Protagonisten der Debatte verbinden mit der Industrie 4.0 optimistische Visionen zukünftiger industrieller Arbeitswelten. H. Kagermann (2014, S. 608) betont die „Sicherung der Arbeitsplätze an unserem Hochlohnstandort“ und „eine bessere Qualität an Arbeit“, der wissenschaftliche Beirat der Plattform Industrie 4.0 (2014, These 1) sieht „vielfältige Möglichkeiten für eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation (...), auch im Sinne von Selbstorganisation und Autonomie“. Die politische Akteure betonen „neue Freiräume für ein stärker selbstbestimmtes Arbeiten“ (BMAS 2015) oder „mehr Möglichkeiten und Freiräume, etwa für die Vereinbarkeit von Familien und Beruf“ (BWi 2015). Im Gegensatz zur CIM-Debatte, bei der der menschlichen Arbeitskraft in der automatisierten Fabrik häufig keine nennenswerte Rolle zugeschrieben wurde, bilden somit die Themen „Mensch“ und „Arbeiten“ wichtige Bezugsgrößen in der Diskussion zur Industrie 4.0, die auch von Interessenverbänden, Gewerkschaften und Arbeitswissenschaften mitgetragen wird.

Allerdings wird die Frage, wie sich Arbeit in der Industrie und darüber hinaus verändern wird, in der Wissenschaft gegenwärtig sehr unterschiedlich beantwortet: Einige Studien greifen die optimistischen Perspektiven auf, die Arbeitsplatzgewinne, steigende Ansprüche an Arbeit sowie eine generelle Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationen erwarten. Andere Trendbestimmungen betrachten dies eher mit Skepsis und verweisen auf Risiken wie hohe Arbeitsplatzverluste, Dequalifizierungsgefahren, neue Belastungssituationen und vermehrte soziale Unsicherheit.

13.2 Stand der Forschung: Entwicklungstrends und Widersprüche

Der derzeitige Stand der Forschung basiert letztlich auf unterschiedlichen Annahmen zum Stellenwert und zur Reichweite der Digitalisierung der industriellen Produktion bzw. ihrer

Automatisierung sowie den Auswirkungen auf die (qualitative und quantitative) Entwicklung von Arbeit. Die zentralen Trendbestimmungen und Widersprüchlichkeiten können an den Themenfeldern „Beschäftigungseffekte“, „Tätigkeiten und Arbeitsorganisation“, „Mensch-Technik-Interaktion“ und „Flexibilisierung und Entgrenzung“ verdeutlicht werden (vgl. Ittermann et al. 2015).

Umstrittene Beschäftigungseffekte: In einer generalisierenden Betrachtung verweisen Studien aus dem angelsächsischen Raum auf erhebliche Rationalisierungspotenziale im Sinne einer zukünftigen Substitution von menschlicher Arbeit durch Digitalisierung und Computerisierung (Frey und Osborne 2013; Bowles 2014; Brynjolfsson und McAfee 2014; Berger und Frey 2015). Nach der breit rezipierten Studie von Frey und Osborne könnten perspektivisch (hier mit Blick auf den US-amerikanischen Arbeitsmarkt) rund die Hälfte aller Berufe zukünftig automatisiert werden (Frey und Osborne 2013, S. 38). Brynjolfsson und McAfee (2014, S. 177ff.) betonen, dass unter den Bedingungen der Diffusion digitaler Technologien nicht mehr wie in der Vergangenheit kurzfristige Arbeitsplatzverluste langfristig durch neue Beschäftigungsmöglichkeiten kompensiert würden. Andere Autoren betrachten die skizzierten Szenarien zur Substitution von Arbeit durch Technik mit Skepsis (z. B. Autor 2015; Bonin et al. 2015; Pfeiffer und Suphan 2015).

Die Frage nach den langfristigen Beschäftigungsperspektiven wird auch in der Debatte zur Industrie 4.0 in Deutschland kontrovers diskutiert. Einige Prognosen schließen nicht aus, dass das Beschäftigungsvolumen auch in der deutschen Wirtschaft insgesamt schrumpfen könnte (Schlund et al. 2014; Bonin et al. 2015; Wolter et al. 2015). Sehr weitreichend argumentieren Studien, wonach in Folge der digitalen Automatisierung insgesamt 59 Prozent oder mehr als 18 Mio. Arbeitsplätze „im Laufe der Zeit“ wegfallen könnten (Brzeski und Burk 2015, S. 3; vgl. Schuh und Stich 2013). Fast alle Studien betonen dabei, dass insbesondere einfache industrielle Tätigkeiten wie Maschinenbedienung gefährdet sind. Die Studie der Unternehmensberatung Boston Consulting Group hingegen verweist auf *positive Arbeitsmarkteffekte* bei der weiteren Umsetzung von Industrie-4.0-Systemen und prognostiziert einen Beschäftigungszuwachs von sechs Prozent für die nächsten zehn Jahre (BCG 2015, S. 8). Nach den Ergebnissen einer Fraunhofer IAO-Studie (Spath et al. 2013, S. 46f.) geht die überwiegende Mehrheit der Industrieunternehmen davon aus, dass die menschliche Arbeit in der industriellen Produktion in den nächsten Jahren bedeutsam bleiben werde.

Neue Funktions- und Kontrollverteilung in der Mensch-Technik-Interaktion: Ein weiteres Themenfeld der einschlägigen Studien der Industrie-4.0-Debatte richtet sich auf die Mensch-Maschine-Interaktion und insbesondere auf die Funktionszuschreibungen des technischen und personellen Systems und auf die Kontroll- und Verantwortungsverteilung (Grote 2015). Die vorliegenden Beiträge knüpfen dabei mehr oder weniger implizit an Arbeiten der Arbeits- und Sozialwissenschaften an, die sich bereits seit mehreren Jahrzehnten mit der Gestaltung der Interaktion von Mensch und Maschine befassen. Hier liegen eine Vielzahl von Forschungserkenntnissen vor, die in neueren Studien aufgegriffen werden (vgl. Hinrichsen und Jasperneite 2013; Geisberger und Broy 2012; Peissner und Hipp 2013; Bauernhansl et al. 2014). Sie verweisen im Kern auf eine zunehmende

Verschränkung und Integration natürlicher und virtueller Realitäten, die über traditionelle Konzepte der Mensch-Technik-Interaktion hinausgehen und neue Lösungen erforderlich machen (Botthof und Hartmann 2015b, S. 162). Im Ergebnis zeichnen sich auch in diesem Themenfeld unterschiedliche Positionen ab, die sich auf zwei divergente Entwicklungspfade zuspitzen lassen:

Der eine Entwicklungsverlauf ist von einer *technikzentrierten Perspektive* gekennzeichnet, die eine weitreichende Automatisierung anstrebt und zentrale Steuerungsfunktionen dem „CPS“ überträgt. Die Mehrheit der Beschäftigten übernimmt lediglich ausführende Arbeiten, während eine handverlesene Expertengruppe für die Installation und Wartung des Systems verantwortlich ist. Die Autonomie der Fachkräfte ist eingeschränkt.¹ In einer stärker *arbeitsorientierten Perspektive* steht die Fachkraft in der Industrie im Zentrum, die das CPS hier hat die industrielle Facharbeit die Kontrolle über die digitalisierten Arbeits- und Produktionsabläufe und wird durch intelligente Assistenzsysteme unterstützt. Ein erweitertes Aufgabenspektrum der Beschäftigten, Mitgestaltungsmöglichkeiten und systematische Kompetenzentwicklung kennzeichnen diese Perspektive.²

Divergierende Entwicklungsperspektiven von Tätigkeiten und Qualifikationen: Viele Trendaussagen stimmen in dem Punkt überein, dass mit der weiteren Digitalisierung der industriellen Produktion und der Fokussierung auf wissensintensivere Arbeitsbereiche in der Industrie 4.0 erhebliche Veränderungen der Tätigkeits- und Qualifikationsanforderungen verbunden sein werden. Zentral ist zum einen der Auf- und Ausbau von IT-Kompetenzen und Prozessverantwortung in der Fertigung und Montage, aber auch in indirekten Bereichen wie der Arbeitsvorbereitung, der Produktionsplanung und der Qualitätssicherung sowie in der Logistik. Völlig offen ist hingegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt, in welche Richtung sich die Tätigkeitsstrukturen und die damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen entwickeln. Die Pole des Spektrums divergierender Entwicklungsperspektiven, die in Wissenschaft und Praxis diskutiert werden, können idealtypisch als „Upgrading von Qualifikationen“ und „Polarisierung von Qualifikationen“ bezeichnet werden.

¹ Diese Entwicklungsperspektive wird in der einschlägigen Literatur häufig als „Automatisierungsszenario“ (Windelband und Dworschak 2015; Dombrowski et al. 2014; Kurz 2014) bezeichnet. In Folge eines technikzentrierten Entwicklungspfades mit der „Entscheidungsfindung von Computerprogrammen“ (Windelband 2014, S. 155) verbleiben für die Mehrheit der Beschäftigten lediglich ausführende Arbeiten. Allenfalls eine handverlesene Expertengruppe ist für die Installation und Wartung des Systems verantwortlich. Kritisch wird angemerkt, dass in der Folge defizitäre Arbeitssituationen entstehen können, da die technischen Beherrschbarkeit der Prozesse auf Grund ihrer wachsenden Komplexität an Grenzen stößt (Hirsch-Kreinsen 2014a). Bainbridge (1983) beschreibt diese Entwicklung als „ironies of automation“: Bei einem hohen Automatisierungsgrad fehlen die erforderlichen Kompetenzen, um auftretende Störungen flexibel bewältigen zu können.

² Diese Perspektive wird auch als „Spezialisierungsszenario“ oder „Werkzeugszenario“ bezeichnet (Windelband und Dworschak 2015, S. 77), bei der die Technik zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen dient.

Ein generelles *Upgrading von Qualifikationen* basiert auf der Annahme, dass in Folge der Digitalisierung und Informatisierung die Arbeits- und Produktionsprozesse anspruchsvoller, vernetzter und komplexer werden (Spath et al. 2013, S. 123). Hier wird Upgrading als ein Prozess verstanden, der generell alle Beschäftigtengruppen erfasst. Die Folge wären „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology“ (Zuboff 1988, S. 159). Einfacharbeit in der Industrie erfährt in dieser Perspektive entweder eine kontinuierliche qualifikatorische Aufwertung oder entfällt als Folge der Automatisierung gering qualifizierter Tätigkeiten. Der Kern der *Polarisierungsthese* hingegen ist, dass sich eine Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen einerseits und einfachen Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau andererseits öffnet und mittlere Qualifikationsgruppen an Bedeutung verlieren.³ Denn durch den Einsatz digitaler Technologien werde eine Automatisierung und Entwertung der Jobs mittlerer Qualifikationsgruppen Platz greifen (Kinkel et al. 2008; Düll 2013). Die Folge sind erhebliche Dequalifizierungsprozesse durch den Technologieeinsatz. Mättig et al. (Kap. 5) verweisen z. B. auf den Rückgang „eigenständiger Lösungsfindungen“ in der Kommissionierarbeit.

Diese Entwicklungsperspektiven von Tätigkeiten und Qualifikationen korrelieren zwangsläufig mit unterschiedlichen Varianten in der Arbeitsorganisation. In der Debatte um die Digitalisierung von Arbeit wird verschiedentlich als arbeitsorganisatorisches Leitbild, das im weitesten Sinne der Upgrading-These folgt, ein Muster hervorgehoben, das metaphorisch als *Schwarm-Organisation* bezeichnet wird (Hirsch-Kreinsen 2014a). Dieses Organisationsmuster ist durch eine lockere Vernetzung qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet, die weitgehend selbstorganisiert und situationsbestimmt im digitalisierten Arbeits- und Produktionsprozess agieren (vgl. Bächler et al., Kap. 3). Von der Leitungsebene wird lediglich ein Handlungsrahmen mit grundlegenden Regeln und strategischen Ziele vorgegeben (Neef und Burmeister 2005, S. 569ff.). Das Muster der *polarisierten Arbeitsorganisation* ist hingegen ein arbeitsorganisatorisches Gestaltungsmuster, das durch eine ausgeprägte Arbeitsteilung gekennzeichnet ist. Es entspricht weitgehend den derzeit schon in vielen hoch technisierten Betrieben vorherrschenden Arbeitsformen, die als widersprüchliche Kombination von Gestaltungsprinzipien der Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung einerseits und Strukturierung und Standardisierung andererseits gekennzeichnet werden kann (z. B. Kinkel et al. 2008).

Flexibilisierungs- und Entgrenzungspfade der Industriearbeit: Der Digitalisierungsprozess in der industriellen Produktion eröffnet Chancen zur Realisierung von Arbeitsstrukturen, die bislang eher aus anderen Arbeitszusammenhängen und wissensintensiven Branchen bekannt sind. Angesprochen werden hiermit Fragen der Entgrenzung und der

³ Siehe hierzu auch die internationale Diskussion zur Digitalisierung und ausgeprägten Polarisierung von Tätigkeiten und Qualifikationen (Autor und Dorn 2013; Collins 2013; Brynjolfsson und McAfee 2014; Bowles 2014).

Flexibilisierung von Industriearbeit. Diese lassen sich zum einen im Kontext einer weitgehenden Dezentralisierung bisheriger Unternehmensstrukturen verorten (z. B. Zäh et al. 2003; Scholz-Reiter et al. 2009; Forschungsunion und acatech 2013). Die Annahme ist, dass die bisherigen Formen der Fabrikorganisation, insbesondere auch die klassischen Organisations- und des Personaleinsatzstrukturen umgebaut, dezentralisiert und flexibilisiert werden (z. B. BMWi 2013; Spath et al. 2013; Bauernhansl 2014). Mit Blick auf die betriebliche Ebene ersetzen in dieser Argumentation temporäre Projektorganisationen und Netzwerke feste Organisations- und Managementstrukturen. Zugleich wird auf überbetriebliche Entwicklungstendenzen und den Wandel ganzer Wertschöpfungsstrukturen verwiesen, welche die bisherigen Formen überbetrieblicher Arbeitsteilung und des Outsourcings deutlich transzendieren. Durch die Ausdifferenzierung und Öffnung von Produktionsprozessen und den internetbasierten Einbezug unternehmensexterner Akteure in die Wertschöpfung gewinnen „Crowdsourcing“ oder „Crowdworking“ an Bedeutung (Leimeister und Zogaj 2013; Benner 2014). Verstanden wird darunter die Ausdifferenzierung von Produktions- und Arbeitsfunktionen nicht mehr in Form einer formalisierten Auslagerung von vertraglich definierten Aufgaben an ein Drittunternehmen oder eine bestimmte Institution, sondern die Verlagerung von verschiedenen Funktionen an eine ex ante nicht definierte Anzahl unterschiedlich spezialisierter Akteure.

Die möglichen Konsequenzen dieser Entgrenzungstendenzen für Arbeit und Beschäftigung werden in der vorliegenden Literatur ebenfalls widersprüchlich eingeschätzt. Auf der einen Seite finden sich, ähnlich wie bei der Upgradingthese, Argumente, die eine *Steigerung der Qualität der Arbeit* betonen. Hervorgehoben wird beispielsweise, dass die Flexibilisierungstendenzen generell eine deutlich verbesserte „Work-Life-Balance“, etwa eine bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie ermögliche (z. B. Kagermann 2014; BMWi 2015). Auch könnten Mitarbeiter unter den neuen Arbeitsbedingungen ihre Arbeitsbelastung und ihren Arbeitsanfall autonomer als früher regulieren. Auf der anderen Seite werden bereits seit längerem die Risiken der Prekarisierung entgrenzter, flexibilisierter und eigenverantwortlicher Arbeit diskutiert. Hierzu zählen etwa fehlende Regulation, neu entstehende unsichere Arbeitsformen sowie Prozesse der Arbeits- und Leistungsverdichtung (Boes et al. 2014). Ein zentrales Thema in diesem Kontext sind neue Kontrollpotenziale digitaler Technologien, die individuelle Leistungsüberwachungen ermöglichen.

13.3 Konzeptionelle Perspektive: Industrie 4.0 als sozio-technisches System

Der kurze Abriss des Forschungsstandes verdeutlicht, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt wenige verlässliche Trendbestimmungen zu den Perspektiven von Industriearbeit vorliegen. In der Bilanz der Themenfelder zeichnen sich sehr heterogene, teilweise widersprüchliche Entwicklungspfade ab. Der Grund für diese Heterogenität sind die derzeit noch unbeantworteten Fragen, welche neuen Technologien in der industriellen Produktion (in

welchem Ausmaß) zum Einsatz kommen und in welcher Weise diese in laufende betriebliche (und überbetriebliche) Strukturen und Abläufe integriert werden. Denn hiermit sind die Potenziale und die Grenzen des Technologieeinsatzes und die weiteren Anforderungen des betrieblichen Gesamtsystems angesprochen, da „nicht alle technischen Lösungen, die machbar sind, zugleich auch wirtschaftlich und/oder wünschbar (Big Data versus Datenschutz) sein werden.“ (Ahrens 2015) In einer grundsätzlichen Perspektive sind demnach Lösungen gefragt, die gleichzeitig technologische, organisationsbezogene und qualifikatorische Erfordernisse berücksichtigen.

Diese Perspektive verweist auf Gestaltungsoptionen in der Nutzung und dem Einsatz neuer Technologien und relativiert die Sichtweise von einem mehr oder weniger deterministischen Verhältnis zwischen technologischer Entwicklung und ihren sozialen Konsequenzen (Pfeiffer 2013; Lutz 1987; BMAS 2015). „Wenn heute von einer vierten industriellen Revolution gesprochen wird, dann wirkt dies oft so, als würden die neuen technischen Möglichkeiten und Trends, quasi naturgegeben, unser Leben und unsere Arbeitswelt nach ihren Vorgaben umwälzen. Dies ist jedoch mitnichten so. Die Technik schafft nur neue Möglichkeiten.“ (BMAS 2015, S. 37) Zentrale Voraussetzung für die Realisierung der eingangs skizzierten Visionen zur zukünftigen (industriellen) Arbeitswelt ist eine *humanorientierte Systemauslegung der Industrie 4.0*, die von den maßgeblichen Akteuren der Wirtschaft, Wissenschaft und Politik befördert wird und den Menschen, seine Bedürfnisse und seine Arbeitsbezüge ins Zentrum der Produktionsabläufe rückt. Indes ist die Realisation von humanorientierten Formen der Arbeit kein Selbstläufer. Vielmehr erfordern sie einen ganzheitlichen und strategisch angelegten Forschungs- und Gestaltungsansatz und ein daran orientiertes Vorgehen (vgl. Thesen des wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0 2014).

Ein solcher Ansatz soll im Folgenden unter dem Begriff „Social Manufacturing and Logistics“ entwickelt werden (ten Hompel und Hirsch-Kreinsen 2014; SoMaLI 2015). Zum einen werden mit dem Begriff die Social-Media- bzw. Social-Network-Funktionalitäten der Kommunikation und Vernetzung zwischen Objekten, Maschinen und Menschen angesprochen, die im privaten Bereich bereits verbreitet sind und nun zunehmend in Produktion und Logistik Einzug halten. Neben dem Einsatz von Social Media in der externen Unternehmenskommunikation (u. a. Marketing, Services und Vertrieb) wächst der Stellenwert der internen Nutzung in Unternehmen in Produktionsprozessen der bereichs- oder standortübergreifenden Zusammenarbeit. In diesem Kontext richtet sich das Augenmerk auf neue Formen von Social Networks, in denen Menschen und CPS zukünftig agieren. Zum anderen verweist der Begriff „Social Manufacturing and Logistics“ auf den Umstand, dass die Implementierung von Industrie-4.0-Systemen stets den sozial orientierten Gesamtzusammenhang eines industriellen Prozesses berücksichtigen muss. In der Implementierung von intelligenten Produktionssystemen werden Unternehmen mit neuen Anforderungen in der Vernetzung von Mensch, Technik und Organisation konfrontiert (Hirsch-Kreinsen 2014b; Bothof und Hartmann 2015b; Grote 2015). Dabei handelt es sich um einen komplexen und wechselseitigen Zusammenhang, der von einer Vielzahl von Einflussfaktoren geprägt wird, deren Einfluss darüber entscheidet, in welcher Weise die

technologisch gegebenen neuen Nutzungspotenziale tatsächlich ausgeschöpft werden und welche Konsequenzen für Arbeit sich einspielen (Evangelista et al. 2014).

Einen analytischen Ansatzpunkt hierfür bietet der Rückgriff auf das *Konzept des sozio-technischen Systems* (Trist und Bamforth 1951; zusammenfassend Sydow 1985). Das Konzept der sozio-technischen Systeme findet auch in zahlreichen Veröffentlichungen der aktuellen Diskussion um Industrie 4.0 Berücksichtigung (Forschungsunion und acatech 2013; Botthof und Hartmann 2015a; Kurz 2014; Hirsch-Kreinsen 2014a; Grote 2015; Deuse et al. 2015). Diesem Konzept zufolge geht es nicht um die Frage eines entweder Technik oder Mensch, sondern um das Ziel einer aufeinander abgestimmten Gestaltung der Parameter des sozio-technischen Gesamtsystems. Es geht davon aus, dass eine Analyse und Gestaltung des Zusammenspiels der neuen Technologien mit den dadurch induzierten personellen und organisatorischen Veränderungen grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen erfordert (Rice 1963). Betrachtet man Industrie 4.0 aus der Perspektive des sozio-technischen Systems, so lassen sich zunächst die Teilsysteme Technologie, Mensch und Organisation charakterisieren (Abb. 13.1): Das technologische Teilsystem umfasst u. a. die neuen Technologien cyber-physischer Systeme (CPS), innovative Transporttechnologien und „Smart Objects“, die Bearbeitungsprozesse autonom steuern. Des Weiteren lassen sich neue Leichtbauroboter, Assistenzsysteme und neue Kommunikationsmedien in der Produktion



Abb. 13.1 Industrie 4.0 als sozio-technisches System

dem technologischen Teilsystem zuordnen. Das Teilsystem Mensch umfasst mit Blick auf die Industrie 4.0 u. a. neue Personal- und Qualifikationsstrukturen, Berufsbilder und Beschäftigungsformen. Das Teilsystem Organisation bezieht sich u. a. auf den Wandel von Organisations- und Wertschöpfungsstrukturen sowie eine Neuorganisation von Managementfunktionen. Naturgemäß muss bei der Gestaltung des Gesamtsystems den strukturellen und ökonomischen Anforderungen des jeweiligen Einsatzfeldes und der verschiedenen Wissensdomänen von Industrie 4.0 Rechnung getragen werden. Darüber hinaus ist das betriebliche Gesamtsystem eingebettet in sozio-ökonomische Kontextbedingungen und Branchenstrukturen.

Im Folgenden wird nicht allein nach der Funktionsweise und Veränderungen der Teilsysteme im Einzelnen gefragt, sondern es werden ihre Interdependenzen betont: Konkret geht es um die Auslegung der funktionalen Beziehungen bzw. der Schnittstellen (Interfaces) zwischen Technik, Mensch und Organisation. Nach allen vorliegenden empirischen Befunden muss die Auslegung der Schnittstellen zwischen den Teilsystemen eines sozio-technischen Systems als der entscheidende Ansatzpunkt angesehen werden, die Potenziale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen. Auf der Basis des gegenwärtigen Standes der Forschung lassen sich folgende zentrale Herausforderungen, Gestaltungsalternativen und arbeitsbezogenen Ziele der Gestaltung der Schnittstellen zwischen Mensch, Technik und Organisation benennen.

13.4 Schnittstellen zwischen Technologie, Mensch und Organisation in Industrie 4.0

13.4.1 Schnittstelle zwischen Technologie und Mensch

Herausforderungen Die relevanten Herausforderungen an dieser Schnittstelle betreffen u. a. neue Konstellationen in der Mensch-Maschine-Interaktion (Stichwort „Social Machines“) sowie Anforderungen der handlungsorientierten Dialoggestaltung und der „verteilten Handlungsträgerschaft“ (Rammert und Schulz-Schaeffer 2002) zwischen dem technologischen System und dem menschlichem Arbeitshandeln. Vorliegende Studien verweisen auf eine zunehmende Verschränkung und Integration natürlicher und virtueller Realitäten, die über traditionelle Konzepte der Mensch-Technik-Interaktion hinausgehen und neue Lösungen u. a. durch den Einsatz intelligenter Assistenzsysteme erforderlich machen (Geisberger und Broy 2012; Bothhof und Hartmann 2015b, S. 162). Zu diesen Lösungen zählen der Einsatz von Datenbrillen, Tablets, Devices etc. in Produktions- und Logistikprozessen und die damit verbundene kontextbasierte Informationsbereitstellung, die neue Möglichkeiten z. B. in der Fernwartung eröffnet. Zu den Innovationen in der Produktionstechnik zählen der Einsatz von Drohnen oder neue Robotik-Konzepte. So können z. B. Beschäftigte in der industriellen Montage durch Schwerlastroboter im Arbeitsprozess unterstützt werden. Die Verteilung von Funktionen und Zuschreibung von Kontrolle zwischen Maschine und Mensch wird als eine der zentralen Fragen bei der Auslegung von

Industrie-4.0-Systemen angesehen. Sie betrifft letztlich auch den Grad der Automatisierung und den Stellenwert manueller Produktionsarbeiten sowie die Art der dezentralen und/oder zentralen Steuerung.

Alternativen Die genannten Aspekte verweisen zugleich auf die (widersprüchlichen) Alternativen bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Zum einen geht es um die grundlegende Frage der Substitution von Aufgaben und Tätigkeiten in Folge von Automatisierungslösungen (vgl. Reiser et al., [Kap. 10](#)). Zum anderen treffen unterschiedliche Perspektiven hinsichtlich Aufgaben- und Kontrollverteilung zwischen Mensch und Maschinen aufeinander. So können Assistenzsysteme abwechslungsreichere Arbeit ermöglichen und arbeitsplatznahe Lernprozesse unterstützen, aber auch durch strikte Prozessvorgaben den Handlungsspielraum von Mitarbeitern einschränken (vgl. Ullrich et al., [Kap. 8](#)). Eine Verbandsvertreterin fasst diese Divergenzen mit Blick auf die neuen Anforderungen des Mitarbeiters wie folgt zusammen: „Werde ich durch dieses Tablet kreativer und komme auf ein neues Niveau der Problemlösung, weil ich andere Werkzeuge, andere Informationen habe, die ich vorher nicht hatte? Oder bekomme ich dauernd irgendwie gesagt, was ich machen muss und De-Skilling passiert?“ (V1) Diese Perspektiven entsprechen der bereits skizzierten Differenzierung zwischen einem „Automatisierungsszenario“ und einem „Werkzeugszenario“ (Windelband et al. [2011](#); Windelband und Dworschak [2015](#); Dombrowski et al. [2014](#); Kurz [2014](#); Schlund und Gerlach [2013](#)).

Ziel In Hinblick auf die Gestaltungskriterien der Mensch-Maschine-Schnittstelle muss es daher vor allem um eine Schnittstellenauslegung gehen, bei der menschliche Arbeit die Kontrollmöglichkeiten über die Produktionsabläufe erhält bzw. behält und durch intelligente Assistenzsysteme unterstützt wird (Vgl. Vernim et al., [Kap. 9](#)). Mit Blick auf die erforderlichen Kontrollstrukturen vermutet ein Entwickler, „dass es auf Dauer nur funktioniert, wenn man den Nutzer die passenden Eingriffsmöglichkeiten gibt oder das Gefühl gibt, im Notfall die Kontrolle zu behalten“ (E1). Für eine Verbandsvertreterin ist aus Mitarbeitersicht entscheidend, dass „nicht die Technik entscheidet, wann ich arbeite, sondern ich entscheide. ... Und ich glaube, das ist normal, das sollte so ein Leitbild sein.“ (V2) Die Mitarbeiter verbleiben „in ihrer Gesamtheit die Träger der planenden, steuernden, dispositiven, ausführenden usw. Tätigkeiten“ (Becker [2015](#), S. 25) und übernehmen wichtige Funktionen bei angereicherten Arbeitstätigkeiten.

Schnittstelle Technologie-Mensch: Industrie 4.0-Anwenderbetrieb im Bereich Logistik

Ein Unternehmen aus dem Segment der industriellen Dienstleistungen setzt im Wareneingang Transportroboter ein, welche die vereinnahmte Ware zum Lagerbereich befördern. Die Roboter bewegen sich autonom und sicher zwischen ihren menschlichen Arbeitskollegen. Die Mitarbeiter werden entlastet durch die Ausführung nicht wertschöpfender Prozesse durch die Transportroboter und haben mehr freie Kapazitäten für die Prüfung der eingehenden Ware. Ergonomie, nicht Rationalisierung, ist die

Motivation des Unternehmens: Durch den intelligenten Technologieeinsatz sollen nicht Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter ersetzt, sondern einzelne Prozessschritte optimiert und vereinfacht werden. Die Substitution von körperlich belastenden Arbeiten soll insbesondere die Beschäftigungsfähigkeit älterer Mitarbeiter dauerhaft gewährleisten.

Im Ergebnis stehen hier ein erweitertes Aufgabenspektrum der Beschäftigten und neue Anforderungen an qualifizierte Arbeiten durch erweiterbare Mitgestaltungsmöglichkeiten. Die Arbeitssituation ist hier durch ein von Social-Media-Funktionen unterstütztes erweitertes Aufgabenspektrum und neue Anforderungen an qualifizierte Arbeiten gekennzeichnet. Individuelle Assistenzsysteme sollten an die jeweiligen Bedürfnisse und Leistungsdispositionen einzelner Mitarbeiter kontext- oder ortsbasiert angepasst werden können (vgl. Hengstebeck et al., [Kap. 4](#)). Dabei muss es vor allem auch möglich sein, dass die Beschäftigten hinreichende informationstechnische Möglichkeiten für die Sicherung und den Ausbau von Erfahrungswissen und Prozessen des „Learning on the Jobs“ erhalten (vgl. Senderek, [Kap. 7](#)).

13.4.2 Schnittstelle zwischen Technologie und Organisation

Herausforderungen An dieser Schnittstelle stellen sich Herausforderungen für die Gestaltung in mehrfacher Hinsicht: Zum einen geht es um die Anforderungen der Integration neuer Technologien in existierende Arbeits- und Produktionsabläufe bzw. betriebliche Gesamtsysteme. Dies betrifft unter den Bedingungen vernetzter Systeme nicht allein die Ebene des Shopfloors, sondern auch die hierarchische Dimension der Organisation sowie die Dimension Logistik. Die Social-Media-Funktionalitäten und damit veränderte Formen der Kommunikation berühren sowohl die indirekten Bereiche wie Planung, Steuerung und Engineering als auch Leitungs- und Managementfunktionen nachhaltig. Damit verbunden ist eine Neuorganisation von Managementfunktionen, etwa von Produktions- und Betriebsleitungen, in Hinblick auf den Wandel ihrer Entscheidungskompetenzen und die Verantwortungsverlagerung auf nachgeordnete Ebenen. Außerdem beeinflusst der Automatisierungsgrad der Technik die für die Organisationsgestaltung (noch) verfügbaren Funktionen. Insbesondere sind hier die neuen Bedingungen einer individualisierten Produktion (Losgröße 1) auf der Basis autonomer, selbststeuernder Systeme in Rechnung zu stellen, die auch in organisatorischer Hinsicht eine dezentrale Steuerung und Intelligenz nahe legen. Letztlich bieten sich auf Grund einer zeitlichen und funktionalen Entkopplung bei Industrie-4.0-Systemen weite Spielräume für alternative Formen der Organisation. Mit Blick auf die betriebsübergreifenden Produktionsabläufe lässt sich auf den Wandel von Wertschöpfungsstrukturen und bisheriger Formen überbetrieblicher Arbeitsteilung verweisen. So zeigen Vorzeigeunternehmen der Industrie 4.0, dass „sie mit einer sehr stark digitalisierten Wertschöpfungskette einfach extrem erfolgreich sind.“ (E1) Bei einer weitergehenden Ausdifferenzierung und Öffnung von Produktionsprozessen werden

unterschiedliche interne und unternehmensexterne Akteure (Crowdsourcing) in den Wertschöpfungsprozess einbezogen.

Alternativen Bei der weitreichenden Implementierung von Industrie-4.0-Systemen werden die Widersprüche zwischen organisationalen und technologiezentrierten Perspektiven deutlich: Nicht zuletzt in KMU-Betrieben mit begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen eröffnen sich Fragen, inwiefern und in welchem Ausmaß die potenziell verfügbaren CPS-Technologien wirtschaftlich rentabel und organisatorisch sinnvoll implementiert werden können. Strukturelle Hindernisse in der Verknüpfung technologischer und organisationsbezogener Erfordernisse können neben einer unklaren Rentabilitätsersparnis in organisationsstrukturellen Barrieren, zu bewältigender Komplexität in der überbetrieblichen Arbeitsteilung sowie in datenschutzrechtlichen Problemlagen (Zugang betriebsrelevanter Daten für externe Akteure) liegen. So stehen einige Unternehmen der Entwicklung abwartend bis ablehnend gegenüber, während einige Unternehmen Vorreiterfunktionen übernehmen und der technologiezentrierten Perspektive folgen.

Ziel Die „Smart Factory“ ist eine Unternehmung, bei der die industrielle Wertschöpfung nicht mehr durch traditionelle Grenzziehungen und Unternehmensstrukturen geprägt ist. Dieser Anspruch setzt in organisationsbezogener Hinsicht eine dezentrale Steuerung und Intelligenz voraus, die dennoch kontrollierbar bleibt: „Also weg von der zentralen Intelligenz. (...) Industrie 3.0 war Steuerung durch den PC und Industrie 4.0 ist dezentrale Steuerung, dezentrale Intelligenz und Schwarmintelligenz und trotzdem in einem kontrollierbaren System (...). Ich würde nicht sagen: ‚kontrolliert‘, ich würde sagen: ‚kontrollierbar‘.“ (A3)

Schnittstelle Technologie-Organisation: Sensorik-Entwicklung für autonome Systeme

In einem Elektronikunternehmen werden neue Sensortechnologien entwickelt, deren Einsatz die traditionellen Produktionsprozesse verändern sollen: Mit intelligenten Sensoren versehene Maschinen sollen dezentrale autonome Systeme bilden und das Potenzial von Industrie 4.0 ausschöpfen. Dies entspricht auch den Anforderungen der Kunden des Unternehmens, die immer seltener einzelne Sensoren, sondern vielmehr umfassende Lösungen fordern. Damit verändern sich nicht nur die Anwenderbetriebe, sondern auch das Elektronikunternehmen selbst wandelt sich vom Technologieanbieter zum Problemlöser seiner Kunden. In der Konsequenz werden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zukünftig anders zusammenarbeiten – über klassische Abteilungs- und Betriebsgrenzen hinweg und in temporären (global vernetzten) Projektteams.

In Hinblick auf eine humanorientierte Organisationsgestaltung in ihrer Gesamtheit bedeuten diese Entwicklungen einen weitgehenden Dezentralisierungsschub und Hierarchieabbau innerhalb oft ohnehin schon relativ flach strukturierter Fabrikorganisationen. Die Bewältigung der Interdependenzen und der damit verbundenen Widersprüche, Hindernisse

und Herausforderungen von Technologie und Organisation macht eine langfristig angelegte und partizipative Systemeinführung erforderlich (vgl. die Beiträge von Löhner et al., [Kap. 6](#) und Bächler et al., [Kap. 3](#)). Ullrich et al. ([Kap. 8](#)) entwickeln neue Leitfäden für die Systemimplementierung und Mitbestimmung sowie Handlungsorientierungen für Qualifizierung und Ergonomie.

13.4.3 Schnittstelle zwischen Mensch und Organisation

Herausforderungen An der Schnittstelle zwischen den betrieblichen Teilsystemen Mensch und Organisation werden Fragen nach der Gestaltung von Arbeitsorganisation, Tätigkeitsstrukturen und Qualifizierungsanforderungen sowie Management- und Kommunikationsstrukturen aufgeworfen. Im Mittelpunkt steht die Frage, inwieweit durch organisatorische Gestaltung menschliche Arbeit eine möglichst vollständige Gesamtaufgabe, Handlungsspielräume und auch Lern- und Qualifizierungsmöglichkeiten erhält. Denn die Organisation entscheidet letztlich über den Aufgabenzuschnitt und die damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen.

Alternativen Die Gestaltungsalternativen an der Schnittstelle zwischen Mensch und Organisation äußern sich u. a. in unterschiedlichen Modellen der Arbeitsorganisation (betriebswirtschaftliche Effizienz- oder Humanorientierung), in kontroversen Ansichten anforderungsgerechter Qualifizierungsmaßnahmen oder in den hohen Komplexitätsanforderungen dezentraler Steuerungsformen. Ganz offensichtlich kann nicht von einem eindeutig festgelegten „one-best-way“ der Arbeits- und Organisationsgestaltung gesprochen werden. Wie oben schon angesprochen lassen sich zwei unterschiedliche Muster der Arbeitsorganisation erkennen. Die eine Gestaltungsalternative verweist auf ein arbeitsorganisatorisches Muster, das metaphorisch als ganzheitlich/integrativ oder *Schwarm-Organisation* bezeichnet werden kann (Hirsch-Kreinsen 2015). Es zeichnet sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung, selbstorganisierte Tätigkeiten und hohe Flexibilität aus. Bächler et al. ([Kap. 3](#)) zeigen am Beispiel der Anlernassistenz, dass sich durch die weitgehende Selbstorganisation der Montagearbeiter deutlich weniger Interaktionsanlässe für Vorgesetzte ergeben. Die andere Gestaltungsalternative einer *polarisierten Organisation* verweist auf ein arbeitsorganisatorisches Muster, das durch eine ausgeprägte Differenzierung von einfachen und höher qualifizierten Arbeiten gekennzeichnet ist (Hirsch-Kreinsen 2015).

Ziel Die gegebenen organisatorischen Gestaltungsspielräume können zu einer grundlegenden Aufwertung aller Tätigkeiten und Qualifikationen genutzt werden. Dies ermöglicht Arbeitssituationen mit besonderen Qualifikationsanforderungen und unter Umständen hohen Handlungsspielräumen, einen polyvalenten Einsatz der Beschäftigten sowie vielfältigen Möglichkeiten des „Learning on the job“. Einschlägige Kompetenzen werden im Prozess selbst erworben oder in Form arbeitsnaher und arbeitsintegrierter Ansätze

(Senderek, [Kap. 7](#)): Damit angesprochen sind sowohl das individuelle Lernen u. a. durch Job-Rotation als auch das organisationale Lernen. Lernförderliche Arbeitsorganisationen und Qualifizierungsstrategien orientieren sich an dem heterogenen Erfahrungsstand und unterschiedlichen Kompetenzbündel der gering-, mittel- und hochqualifizierten Beschäftigten. Ein zentrales Merkmal ist, dass die Aufgaben selten an einzelne Beschäftigte adressiert werden, vielmehr handelt das Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösenden Problemen des technologischen Systems.

Schnittstelle Organisation-Mensch: Aufgabenwandel in der vernetzten Produktion

In einem Elektronikunternehmen haben digitale Produkttechnologien eine hohe Relevanz. Auf der Basis einer hochautomatisierten und vernetzten Produktionslogistik werden Anforderungen aus Kundenaufträgen ermittelt und mit der Produktion, dem Warenlagern und der Endmontage abgeglichen. Mit der digitalen Automatisierung ergeben sich personal- und organisationsbezogene Veränderungen. Zum einen werden bisher manuell ausgeführte Aufgaben automatisiert, wenngleich menschliche Problemlösekompetenzen weiterhin erforderlich sind. Zum anderen entstehen für die Mitarbeiter neue Anforderungen wie beispielsweise Funktionserhaltung und Entstörung, der kompetente Umgang mit digitalen Endgeräten sowie kommunikative Kompetenzen beim Einrichten von Maschinen. Gleichzeitig wird die Arbeit durch viele Wechsel zwischen den Stationen und Produkten abwechslungsreicher. An der Schnittstelle zwischen Organisation und Mensch ergibt sich damit die Möglichkeit, die Arbeitsorganisation völlig umzugestalten und die neu entstandenen Aufgaben zu neuen ganzheitlichen Tätigkeiten zu bündeln.

Nach Löhner et al. ([Kap. 6](#)) müssen die zu entwickelnden Prozesse dem Mitarbeiter Verantwortungsfreiräume und Möglichkeiten zur selbstverantwortlichen Lösungsfindung eröffnen. Der Arbeitsauftrag wird durch einen vom Management vorgegebenen Handlungsrahmen (Stichwort: Kontextsteuerung) mit Regeln, Zielen und Leitvorstellungen definiert. Diese Entwicklungen sprechen insgesamt für die These der Höherqualifizierung bzw. ggf. sogar einer „Requalifizierung“ von Produktionsarbeit in der Industrie 4.0, die in einer gewerkschaftlichen Perspektive mit „wachsender Eigenverantwortung, vielfältigen Entfaltungsmöglichkeiten für kreatives Arbeitshandeln und einer Steigerung der Arbeits-, Kooperations- und Beteiligungsqualität“ (Kurz 2014, S. 108) der Beschäftigten verbunden sein kann.

13.5 Ausblick: Leitbild der digitalisierten Arbeit in der Industrie 4.0

In dem Zusammenspiel der Schnittstellen und ihrer arbeitsbezogenen Ziele werden in erster Näherung die Konturen eines Leitbilds von sozialer, d. h. human- und kommunikationsorientierter Produktion und Logistik erkennbar. Kriterien für eine solche

Entwicklungsperspektive von Arbeit wären Tätigkeiten mit weitgehenden Gestaltungsmöglichkeiten und der Nutzung intelligenter Assistenzsysteme, vollständige Gesamtaufgaben, Lernförderlichkeit und neue Formen der Selbstorganisation bei dezentraler Steuerung. Folgt man den Ergebnissen der Arbeits- und Digitalisierungsforschung, so sind damit die sozialen und organisatorischen Voraussetzungen für eine hohe Systemtransparenz für die Beschäftigten, die Beherrschbarkeit komplexer Systemabläufe und damit eine hohe Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems angesprochen. Der Prozess der Informatisierung von Arbeits- und Produktionsprozessen in der Industrie 4.0 bietet Perspektiven einer Aufwertung von Tätigkeiten in den unterschiedlichen Funktionsbereichen, die sich durch höhere Komplexitäts- und Flexibilitätsanforderungen auszeichnen. Ansatzpunkte für eine humanorientierte Systemgestaltung in der Industrie 4.0 sind in [Abb. 13.2](#) beispielhaft zusammengefasst.

Es kann davon ausgegangen werden, dass ein solches Leitbild eine hinreichende Voraussetzung für eine optimale Ausschöpfung der technologischen und ökonomischen Potenziale des automatisierten und ggf. individualisierten Produktionssystems darstellt. Denn dieses überlässt nicht wie die technologiezentrierte Perspektive menschlichem Arbeitshandeln lediglich fragmentierte Restfunktionen. Vielmehr eröffnet die komplementäre Konzeption eines „Social Manufacturing and Logistics“ neue Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeit, um die Awareness- und Feedback-Probleme des Handelns an komplexen

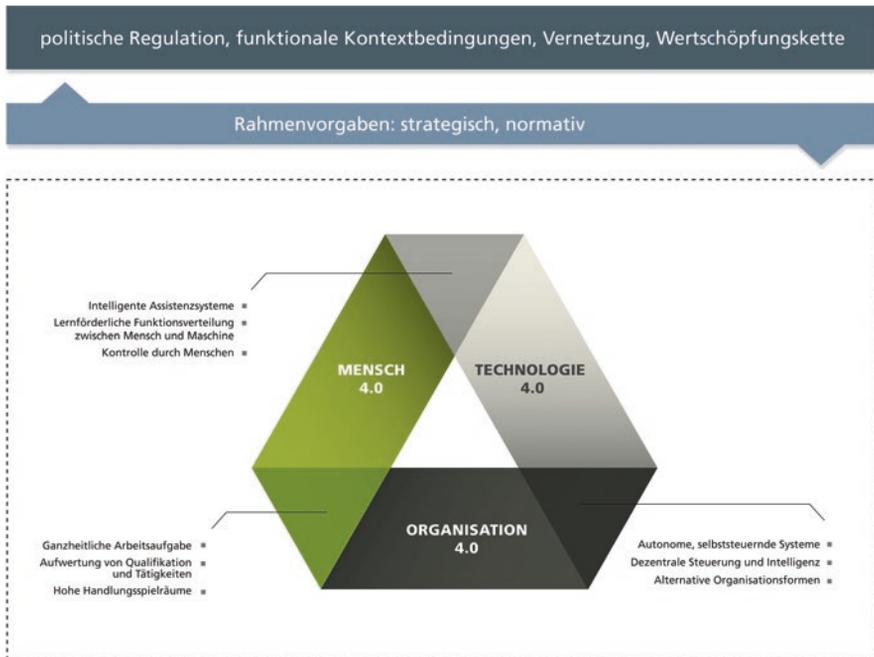


Abb. 13.2 Leitbild „Social Manufacturing and Logistics“ – beispielhafte Präzisierung

Anlagen zu minimieren, informelles Arbeitshandeln und laufende Lernmöglichkeiten zu ermöglichen und die Komplexität des Systems kontrollierbar zu lassen. Mit Blick auf die einschlägige arbeits- und sozialwissenschaftliche Literatur (u. a. Lee und Seppelt 2009; Cummings und Bruni 2009; Grote 2005) lässt sich auch von einem „komplementären Automatisierungskonzept“ sprechen, das in einer ganzheitlichen Perspektive die spezifischen Stärken und Schwächen von menschlicher Arbeit und technischer Automatisierung identifiziert, um eine zufriedenstellende Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems zu ermöglichen. Folgt man einer Formulierung von Grote, so werden bei einer solchen Vorgehensweise die spezifischen Stärken und Schwächen von Mensch und Technik „nicht im Sinne eines *entweder* Mensch *oder* Technik gegeneinander ausgespielt, sondern durch eine durchgängige Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion zu einer neuen Qualität des Gesamtsystems verschmolzen“ (Grote 2005, S. 67 – Hervorheb. im Orig.). Dazu werden gleichermaßen die drei Dimensionen des sozio-technischen Systemkonzepts in die Gestaltung einbezogen, um damit das System zu einer Bewältigung von Schwankungen und Störungen zu befähigen. Bedingung hierfür ist eine partizipative Systemauslegung, die sich auf die drei Dimensionen des sozio-technischen Systems, Technik, Organisation und Arbeit und ihre Interdependenzen richtet und Beteiligungsverfahren für Beschäftigte und ihre Interessenvertretungen systematisch in den Einführungs- und Gestaltungsprozess von Industrie 4.0 einbezieht.

Abschließend ist zu betonen, dass eine humanorientierte Gestaltungsperspektive von Industrie 4.0 die beste Voraussetzung dafür ist, um Industriearbeit zum einen alters- und altersngerecht zu gestalten und um sie zum anderen als zumeist anspruchsvolle, belastungsarme und selbstorganisierte „High-Tech“-Arbeit für die junge Generation wieder attraktiv zu machen. Abzusehen ist, dass erhebliche Anstrengungen der Akteure in Wirtschaft, Politik und Wissenschaft erforderlich sein werden, um das skizzierte Leitbild einer künftigen industriellen Arbeits- und Produktionswelt Realität werden zu lassen (vgl. Kuhlmann und Schumann 2015; Howaldt et al. 2015). Hier müssen die Charakteristika und Chancen der skizzierten Entwicklungsperspektive weiter präzisiert werden, um die Vorstellungen und Visionen von neuer Industriearbeit dauerhaft zu implementieren.

Literatur

- Ahrens, V. (2015). Industrie 4.0: Chancen und Risiken. Präsentation Nordakademie 2014. Elmshorn.
- Autor, D. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.
- Autor, D., & Dorn, D. (2013). The growth of low-skill service jobs und the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1553–1597.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Bauernhansl, T. (2014). Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 5–36). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- BCG – Boston Consulting Group. (2015). Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf. Zugegriffen: 15. Apr. 2015.
- Becker, K.-D. (2015). Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 23–30). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Benner, C. (2014). Crowd Work – Zurück in die Zukunft. Frankfurt am Main.
- Berger, T., & Frey, C. B. (2015). Bridging the skills gap. In T. Dolphin (Hrsg.), *Technology, globalisation and the future of work in Europe* (S. 75–79). London: Essays on Employment in a digitised Economy.
- BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2015). Grünbuch Industrie 4.0. Berlin.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2014). Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen. Berlin.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2014). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. Berlin.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. (2013). Mensch-Technik-Interaktion. Berlin.
- Boes, A., Kämpf, T., Langes, B., & Lühr, T. (2014). Informatisierung und neue Entwicklungstendenzen von Arbeit. *Arbeits- und Industriesoziologische Studien (AIS)*, 7(1), 5–23.
- Bonin, H., Gregory, T., & Zierahn, U. (2015). *Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland*. Mannheim: ZEW.
- Botthof, A., & Hartmann, E. A. (Hrsg.). (2015a). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Botthof, A., & Hartmann, E. A. (2015b). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 161–163). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bowles, J. (2014). The computerisation of European jobs – Who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment? www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/ Zugegriffen: 09. Apr. 2015.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York: Norton.
- Brzeski, C., & Burk, I. (2015). Die Roboter kommen. Folgen für den deutschen Arbeitsmarkt. INGDiBa Economic Reserach. <https://www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf>. Zugegriffen: 12. Juni 2015.
- Collins, R. (2013). The end of middle class work: No more escapes. In I. Wallerstein, R. Collins, G. Derlugian, & C. Calhoun (Hrsg.), *Does capitalism have a future?* (S. 37–70). Oxford/New York: Oxford University Press.
- Cummings, M., & Bruni, S. (2009). Collaborative human-automation decision making. In S. Nof (Hrsg.), *Handbook of automation* (S. 437–447). Berlin: Springer.
- Deuse, J., Busch, F., Weisner, K., & Steffen, M. (2015). Gestaltung soziotechnischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 147–164). Baden-Baden: Nomos.
- Dombrowski, U., Riechel, C., & Evers, M. (2014). Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In W. Kersten, H. Koller, & H. Lödging (Hrsg.), *Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V.* (S. 129–153). Berlin: GITO.

- Düll, N. (Hrsg.). (2013). Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau. <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w>. Zugegriffen: 05. Jan. 2014.
- Evangelista, R., Guerrieri, P., & Meliciani, V. (2014). The economic impact of digital technologies in Europe. *Economics of Innovation and New Technology*, 23(8), 802–824.
- Forschungsunion. acatech. (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin.
- Frey, C., & Osborne, M. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Oxford Martin School Working Paper. Oxford
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Heidelberg.
- Grote, G. (2005). Menschliche Kontrolle über technische Systeme – Ein irreführendes Postulat. In K. Karrer, B. Gauss, & C. Steffens (Hrsg.), *Beiträge der Forschung zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis. Festschrift für Klaus-Peter Timpe* (S. 65–78). Düsseldorf: Symposion.
- Grote, G. (2015). Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit* (S. 131–146). Baden-Baden: Nomos.
- Günthner, W., & ten Hompel, M. (Hrsg.). (2010). *Internet der Dinge in der Intralogistik*. Wiesbaden: Springer.
- Hinrichsen, S., & Jasperneite, J. (2013). Industrie 4.0 – Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. *Betriebspraxis & Arbeitsforschung*, 6(216), 45–47.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014a). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier 38. Dortmund.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014b). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. *WSI-Mitteilungen*, 67(6), 421–429.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 9–31). Baden-Baden: Nomos.
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P., & Niehaus, J. (Hrsg.). (2015). *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Baden-Baden: Nomos.
- Howaldt, J., Kopp, R., & Schultze, J. (2015). Zurück in die Zukunft? – Ein kritischer Blick auf die Diskussion zur Industrie 4.0. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 251–268). Baden-Baden: Nomos.
- Ittermann, P., Niehaus, J., & Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Arbeiten in der Industrie 4.0 – Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. Study der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.
- Kagermann, H. (2014). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration* (S. 603–614). Wiesbaden: Springer.
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI nachrichten 13 (1. Apr. 2011), 2.
- Kinkel, S., Friedewald, M., Hüsing, B., Lay, G., & Lindner, R. (2008). *Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit*. Berlin: Ed. Sigma.
- Kuhlmann, M., & Schumann, M. (2015). Digitalisierung erfordert Demokratisierung der Arbeitswelt heraus. In R. Hoffmann & C. Bogedan (Hrsg.), *Arbeit der Zukunft. Möglichkeiten nutzen – Grenzen setzen* (S. 122–140). Frankfurt am Main: Campus.

- Kurz, C. (2014). Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit. In W. Schröter (Hrsg.), *Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und Industrie 4.0* (S. 106–111). Mössingen-Talheim: Talheimer.
- Lee, J., & Seppelt, B. (2009). Human factors in automation design. In S. Nof (Hrsg.), *Handbook of automation* (S. 417–436). Berlin: Springer.
- Leimeister, J. M., & Zogaj, S. (2013). Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie. Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Arbeit und Soziales 287. Düsseldorf.
- Lutz, B. (1987). Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen. In B. Lutz (Hrsg.), *Technik und sozialer Wandel* (S. 34–52). Frankfurt am Main/New York: Campus.
- Neef, A., & Burmeister, K. (2005). Die Schwarm-Organisation – Ein neues Paradigma für das e-Unternehmen der Zukunft. In B. Kuhlin & H. Thielmann (Hrsg.), *Real-Time Enterprise in der Praxis* (S. 563–572). Berlin u.a.O.: Springer.
- Peissner, M., & Hipp, C. (2013). *Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen*. Stuttgart: Fraunhofer.
- Pfeiffer, S. (2013). Arbeit und Technik. In H. Hirsch-Kreinsen & H. Minssen (Hrsg.), *Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie* (S. 48–53). Berlin: Nomos.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). Industrie 4.0 und Erfahrung: Statt vager Prognosen zu technologischer Arbeitslosigkeit morgen, heute das Gestaltungspotenzial der Beschäftigten nutzen und anerkennen. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 205–230). Baden-Baden: Nomos.
- Plattform Industrie 4.0. (2013). Was Industrie 4.0 (für uns) ist. Veröffentlicht am 05 Juli 2013. www.plattform-i40.de/was-industrie-40-für-uns-ist. Zugegriffen: 24 Feb. 2015.
- Rammert, W., & Schulz-Schaeffer, I. (2002). Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In W. Rammert & I. Schulz-Schaeffer (Hrsg.), *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik* (S. 11–64). Frankfurt am Main/New York: Campus.
- Reinhart, G., Engelhardt, P., Geiger, F., Philipp, T., Wahlster, W., Zühlke, D., Schlick, J., Becker, T., Löckelt, M., Pirvu, B., Stephan, P., Hodek, S., Scholz-Reiter, B., Thoben, K., Gorltd, C., Hribernik, K., Lappe, D., & Veigt, M. (2013). Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. *wt-online*, 103(2), 84–89.
- Rice, A. (1963). *The enterprise and its environment*. London: Tavistock Publications.
- Schlund, S., & Gerlach, S. (2013). Der Mensch im industriellen Holozän. *Economic Engineering*, 4, 22–26.
- Schlund, S., Hämmerle, M., & Strölin, T. (2014) Industrie 4.0 eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern wird. Ulm/Stuttgart.
- Scholz-Reiter, B., Gorges, M., & Philipp, T. (2009). Autonomously controlled production systems – Influence of autonomous control level on logistic performance. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 58(1), 395–398.
- Schuh, G., & Stich, V. (Hrsg.) (2013). *Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013*. Aachen.
- SoMaLI. (2015). „Social Manufacturing and Logistics“ – Ein Leitbild der technologischen, organisatorischen und sozialen Herausforderungen der Industrie 4.0. Forschungsvorhaben gefördert vom BMWi. Dortmund.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (Hrsg.). (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart.
- Sydow, J. (1985). *Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung*. Frankfurt am Main/New York: Campus Verlag.

- ten Hompel, M., & Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Social Manufacturing and Logistics. Rahmenpapier Forschung Industrie 4.0 als soziotechnisches System. Dortmund.
- Trist, E., & Bamforth, K. (1951). Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. *Human Relations*, 4(1), 3–38.
- Windelband, L. (2014). Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. *Journal of Technical Education*, 2(2), 138–160.
- Windelband, L., & Dworschak, B. (2015). Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, & J. Niehaus (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (S. 71–86). Baden-Baden: Nomos.
- Windelband, L., Fenzl, C., Hunecker, F., Riehle, T., Spöttl, G., Städtler, H., Hribernik, K., & Thoben, K.-D. (2011). Zukünftige Qualifikationsanforderungen durch das „Internet der Dinge“ in der Logistik. In FreQueNz (Hrsg.), *Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik. Zusammenfassung der Studienergebnisse* (S. 5–9). Bremen: ITB/BIBA.
- Wissenschaftlicher Beirat der Plattform Industrie 4.0. (2014). Neue Chancen für unsere Produktion. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0. Berlin.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Hummel, M., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R., Maier, T., & Neuber-Pohl, C. (2015). Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. IAB-Forschungsbericht 8/2015. Nürnberg.
- Zäh, F., Patron, C., & Fusch, T. (2003). Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 98(3), 75–77.
- Zuboff, S. (1988). *In the age of the smart machine. The future of work and power*. New York.: Basic Books

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



T. Mühlbradt, P. Kuhlang und T. Finsterbusch

14.1 Herausforderung „Lernen“ in der Industrie 4.0

Cyber-Physical Production Systems (CPPS) bilden einen Kernbestandteil der angestrebten Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2013, S. 89). Dazu ist, den Autoren zufolge, eine sozio-technische Gestaltungsperspektive erforderlich, in der Arbeitsorganisation, Weiterbildungsaktivitäten sowie Technik- und Software-Architekturen in enger wechselseitiger Abstimmung entwickelt werden (ebd., S. 57). CPPS gehen einher mit einer Informatisierung der Arbeit (Botthof 2014, S. 4), neuen Automatisierungsoptionen geistiger Arbeit (Brynjolfsson und McAfee 2011) und neuen Lernoptionen (Schuh et al. u. a., 2015, S. 84).

Aus den CPPS erwachsen neue Aufgaben- und Anforderungsprofile für Beschäftigte. Schlund et al. (2015, S. 6) kommen in einer Unternehmensbefragung zu folgendem Ergebnis: „Die Bedeutung von Qualifizierung und Kompetenzentwicklung für die Einführung von Industrie 4.0 wird als durchgängig sehr hoch eingeschätzt. Insbesondere die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen [...] stärkeres interdisziplinäres Denken und Handeln [...] und höhere IT-Kompetenz [...] werden als notwendig angesehen.“ Differenzierte Szenarien sehen die Entwicklung von Tätigkeiten und Qualifikationen als offen an. So

T. Mühlbradt (✉)

Deutsche MTM-Vereinigung e. V., Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen, Deutschland
e-mail: Thomas.Muehlbradt@dmtn.com

P. Kuhlang

Deutsche MTM-Vereinigung e. V., Elbchaussee 352, 22609 Hamburg, Deutschland
e-mail: peter.kuhlang@dmtn.com

T. Finsterbusch

Deutsche MTM-Vereinigung e. V., Eichenallee 11, 15738 Zeuthen, Deutschland
e-mail: thomas.fensterbusch@dmtn.com

Hirsch-Kreinsen (2015, S. 25): „Die vorliegenden Befunde stützen sowohl die Polarisierungsthese wie auch die Annahme einer generellen Aufwertung von Qualifikationen.“

Vor diesem Hintergrund kommt dem Wissens- und Kompetenzerwerb eine herausragende Bedeutung zu: „Die Aufgaben- und Kompetenzprofile der Mitarbeiter werden sich in Industrie 4.0 stark verändern. Das macht adäquate Qualifizierungsstrategien und eine lernförderliche Arbeitsorganisation notwendig, die lebensbegleitendes Lernen und eine arbeitsplatznahe Weiterbildung ermöglichen.“ (Kagermann et al. 2013, S. 6f). Schlund et al. (2015, S. 25) folgern, dass dem Thema Qualifizierung voraussichtlich „die Rolle eines kritischen Pfades bei der Umsetzung von Industrie 4.0“ zukommt. Hirsch-Kreinsen verweist im Zusammenhang mit den angesprochenen Szenarien auf die zentrale Bedeutung des betriebsspezifischen Einführungsprozesses neuer Produktionssysteme in den Anwenderunternehmen, da sich erst dann die arbeitsorganisatorische und personelle Systemauslegung konkretisiert (ebd., 2014, S. 30). Im Folgenden werden die Konzepte Arbeitsorganisation, Lernen in der Arbeit und Lernförderlichkeit näher betrachtet. Darauf aufbauend werden Gestaltungsansätze und -strategien mit dem Schwerpunkt lernförderliche Arbeitsorganisation beschrieben.

14.2 Lernförderlichkeit

Das Begriffspaar Lernen im Prozess der Arbeit (LiPA) und Lernförderlichkeit ist im Zusammenhang zu betrachten. „Mit Lernen im Prozess der Arbeit werden [...] jene Lernformen und -prozesse beschrieben, die entweder unmittelbar im Arbeitsprozess stattfinden oder sich unmittelbar auf diesen beziehen bzw. sich ihm anlagern. Ausgeklammert werden damit all jene Formen der Wissens-, Qualifikations- und Kompetenzentwicklung, die außerhalb der Erwerbsarbeit stattfinden“ (Reuther und Weiß 2003, S. 113). Arbeiten und Lernen sind in dieser Sicht keine Gegensätze: „Personalentwicklung findet vor allem in der Arbeitstätigkeit und durch Gestaltung von Arbeitstätigkeit statt“ (Ulich 2006, S. 139).

Lernen in der Arbeit kann weiter differenziert werden in ein Lernen für und aus der Arbeit (Mühlbradt u. a., 2015a, S. 3). Lernen für die Arbeit bezeichnet dann den Erwerb von Wissen und Kompetenzen für eine Aufgabe. Lernen aus der Arbeit meint aus der (längerfristigen) Durchführung der Tätigkeit entstehende, neue Wissensinhalte und Kompetenzen. Diese können dem Individuum, aber auch der Organisation zugutekommen.

Lernförderlichkeit kann demgegenüber als Fundament des Lernens in der Arbeit bezeichnet werden: „Lernförderlichkeit beschreibt die Bedingungen von Tätigkeiten, die im Arbeitsalltag bei der Arbeitsausführung Lernprozesse begünstigen bzw. lerngünstige Voraussetzungen schaffen“ (Bigalk 2006, S. 38). Ein integratives Modell, in dem LiPA und Lernförderlichkeit gemeinsam betrachtet werden, legt Mühlbradt (2014, S. 23ff) vor. Als notwendig für LiPA werden darin drei Faktoren angenommen:

- arbeitsorientierte Lernformen
- Lerngehalt der Arbeit
- lernförderliche Rahmenbedingungen

Arbeitsorientierte Lernformen werden im Weiteren nur am Rande betrachtet. Auf den Aspekt Lerngehalt wird noch näher einzugehen sein. Als lernförderliche Rahmenbedingungen identifiziert das Modell (a. a. O., S. 24) folgende Aspekte:

- klare und verbundene Ziele auf allen Ebenen sowie Personalentwicklung als Ziel
- für LiPA geeignetes Führungsverhalten und geeignete Führungsspannen
- Verfügbarkeit von Informationen sowie geeignete Kommunikationsprozesse und -kultur
- Kapazitäten und Kompetenzen für Personaleinsatz und Personalentwicklung
- technische Infrastruktur (Hard- und Software) sowie Kompetenzen für Informations- und Kommunikations-Lösungen und Medien
- Lernbereitschaft und Bereitschaft zur Übernahme von Verantwortung

14.3 Arbeitsorganisation

Der Verwendung des Begriffes liegt zumeist das Arbeitssystem als konzeptueller Rahmen zugrunde. Für die (industrielle) Arbeitsgestaltung ist der Arbeitssystembegriff nach REFA (REFA 2002, S. 64–68) üblich. Danach wird ein Arbeitsbereich (ein Arbeitsplatz, eine Produktionslinie, eine Abteilung) als Arbeitssystem durch eine Systemgrenze von seiner Umwelt abgegrenzt. Das Arbeitssystem beinhaltet die Elemente: Arbeitsaufgabe, Arbeitsablauf, Eingabe, Ausgabe, Mensch, Betriebs- und Arbeitsmittel sowie Umgebungseinflüsse. Zwischen diesen Elementen gibt es vielfältige Beziehungen.

Für jedes Arbeitssystem besteht eine Arbeitsorganisation. Diese definiert Heeg (1991, S. 17) wie folgt: „Arbeitsorganisation ist das Schaffen eines aufgabengerechten, optimalen Zusammenwirkens von arbeitenden Menschen, Betriebsmitteln, Informations- und Arbeitsgegenständen durch zweckgerichtete Gliederung der Arbeitsaufgabe, der Aufgabenteilung zwischen den Menschen und Betriebsmitteln, der Gestaltung von Information, Kommunikation und Arbeitszeit.“ Knapper formuliert Hirsch-Kreinsen (2014, S. 13): „die arbeitsteilige Strukturierung von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation zwischen den im und am System Beschäftigten.“

Erweitert man im Hinblick auf die technologischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 diese Definitionen noch um Beziehungen zwischen Betriebsmittel, Informationsmittel und Arbeitsgegenstand, so kann die Arbeitsorganisation wie in der Abb. 14.1 gezeigt dargestellt werden.

Im Kern legt die Arbeitsorganisation fest, wie die Gesamtaufgabe des Arbeitssystems zwischen Menschen beziehungsweise Mensch und Maschine aufgeteilt wird und überbrückt anschließend die daraus entstehenden Schnittstellen durch Kooperations- und Kommunikationsstrukturen und -abläufe.

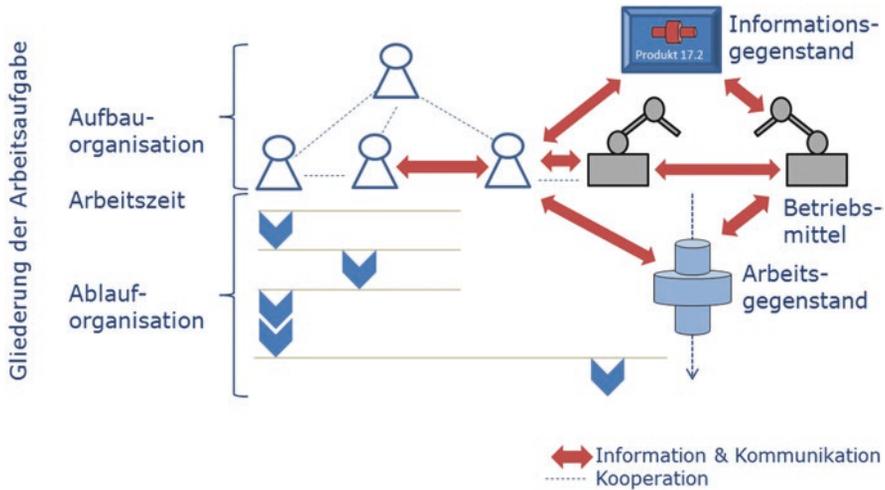


Abb. 14.1 Arbeitsorganisation (Mühlbradt 2015, S. 228)

Die Arbeitsorganisation ist im konkreten Fall in aller Regel nicht determiniert durch die eingesetzte Technologie, sodass auch an vergleichbaren Arbeitsplätzen unterschiedliche Bedingungen existieren können (z. B. Bigalk 2006, S. 151). Arbeitsorganisatorische Lösungen spiegeln in starkem Maße betrieblich tradierte Paradigmen der Arbeitsorganisation sowie Ziele, Prinzipien und Erfahrungen wider.¹ Auf diesen Aspekt wird später mit Blick auf „Lernkulturen“ noch eingegangen.

14.4 Potenziale der Arbeitsorganisation in Bezug auf Lernförderlichkeit

Für den vorliegenden Gegenstand lassen sich vor allem folgende Aspekte herausarbeiten:

- Die Arbeitsorganisation definiert Tätigkeiten und damit Arbeitsinhalte sowie Grenzen zwischen Tätigkeiten. Eine „Tätigkeit“ stellt dann die Summe der einer bestimmten Person dauerhaft übertragenen Arbeitsaufgaben dar.² Neben der horizontalen Dimension (Anzahl verschiedener Aufgaben) bestimmt die vertikale Dimension, ob neben der Aufgabenausführung jeweils auch dispositive Aufgabenanteile existieren, also

¹ Die grundsätzliche Gestaltungsfreiheit der Arbeitsorganisation tritt auch in Rechtsnormen auf, so in der Gewerbeordnung § 106 „Weisungsrecht des Arbeitgebers“: „Der Arbeitgeber kann Inhalt, Ort und Zeit der Arbeitsleistung nach billigem Ermessen näher bestimmen [...]“

² In einem weiteren Sinne kann „Tätigkeit“ auch verstanden werden als die Summe der Eindrücke und Erfahrungen, die jemand im Arbeitsleben hat. Dies schließt dann nicht arbeitsbezogene Kommunikation, das Erleben organisationaler Veränderungen etc. mit ein.

Zielsetzung, Planung und Kontrolle dazugehören. Diese Arbeitsteilung findet zwischen Menschen im Arbeitssystem, aber auch zwischen Menschen und Maschinen statt, wobei neben manueller Arbeit auch zunehmend geistige Arbeit automatisierungsfähig wird. Der Zusammenhang zur Lernförderlichkeit ist offensichtlich: Aufgaben, die nicht mir, sondern jemand anderem – oder einer Maschine – übertragen wurden, stellen nur geringe Lernanforderungen und -chancen für mich dar.

- Die Arbeitsorganisation legt Umfang und Form der zur Aufgabenerfüllung notwendigen Kommunikation zwischen Menschen im System und am System (d. h. zwischen System und Umwelt) fest. Zwischen den Polen „isolierte Einzelarbeit“ und „selbstgesteuerte Gruppenarbeit“ bestimmt sie damit analoge und digitale Vernetzungsanforderungen zwischen Menschen in der Arbeitstätigkeit. In dem Maße, wie eine Prozessorientierung vorliegt, also das Arbeitssystem als integrativer Bestandteil einer übergreifenden Wertschöpfungskette angelegt ist, ergeben sich weitere wichtige Kommunikationsbeziehungen zur Umwelt in Form von vor- und nachgelagerten Arbeitssystemen, Kunden und Lieferanten. Prozesstransparenz und Rückmeldungen werden dadurch wesentlich (Hammer und Champy 1993).
- Die Arbeitsorganisation beeinflusst mit den zuvor genannten Bereichen wesentlich den Lerngehalt der Arbeitstätigkeit. Frieling u. a. (2006, S. 57) identifizieren als tätigkeitsbezogene Schlüsselmerkmale der Lernförderlichkeit Komplexität und Selbständigkeit. Komplexität entsteht aus Anforderungsvielfalt und -tiefe und den damit einhergehenden Wissens- und Kompetenzanforderungen. Selbständigkeit (Autonomie) entsteht aus Handlungs- und Entscheidungsspielräumen und der damit verbundenen Verantwortung. Bergmann und Richter (2003, S. 41) betonen die motivationale Seite und sehen „Aufgabenbedeutung sowie Rückmeldungen und die Transparenz von Informationsflüssen“ als bedeutsam für die „Entwicklung intrinsischer arbeitsorientierter Lernmotivation“.
- Neben den objektiven Gegebenheiten sind individuelle Unterschiede zwischen Personen bedeutsam. Persönliche Werte, Bedürfnisse und Fähigkeiten interagieren mit objektiven Tätigkeitsmerkmalen (z. B. Oldham und Hackmann 2010, S. 467). Die erlebte Komplexität einer Aufgabe ist eben auch abhängig von Wissen und Fähigkeiten des Durchführenden; die subjektive Aufgabenbedeutung ist abhängig von persönlicher Wahrnehmung und normativer Bewertung objektiver Gegebenheiten. Damit ist weder eine bestimmte Lösung für alle Menschen (zu einem Zeitpunkt) gleichermaßen geeignet, noch stellt eine Verstärkung bestimmter Merkmale („mehr ist besser“) einen Wert an sich dar.

14.5 Gestaltungsansätze lernförderlicher Arbeitsorganisation für Industrie 4.0

Auf dieser Grundlage können nun Hinweise für Gestaltungsansätze gegeben werden. Diese Hinweise stellen keine vollständige Auflistung dar und können jeweils nur angerissen werden. Für eine vertiefte Beschäftigung muss auf weiterführende Literatur verwiesen werden.

Schnittstellen arbeitsorientierter Lernformen zur Arbeitsorganisation

Eine systematische Aufarbeitung von arbeitsnahen Lernformen findet sich in Mühlbradt, u. a. (2015a). Bedeutsame Schnittstellen zur Arbeitsorganisation besitzen vor allem die Qualifizierende Arbeitsgestaltung sowie die Integration von Arbeits- und Lernaufgaben.

Die **Qualifizierende Arbeitsgestaltung** beteiligt Beschäftigte im und am Arbeitssystem an der Planung und Gestaltung des Arbeitssystems. Für vorwiegend manuelle Arbeitstätigkeiten haben sich Methodenräume bewährt. In ihnen werden Strukturen und Abläufe, Arbeitsmittel und Informationsmittel gemeinsam mit Fachexperten unter Zuhilfenahme geeigneter Verfahren (z. B. Card Board Engineering) entworfen und gestaltet. Solche Methodenräume nutzen nicht nur das Fach- und Erfahrungswissen der Beschäftigten, sondern erweitern auch deren Kenntnisse und Fähigkeiten – sie haben eine qualifizierende Wirkung. Für vorwiegend geistige Arbeit mit Mensch-Maschine-Interaktion stellt das Rapid Collaborative Prototyping einen Ansatz dar. Hier werden schnelle, iterative Gestaltungsschritte von Software unter Einbezug der späteren Anwender unternommen – ebenfalls mit qualifizierender Wirkung.

Eine **Integration von Arbeits- und Lernaufgaben** sehen verschiedene arbeitsintegrierte Lernformen vor. Arbeitsaufgaben werden als Lernaufgaben organisiert und bestimmten Personen in einem Lernprozess zugewiesen; die Lernaufgabengestaltung orientiert sich an den vorliegenden oder geplanten Arbeitsaufgaben. Damit kommt Verfahren der objektiven und subjektiven Arbeitsanalyse eine zentrale Funktion zu. Objektive Analysen ermitteln beispielsweise Aufgabeninhalte und Anforderungen aus Expertensicht. Subjektive Analysen ergänzen erlebte Arbeitsmerkmale und subjektive mentale Modelle von Abläufen oder technischen Systemen und sind besonders geeignet, Lernvoraussetzungen aufzuzeigen.

Lerngehalt von Tätigkeiten Arbeitsstrukturierung

bezeichnet die dauerhafte Veränderung von Tätigkeiten durch horizontale (job enlargement) oder vertikale (job enrichment) Erweiterung von Tätigkeiten. Hinzu kommt der systematische Wechsel zwischen Aufgaben (job rotation). Ähnliche Effekte zeigen **multifunktionale Teamstrukturen**. Dieser Ansatz baut auf Rollenkonzepten und einer Matrixorganisation auf und sieht wechselnde Teamarbeitsformen in festen Arbeitsgruppen, Geschäftsprozessen oder Projekten als alternierende oder parallele Organisation vor.

Die Idee der **differenziell-dynamischen Arbeitsorganisation** (Ulich 1978) besteht darin, bestimmte arbeitsorganisatorische Setzungen einerseits zwischen Personen zu differenzieren (interindividuell) und andererseits Veränderungen über die Zeit innerhalb einer Person (intraindividuell) zuzulassen. Gerade CPPS schaffen hierfür interessante technische Möglichkeiten. So ist beispielweise vorstellbar, Aufgaben mit Anwendungssoftware in Form sogenannter „Apps“ zu koppeln und diese jeweils differenziert für individuelle mobile Endgeräte freizuschalten. Einen ähnlichen, aber noch erweiterten Ansatz stellt das **Job Crafting** dar (Tims und Bakker 2010). Hier werden Anforderungen (job demands) je nach Bedarf herauf- oder herabgesetzt und Ressourcen (job resources) nach Bedarf erhöht. Dies kann relativ dauerhaft oder auch nur kurzfristig geschehen. Das Job Crafting liegt

im Ermessensspielraum der betroffenen Person und wird durch sie selbst vorgenommen.³ Auch hier bieten CPPS neue Optionen, in dem Aufgaben an eine Maschine delegiert oder zurückgenommen werden können oder soziale Unterstützung durch Kollegen über digitale Medien angefordert werden beziehungsweise erfolgen kann.

Der Lerngehalt wird weiterhin über die systematische **Beteiligung an Standardisierungs- und Problemlösungsprozessen** beeinflusst, die neben den Kernaufgaben bestehen (z. B. Röben 2006; Springer und Meyer 2006; Liker und Meier 2006; Rother 2009). Neben einem Job Enrichment ergeben sich erweiterte Kommunikationsanforderungen sowie die motivational bedeutsame Erfahrung der Selbstwirksamkeit (Deci und Ryan 1985; Frieling u. a., 2006, S. 92), auch wenn der Lerngehalt der Kernarbeit selbst nicht verändert werden kann oder soll.

Kooperation und Kommunikation im und am Arbeitssystem

Das Konzept der **Regelkommunikation** implementiert geplante und regelmäßige Kommunikationssituationen als definierten Rahmen für den Informationsaustausch im Arbeitssystem selbst, beziehungsweise zwischen dem Arbeitssystem und seiner Umwelt. Dieser Rahmen ist zeitlich, personell und methodisch vorbestimmt und schafft damit eine Balance zwischen häufiger, zeitnaher Kommunikation und Aufwand (z. B. Schuh et al. u. a., 2014, S. 288). **Communities of Practice** (Wenger 1998) sind Gruppen von Personen, die ein gemeinsames arbeitsbezogenes Interesse aufweisen und Wissen und Kompetenzen durch häufige Interaktion erweitern. Diese Gruppen sind Arbeitssystem-übergreifend zusammengesetzt. Hier bieten internetbasierte soziale Medien innovative Gestaltungsmöglichkeiten (z. B. Bohlander et al. u. a., 2011). Schließlich lassen sich in CPPS dafür auch Mensch-Maschine-Kombinationen denken. So sollen sich Produktionssysteme als „**Social Machines**“ automatisch über Cloud-basierte Dienste verbinden und sich situationsabhängig die benötigten menschlichen Experten suchen (Kagermann et al. 2013, S. 69).

14.6 Lernförderlichkeit als Strategie

In den bisherigen Ausführungen wurde die Arbeitsorganisation als zu gestaltende Lösung betrachtet. An dieser Stelle soll über diese Sichtweise hinausgegangen werden.

In der betrieblichen Praxis ist eine zunehmende Variabilität arbeitsorganisatorischer Lösungen festzustellen. So bestehen bedeutsame Unterschiede selbst zwischen verschiedenen Produktionslinien desselben Produkts. Innerhalb von Arbeitssystemen folgen Veränderungen immer schneller aufeinander, sodass mittel- bis längerfristig konstante Arbeitsorganisationen seltener angetroffen werden. Schließlich ist es aufgrund der Heterogenität und Komplexität der Arbeitsorganisation immer schwieriger zu bestimmen, ob gleichlautende Lösungen immer auch faktisch identisch sind.

³Es sei auf den daraus entstehenden Abstimmungsaufwand zwischen betrieblichen und persönlichen Zielen hingewiesen.

Dartüber hinaus ist von einer gewissen Pfadabhängigkeit arbeitsorganisatorischer Veränderungsprozesse auszugehen. Lorenz und Valeyre (2005) kommen auf Basis einer inferenzstatistischen Auswertung von EWCS-Daten⁴ zu dem Ergebnis, dass sich vier grundlegende Paradigmen der Arbeitsorganisation finden lassen, die sich hinsichtlich des Stellenwertes sowie der Art und des Ausmaßes von Lernen deutlich unterscheiden (vgl. Unger 2012; Mühlbradt u. a., 2015b). Da solche Paradigmen langfristig bestehen, ist davon auszugehen, dass sie verschiedene Lernkulturen etablieren.⁵ Daran wird deutlich, dass identische arbeitsorganisatorische Lösungen auch aus organisationaler Perspektive nicht in allen Situationen gleichwertig sein können (vgl. Pfäfflin und Rehberg 2008, S. 97).

Vor dem Hintergrund von Variabilität und Pfadabhängigkeit ist es hilfreich, die Arbeitsorganisation in Anlehnung an Weick (1985) auch als „Prozess des Organisierens“ zu verstehen. Dieser Prozess ist selbst ein Lernprozess, in dem verschiedene Lösungen innerhalb eines Paradigmas erprobt und verändert werden oder ein längerfristiger Wandel von einem alten zu einem neuen Paradigma stattfindet. Aus dieser Perspektive kann eine lernförderliche Arbeitsorganisation als umfassendes betriebliches Lernprojekt angelegt werden, bei dem gute und schlechte Erfahrungen mit bestimmten Lösungen systematisch erfasst und verarbeitet werden und sich eine individuelle betriebliche Praxis herausbildet. Notwendig ist dazu ein leitendes Instrumentarium, welches von konkreten arbeitsorganisatorischen Lösungen abstrahiert und ein evidenzbasiertes Voranschreiten unterstützt. Dieser Aspekt soll abschließend näher betrachtet werden.

Mit der „Wissensbilanz made in Germany“ (Alwert et al. 2008) liegt ein Instrument vor, um das Intellektuelle Kapital einer Organisation zu erfassen und zu bewerten. Unterschieden werden dabei die Kapitalarten Struktur-, Human- und Beziehungskapital, die betriebsindividuell auszufüllen und zu bewerten sind. Dieser Ansatz kann für den „Prozess des Organisierens von Lernförderlichkeit“ fruchtbar gemacht werden, indem systematisch und periodisch Veränderungen beim Intellektuellen Kapital erhoben und bewertet werden. Zur Ausformung der drei Kapitalarten im Hinblick auf Lernförderlichkeit kann der nachstehende Vorschlag eine Orientierung geben:

Strukturkapital

- Integration von Arbeitsgestaltung und Personalentwicklung
- Quantität und Qualität arbeitsorientierter Lernlösungen
- Individualisierung von Tätigkeitsinhalten
- Durchlässigkeit von Tätigkeitsgrenzen
- Verbreitung und Qualität der Regelkommunikation

⁴European Working Conditions Survey.

⁵Dabei kann Lernkultur mit Schmidt-Rathjens (2007, S. 4) verstanden werden als „... Gesamtheit der Wertvorstellungen, Denkmuster, Handlungsweisen und Rahmenbedingungen einer Organisation und ihrer Mitglieder hinsichtlich der Förderung von Lernen und Entwicklung von Kompetenzen.“

Humankapital

- lernförderliches Führungsverhalten
- Selbständigkeit der Beschäftigten

Beziehungskapital

- Transparenz
- wahrgenommene Qualität und Bedeutung (Sinnhaftigkeit) der Arbeit

CPPS als sozio-technische Systeme ermöglichen und erfordern lebensbegleitendes Lernen der Beschäftigten. Die Informatisierung der Arbeit und die Verfügbarkeit multimedialer Mensch-Computer-Schnittstellen schaffen neue Gestaltungsoptionen für das individuelle und organisationale Lernen. Lernförderliche industrielle Arbeitssysteme benötigen aber darüber hinaus geeignete arbeitsorganisatorische Konzepte und Organisationsstrategien als Fundament des Lernens in der Arbeit.

Literatur

- Alwert, K., Bornemann, M., & Will, M. (2008). Wissensbilanz – Made in Germany. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- Bergmann, B., & Richter, F. (2003). Berufliche Kompetenzentwicklung in der veränderten Arbeitswelt. *Wirtschaftspsychologie* 2003, Ausgabe 1, S.1996–1998.
- Bigalk, D. (2006). Lernförderlichkeit von Arbeitsplätzen – Spiegelbild der Organisation? Kassel.
- Bohlander, H., Gebauer, T., Mühlbradt, T., & Kivikas, M. (2011). Ressource Wissen nutzen – Wissensmanagement strategieorientiert entwickeln. Schriftenreihe des Forschungsinstituts Betriebliche Bildung (f-bb) gemeinnützige GmbH (Bd. 48). Bielefeld.
- Botthof, A. (2014). Einordnung und Hintergründe. In Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 4–6). Berlin: Springer.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2011). *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Lexington, MA.: Digital Frontier Press.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum.
- Frieling, E. u. a. (2006). *Lernen durch Arbeit. Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Lernmöglichkeiten am Arbeitsplatz*. Münster: Waxmann Verlag GmbH.
- Hammer, M., & Champy, J. (1993). *Reengineering the corporation: A manifesto for business Revolution*. New York: Harper Business.
- Heeg, F.-J. (1991). *Moderne Arbeitsorganisation*. 2. Aufl. Darmstadt: Hanser.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014. Dortmund.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 43/2015. Dortmund.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, Frankfurt a. M.

- Liker, J. K., & Meier, D. P. (2006). *The Toyota way fieldbook*. New York: McGraw-Hill.
- Lorenz, E., & Valeyre, A. (2005). Organisational innovation, human resource management and labour market structure: A comparison of the EU-15. *Journal of Industrial Relations*, 47(4), 424–442.
- Mühlbradt, T. (2014). Was macht Arbeit lernförderlich? – Eine Bestandsaufnahme. In Deutsche MTM-Vereinigung e. V. (Hrsg.), *MTM-Schriften Industrial Engineering, Ausgabe 1*. Berlin: Deutsche MTM-Vereinigung e. V.
- Mühlbradt, T. (2015). „Engineering lernförderlicher Industrieller Arbeitssysteme“. In P. Kuhlmann (Hrsg.), *Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering* (S. 209–244). Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Mühlbradt, T., Senderek, R., Rodenhauser, T., & Saupp, L. (2015a). Arbeitsorientierte Lernlösungen für Industrielle Arbeitssysteme: Lernen für die Arbeit. In Deutsche MTM-Vereinigung e. V. (Hrsg.), *MTM-Schriften Industrial Engineering, Ausgabe 2*. Berlin: Deutsche MTM-Vereinigung e. V.
- Mühlbradt, T., Kuhlmann, P., & Senderek, R. (2015b). Lernkultur als Kernkompetenz für das arbeitsnahe Lernen in der Industrie 4.0. In ABWF (Hrsg.), *Lernförderliche Arbeitsgestaltung – Arbeitsförderliches Lernen*. ABWF-Bulletin, (im Druck).
- Oldham, G. R., & Hackman, J. R. (2010). Not what it was and not what it will be: The future of job design research. *Journal of Organizational Behavior*, 31(2–3), 463–479.
- Pfäfflin, H., & Rehberg, F. (2008). Erfahrungsförderliche Arbeitsgestaltung. In W. Adami u. a. (Hrsg.), *Montage braucht Erfahrung* (S. 96–115). München und Mehring: Rainer Hampp Verlag.
- REFA. (Hrsg.). (2002). *Ausgewählte Methoden zur Prozessorientierten Arbeitsorganisation*. Darmstadt.
- Reuther, U., & Weiß, R. (2003). Der Programmbereich „Lernen im Prozess der Arbeit“. In Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V. (Hrsg.), *Zwei Jahre „Lernkultur Kompetenzentwicklung“*. QUEM-report *Schriften zur beruflichen Weiterbildung*, Heft 79 (S. 91–138). Berlin: ESM Satz und Grafik GmbH.
- Röben, P. (2006). Betriebliche Weiterbildung und einfache Arbeit. In U. Clement & M. Lacher (Hrsg.), *Produktionssysteme und Kompetenzerwerb* (S.157–180). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Rother, M. (2009). *Toyota Kata: Managing people for improvement, adaptiveness and superior results*. New York: McGraw-Hill.
- Schlund, S., Hämmerle, M., & Strölin, T. (2015). *Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung*. Stuttgart: Ingenics AG.
- Schmidt-Rathjens, C. (2007). Spezifische Bedingungen von KMU bezüglich der Entwicklung und Erfassung der betrieblichen Lernkultur. Die Lernkultur-Checkliste (LKC-KMU). QUEM-Materialien, N79, Berlin.
- Schuh, G., Potente, T., Thomas, C., & Hauptvogel, A. (2014). Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 276–295). Wiesbaden: Springer.
- Schuh, G., Gartzten, T., Rodenhauser, T., & Marks, A. (2015). Promoting work-based learning through industry 4.0. In *Procedia CIRP* (S. 82–87). Amsterdam: Elsevier
- Springer, R., & Meyer, F. (2006). Flexible Standardisierung von Arbeitsprozessen. In U. Clement & M. Lacher (Hrsg.), *Produktionssysteme und Kompetenzerwerb* (S. 43–54). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Tims, M., & Bakker, A. B. (2010). Job crafting: Towards a new model of individual job redesign. *SA Journal of Industrial Psychology*, 36(2), 1–9.
- Ulich, E. (1978). Über mögliche Zusammenhänge zwischen Arbeitstätigkeit und Persönlichkeitsentwicklung. *Psychozial*, (1), 44–63.

- Ulich, E. (2006). Lern- und Entwicklungspotentiale in der Arbeit – Beiträge der Arbeits- und Organisationspsychologie. In K. Sonntag (Hrsg.), *Personalentwicklung in Organisationen* (S. 138–176). Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Unger, H. (2012). Lernen im Prozess der Arbeit – zur Aktualität einer alten Idee. In R. Schimweg u. a. (Hrsg.), *Partizipation und Führung* (S.97–110). Marburg: Tectum Verlag.
- Weick, K. (1985). *Der Prozess des Organisierens*. Frankfurt a M: Suhrkamp.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: learning, meaning, and identity*. Cambridge: Cambridge University Press.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Anne Meyer, Stefan Zander, Rico Knapper und Thomas Setzer

15.1 Einleitung

Unterschiedliche, sich schnell entwickelnde Technologien aus dem Bereich Industrie 4.0 erlauben die immer detailliertere Aufnahme von Daten, die den aktuellen Zustand von Geschäfts-, Produktions- oder Logistikprozessen beschreiben. Die resultierende Flut an Daten allein bietet einem Unternehmen jedoch unmittelbar noch keine Vorteile.¹ Nur wenn die Daten tatsächlich zur Basis für bessere Unternehmensentscheidungen werden – zum Beispiel durch das Gewinnen problemrelevanter Erkenntnisse für menschliche Entscheider oder durch die Unterstützung durch (teil-)automatisierte Planungs- und Steuerungsverfahren – wird der Einsatz von Industrie 4.0 Technologien wirksam (vgl. Schreiner 2013; Laney 2015).

Der Prozess der Datentransformation ist damit offensichtlich erfolgskritisch für alle Bemühungen im Bereich Industrie 4.0 (vgl. European Commission 2013 und <http://www.fofdationproject.eu/>). In sich dynamisch ändernden, oft komplexen Geschäftsumfeldern

¹ Lt. einer Untersuchung des Marktforschungsunternehmens Pierre Audoin Consultants (PAC) sehen 55 % der Befragten Unternehmen die permanent steigende Datenflut als eine der größten Herausforderungen für Industrie 4.0 (Prud'hommeaux und Seaborne PAC 2013).

A. Meyer (✉)

FZI Forschungszentrum Informatik, Haid-und-Neu-Str. 10-14, 76131 Karlsruhe, Deutschland
e-mail: meyer@fzi.de

S. Zander

Fachbereich Informatik, Hochschule Darmstadt, Schöfferstraße 8B, 64295 Darmstadt, Deutschland
e-mail: stefan.zander@h-da.de

R. Knapper · T. Setzer

weist schon die isolierte Betrachtung einzelner Aktivitäten und Teilprozesse beispielsweise zur Gewinnung und Integration von Daten aus unterschiedlichsten.

Quellen, zur Analyse dieser Daten, zum Treffen von (guten) Entscheidungen sowie zur Kommunikation der Entscheidung an den Ort der Umsetzung eine sehr hohe Komplexität auf.

Die Erfahrungen des FZI Forschungszentrum Informatik aus einer Vielzahl an Industrie- und Forschungsprojekten im Kontext von Industrie 4.0 und Big/Smart Data zeigen jedoch, dass das enorme Potenzial vorhandener Daten nur sinnvoll genutzt werden kann, wenn die Datenverarbeitung als zusammengehöriger, abgestimmter Prozess – von der Datengewinnung bis zur Entscheidung – verstanden und modelliert wird. Die besondere Herausforderung einer solchen durchgängigen, ganzheitlichen Prozessbetrachtung liegt in der Orchestration von Techniken verschiedener Disziplinen und Forschungsrichtungen wie Wissensmanagement und -repräsentation, skalierbare Infrastrukturen für heterogene, multimodale Datenströme, Data Analytics, statistisches Lernen und Operations Research (vgl. Beste 2014).

Aktuell verfügbare Lösungsangebote auf dem Markt sowie Forschungsprojekte in diesem Bereich adressieren jedoch oft sehr konkrete Anwendungen oder nur einzelne der oben genannten Schritte, die oftmals nicht oder nur bedingt auf andere Aufgaben übertragbar sind. Dieser Beitrag verfolgt daher das Ziel, technologische und methodologische Ansatzpunkte für die Entwicklung einer intelligenten, auf die Anforderungen zukünftiger Industrie 4.0 Fertigungs- und Logistikprozesse ausgerichteten “Echtzeit Informations-Wertschöpfungskette” zu liefern. Die dargestellte Vision umfasst neue Methoden und Techniken zur gewinnbringenden Gestaltung durchgehend informationsgetriebener, unternehmerischer Entscheidungen. Damit sollen insbesondere

- (i) schnelle Reaktionen auf Veränderungen und Anomalien möglich sein,
- (ii) mehr Daten aus heterogenen Quellen in Echtzeit verarbeitet werden können,
- (iii) Zusammenhänge auch in größeren Datenmengen zuverlässiger und zielgerichteter erkannt werden und
- (iv) vorhandene Informationen mit mathematischen und ökonomischen Mechanismen systematisch kombiniert und zur besseren Planung und Steuerung nutzbar gemacht werden.

Hierfür ist die Schaffung technischer Werkzeuge notwendig, die diese Methoden und Techniken als Gesamtkette umsetzen und vom Business Anwender bedient werden können.² Daher sind einfach bedienbare Konfiguratoren und Informationssysteme nötig, auf deren Basis die komplexe Modellbildung bestmöglich unterstützt wird und im Hintergrund abläuft, um den Entscheider von automatisierbaren Schritten zu entlasten und den Fokus gezielt auf notwendige Entscheidungsalternativen zu lenken.

Auf Basis existierender Arbeiten und unseren Erfahrungen aus konkreten Projekten im Kontext Industrie 4.0 charakterisieren wir in diesem Beitrag die typischen Bestandteile

² Vgl. den Beitrag „Der Mensch in Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme“ von Susanne Vernim, Christiane Dollinger, Andreas Hees und Gunther Reinhart in diesem Buch.

solcher „Entscheidungssysteme“. Daneben werden die Herausforderungen – sowohl auf den einzelnen Stufen als auch übergreifend – beschrieben und ein Konzept skizziert, um die diversen Anforderungen strukturiert adressieren zu können. Ein besonderer Fokus liegt darauf, die Wechselwirkungen zwischen den Stufen zu identifizieren (Abschn. 15.4). Für konkrete Anwendungsfälle betrachten wir das Potenzial einer Decision Support Pipeline (Abschn. 15.3) und schließen den Beitrag mit einer kurzen Zusammenfassung (Abschn. 15.4).

15.2 Durchgängige Datenverarbeitungskette

Basierend auf Auswertungen vergangener und aktueller Projekte aus unterschiedlichen Themenbereichen im Kontext Industrie 4.0 diskutieren wir in diesem Abschnitt Eigenschaften und Anforderungen an eine durchgängige, datengetriebenen Verarbeitungskette sowie deren Manifestation in einer Decision Support Pipeline. Hierbei setzen wir auf ein breites Themenspektrum auf und adressieren Herausforderungen aus den Bereichen Steuerung und Planung fertigungsnaher Logistiknetzwerke (ProveIT,³ RAN⁴), dem Störungsmanagement im Produktionsumfeld (BigPro⁵), der optimierten Steuerung von fördertechnischen Anlagen (Forschungskooperation Dillinger Hütte⁶), der intelligenten Wartungsüberwachung und -steuerung von Industrieanlagen (ProaSense,⁷ BigPro), der Planungsunterstützung öffentlicher Einsätze bei Großschadenlagen (BigGIS⁸), sowie der intelligenten Konfiguration von Robotikanlagen und deren Anpassung an individuelle Produktionsgegebenheiten (ReApp⁹).

15.2.1 Eigenschaften und Anforderungen

Der Datenverarbeitungsprozess lässt sich auf grobgranularer Betrachtungsebene in fünf aufeinanderfolgende Prozessschritte unterteilen (siehe Abb. 15.1). Zu Beginn steht die (I) Gewinnung und (II) Integration großer Mengen oftmals unstrukturierter und unzuverlässiger Daten aus heterogenen Datenquellen im Vordergrund. Als Quellen stehen typischerweise lokale Systeme genauso wie ubiquitäre Sensoren oder Wissensbasen mit Expertenwissen zur Verfügung. Basierend auf den aus den ersten beiden Schritten resultierenden Daten erfolgt (III) die Analyse der Daten, die von rein deskriptiven Analysen bis

³ <http://prove-it.org/>

⁴ <https://www.fzi.de/de/forschung/projekt-details/ran/>

⁵ <https://www.fzi.de/de/forschung/projekt-details/bigpro-einsatz-von-big-data-technologien-zum-stoerungsmanagement-in-der-produktion/>

⁶ <https://www.fzi.de/LSO>

⁷ <http://www.proasense.eu/>

⁸ <https://www.fzi.de/forschung/projekt-details/biggis/>

⁹ <http://www.reapp-projekt.de/index.php>

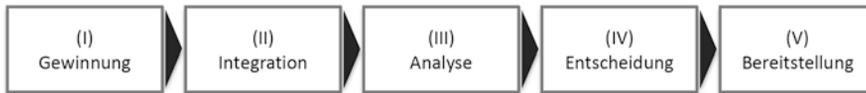


Abb. 15.1 Typische Datenverarbeitungsprozesse in Industrie 4.0 Anwendungen

hin zu komplexen Vorhersagen (prädiktive Analyse) reichen kann. Im vorletzten Schritt (IV) Entscheidungen erfolgt die präskriptive Analyse – entweder mithilfe einfacher regelbasierter Verfahren oder mithilfe fortgeschrittener Optimierungsverfahren. Die Phase (V) Bereitstellung steht am Ende des Entscheidungsprozesses und garantiert eine schnelle und bedarfsgerechte Kommunikation der notwendigen Informationen am Ort der Ausführung bzw. eine automatisierte Instanziierung der Entscheidung.

Der Aufwand für die Schritte Gewinnung und Integration hängt stark von der Anzahl der relevanten Datenquellen, dem Grad der Strukturierung der Daten sowie vom Umfang der für die nachfolgenden Schritte benötigten Daten ab. Je nach Anwendung kann zudem nach dem Schritt Analyse direkt die Bereitstellung folgen, z. B. in Form einer Visualisierung des Analyseergebnisses für menschliche Entscheider. Auch ist es möglich, dass eine automatisierte Weiterverarbeitung des Analyseergebnisses erfolgt. So kann eine Prognose unmittelbar als Eingangsgrößen in Steuerungs- oder Planungsverfahren dienen. Unabhängig vom Anwendungsfall sind bei einer Verknüpfung der Prozessschritte zu einer Datenverarbeitungskette jedoch insbesondere die folgenden Eigenschaften wünschenswert:

- **Technische Adaptierbarkeit:** Ein durchgängiges Datenverarbeitungssystem muss die Möglichkeit bieten, Konzepte und Werkzeuge einfach an sich ändernde technisch oder betriebliche Rahmenbedingungen anzupassen. Beim Störungsmanagement für Transportprozesse muss das System zum Beispiel mit sich wandelnden Netzwerken aus unterschiedlichen Logistikdienstleistern, Speditionen und deren teilweise häufig wechselnden Frachtführern umgehen können. In diesem Bereich unterscheiden sich nicht nur die IT-Voraussetzung zwischen großen Anbietern und Kleinbetrieben mit nur einer einzigen Zugmaschine im Fuhrpark. Teilweise unterscheiden sich auch die Geschäfts- und Vertragsbedingungen sowie die betroffenen Logistikprozesse erheblich.
- **Funktionale Adaptierbarkeit** durch die Business User: Die zu entwickelnden Werkzeuge für die einzelnen Phasen müssen neben einer eingängigen Bedienbarkeit durch Endanwender die Möglichkeit der Berücksichtigung von Wissen und Domänenexpertise bieten. Zyklische, saisonale Trends (z. B. Absatzspitzen zu bestimmten Jahreszeiten) oder auch kurzfristig auftretende aber maschinell gut repräsentierte Ereignisse (z. B. Änderung der Verkehrslage) sind über automatisierte Modelle gut abbildbar. Doch gerade wichtiges Wissen über „weiche“ Veränderungen – z. B. die Stimmungslage bei wichtigen Kunden – kann nur von Domänenexperten eingebracht werden. Die Möglichkeit der technischen Integration dieses Wissens ist daher nicht zuletzt aus Akzeptanzgründen beim späteren Anwender unabdingbar.

- **Generalisierbarkeit:** Konzepte und Werkzeuge müssen auf unterschiedliche Fragestellungen innerhalb einer Domäne anwendbar sein. Im Anwendungsfeld Logistik zum Beispiel sollten einheitliche oder ineinander konsistent überführbare Datenmodelle für langfristige Analysen und Entscheidungen im Supply Chain Management und für sehr kurzfristigen Analysen und Entscheidungen im Störungsmanagement zur Verfügung stehen. Basismodelle und Infrastruktur sollten auch über Domänengrenzen hinweg wiederverwendbar sein.
- **Robustheit:** Die zu entwickelnden Systeme müssen robust gegenüber Schwankungen in der Qualität der gelieferten Daten und Zwischenergebnisse sein. Die Qualität einer geschätzten Ankunftszeit in einem Transportprozess hängt zum Beispiel sehr stark von der Qualität der Fahrzeitprognosen und damit von der Qualität aktueller Verkehrsinformationen ab. Das sollte in den nachfolgenden Verarbeitungsprozessen bekannt sein und so Berücksichtigung finden können.
- **Echtzeitfähigkeit:** Im Kontext Industrie 4.0 besteht die Anforderung einer Nah-Echtzeitfähigkeit in der Regel für alle Komponenten oder Module eines Datenverarbeitungssystems. Eine besondere Herausforderung stellt die Echtzeitfähigkeit für modularisierbare Verfahren in den Bereichen Analyse und Optimierung dar, denn in der Regel hängt die Leistungsfähigkeit von Verfahren hinsichtlich Laufzeit und Qualität von der konkreten Ausprägung von Problemstellungen ab. Hier kann die semantische Beschreibung der Problemstellung helfen, automatisiert passende Verfahren in Abhängigkeit der Problemausprägung und der konkreten Probleminstanz auszuwählen (siehe [Abschn. 15.2.2](#)).

Auf der Ebene der einzelnen Datenverarbeitungsschritte existieren aktuell sowohl forschungs- als auch praxisseitig vielversprechende Ansätze, die diese Aspekte oder bestimmte Ausschnitte erfolgreich adressieren. Eine große Herausforderung, und gleichzeitig ein großes Potenzial, besteht jedoch in der Zusammenführung der Einzelschritte in eine ganzheitliche datengetriebenen System- und Toolinfrastruktur.

15.2.2 Decision Support Pipeline – Manifestation einer durchgängigen Datenverarbeitungskette

In der Decision Support Pipeline manifestiert sich unsere Vision einer datengetriebenen System- und Werkzeuginfrastruktur, die die zuvor beschriebenen Eigenschaften mitbringt und den Anforderungen gerecht wird. Im Folgenden geben wir zunächst einen Überblick über die wichtigsten Komponenten und beschreiben danach deren konzeptionelle und funktionale Basis.

15.2.2.1 Übersicht

[Abb. 15.2](#) zeigt die Hauptkomponenten der Decision Support Pipeline. Die weiß hinterlegten Module lassen einen engen Zusammenhang zu den zuvor identifizierten typischen Prozessschritten erkennen: Ein Modul adressiert gemeinsam die Gewinnung und Integration der Daten, ein zweites die Analyse, ein weiteres das Thema Entscheidungsunterstützung

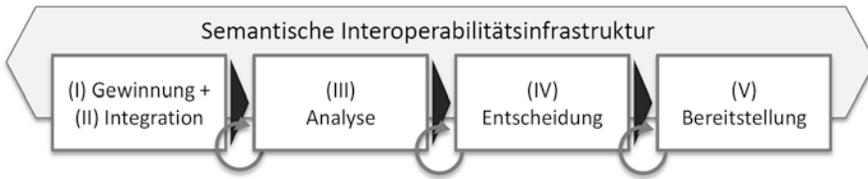


Abb. 15.2 Hauptkomponenten und Ablauf einer Decision Support Pipeline

und ein letztes adressiert die Bereitstellung der Ergebnisse. Der Zuschnitt der Module ergibt sich aus der engen Verwandtschaft der verwendeten Methoden.

Die in der Abbildung grau hinterlegte semantische Interoperabilitätsinfrastruktur stellt das verbindende Element über die Module hinweg dar: Die Interoperabilitätsinfrastruktur baut auf Sprachen und Technologies des semantischen Web Stack¹⁰ (W3C 2007) auf, die im Rahmen der W3C Data Activity¹¹ entworfen und standardisiert wurden. Sie nutzt das Resource Description Framework (RDF) (Klyne 2004; Lassila & Swick 2002) und Ontologiesprachen wie die Web Ontology Language (OWL) (Owl 2 web ontology language document overview 2009; Dean & Schreiber 2004; W3C OWL Working Group 2012) als Datenbeschreibungs- und Austauschformat. Dies ermöglicht die Erstellung eines übergreifenden Meta-Modells, welches neben den Eingangs- und Ausgangsdaten auch die Modelle und Werkzeuge auf Modulebene sowie die (Zwischen-)Ergebnisse des Analyse- und Entscheidungsmoduls in einem einheitlichen Format beschreibt. So wird einerseits die angestrebte „Durchlässigkeit“ des Datenverarbeitungsprozesses gewährleistet, andererseits erlaubt dieser Modellansatz eine intensive Unterstützung des Anwenders bei der Konfiguration von Methoden oder Diensten. So können bei der Komposition von Analyse- und Entscheidungsmodellen nicht nur Konsistenzprüfungen innerhalb des Moduls vorgenommen werden, sondern es kann auch geprüft werden, ob die für die gewählten Werkzeuge benötigten Daten im richtigen Format und in ausreichender Qualität vorliegen. Sollen beispielsweise stochastische Optimierungsverfahren im Entscheidungsmodul zum Einsatz kommen, so müssen im Analysemodul entsprechende statistische Verteilungen aus den Daten hergeleitet werden.

Die in der Abbildung dargestellten Feedbackschleifen zwischen den Modulen sollen verdeutlichen, dass die Decision Support Pipeline nicht zwangsläufig linear und unidirektional verläuft. Zum Beispiel hängt die Qualität der Lösung und die Laufzeit bei vielen Optimierungsverfahren von der zeitlichen Auflösung und dem Aggregationsniveau der Eingangsdaten ab. Dementsprechend gibt es Anwendungen, in denen es sinnvoll ist, dass der Anwender in einem iterativen Prozess auch bei der Auswahl der für das Entscheidungsmodells passenden Granularität der Inputdaten unterstützt wird.

¹⁰ <http://www.w3.org/standards/semanticweb/>

¹¹ <http://www.w3.org/2013/data/>

15.2.2.2 Funktionale Beschreibung der Komponenten

Aufbauend auf den in [Abb. 15.2](#) dargestellten Schritten beschreibt dieses Kapitel die wesentlichen Aufgaben der einzelnen Decision Support Pipeline Komponenten.

Gewinnung und Integration:

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Prozessschritte ist die Entwicklung einer applikations-unabhängigen und skalierbaren Datenakquiseinfrastruktur zur Erfassung und Aggregation von verteilten heterogenen Datenströmen. Diese Datenströme werden von unterschiedlichen Datenquellen erfasst und in weiteren Schritten „veredelt“. Grundlage hierfür bildet die Definition eines einheitlichen Ontologie-basierten semantischen Datenstrukturmodells, auf dessen Basis die Akquise, Aggregation, Repräsentation, Verfeinerung und Verteilung von gewonnenen Daten vollzogen werden kann. Ein solches semantisches Datenstrukturmodell bildet die Basis für eine Reihe von wesentlichen Funktionen:

- (i) Es ermöglicht die Transformation von Rohdatenströmen in sinnvolle und aussagekräftige semantische Instanzdaten, sogenannte semantische Graphenstrukturmodelle (vgl. RDF (Klyne 2004; W3C 2014)), die mithilfe von gängigen industriespezifischen Klassifikationssystemen und Vokabularen annotiert werden.
- (ii) Es ermöglicht die Entkopplung von Akquise-, Aggregations- und Verarbeitungslogik durch den Einsatz des Konzepts der Data Uniformity, da Daten und Datensemantik von der eigentlichen Verarbeitungslogik getrennt werden. Datenmodelle enthalten neben den reinen Daten (sog. Observables) auch Informationen zu ihrer intentionalen Semantik.
- (iii) Die Kopplung mit axiomatisch definierten Wissensbasen (vgl. Baader et al. 2003; Krötzsch et al. 2014; Rudolph 2011) erlaubt die Aufstellung und Überprüfung von Konsistenzanforderungen an gewonnenen und aggregierten Daten durch Inferenzmaschinen, sogenannte DL Reasoner.¹² Ferner lässt sich die durch Ontologien beschriebene formale Semantik nutzen, um implizit enthaltenes Wissen in gewonnenen Daten sichtbar zu machen (siehe Zander & Awad 2015).
- (iv) Es ermöglicht die Miteinbeziehung von Qualitätsmerkmalen (sog. Data Quality Indicators) auf Basis derer eine Abschätzung hinsichtlich der Verlässlichkeit und Vertrauenswürdigkeit gewonnener Daten möglich ist. Dies ist zum Beispiel für die frühzeitige Erkennung von anstehenden Wartungsarbeiten bei Anlagen und Maschinen (Predictive Maintenance) hilfreich, da durch eine präzisere und quantitativ wie qualitativ höherwertige Datenbasis eine bessere maschinelle Datenanalyse sowie Planung gewährleistet werden kann.

Analyse:

Aufbauend auf der Datenakquiseinfrastruktur unterstützt eine Fabrik von Modellen und Methoden zur Visualisierung und (semi-)automatisierten Analyse der Daten deren

¹² Beispiele zur Überprüfung von Konsistenzanforderungen an aggregierten Daten mittels ontologischer Semantik und Inferenz finden sich in (Zander & Awad 2015 und Zander et al. 2015).

Verdichtung sowie deskriptive und prädiktive Analysen. Der Methodenkatalog umfasst dabei auch zu Analyseprozessen orchestrierte Modelle und Methoden (sog. „service-oriented analytical architecture“) um flexibel konfigurierbar analytische Fragestellungen im Bereich Industrie 4.0 zu adressieren. Zentrales Element der Fabrik (neben dem Katalog mit analytischen/orchestrierten Techniken) ist ein „Smart Model Selector“. Dieser soll mit den vorhandenen Daten entweder autonom die integrierte Modell- und Datenauswahl vornehmen oder die Auswahl und Konfiguration weitgehend unterstützen und auch „beste Alternativen“ inklusive erklärenden Texte und Statistiken generieren.

Neben der Abstimmung mit den Datenmodellen in der Datenakquiseinfrastruktur (z. B. zur Gewichtung von Datenquellen basierend auf deren Qualitätsmerkmalen) erfolgt eine Koordination auch mit den zu lösenden Optimierungsproblemen und -modellen. Dieses Vorgehen bei der Auswahl und Konfiguration von analytischen Modellen ist grundlegend neu, da hierbei eine problemsensitive Daten- und Modellauswahl erfolgt. Hierdurch soll die Daten- und Analysemodellauswahl zielgerichteter auf die Optimierungsmodelle abgestimmt werden und letztlich komplexe Planungs- und Entscheidungsprobleme im Kontext von Industrie 4.0 besser gelöst und Prozesse effizienter und robuster durchführbar werden.

Beispielsweise ist bei heutigen Planungs- und Steuerungsaufgaben in der Logistik nicht klar, welcher Planungshorizont bei der Bestimmung von Produktlosgrößen auf Produktionsanlagen bei unsicherer Nachfrage und weiteren stochastischen betrieblichen Kennzahlen gewählt werden soll, um nahezu optimale und robuste Produktionsprogrammplanungen zu bestimmen. Dies hängt neben Charakteristika des Optimierungsproblems (z. B. Rüstkosten und -zeiten) maßgeblich auch von dem Prognosehorizont der Kennzahlen ab, bzw. wie sich die Unsicherheit der Prognosen mit steigendem Prädiktionshorizont (Lead-Time) verhält. Umgekehrt sollten statistische Prognosemodelle wiederum für bestimmte Horizonte, Robustheitsanforderungen und Prognosegütekriterien konfiguriert werden, um eine hohe Prognosegüte erreichen zu können. Damit können letztlich nur abgestimmte, integrierte Fahren der Prognose und mathematischer Programmierung/Entscheidung zu bestmöglichen Lösungen führen.

Entscheidung/Optimierung:

Die Vielzahl an integrierten und transformierten Daten schafft die Basis zum intelligenten Einsatz automatisierter Planungs- und Optimierungsverfahren. Allerdings steigt durch die Heterogenität der Systeme, immer kürzer werdende Entwicklungszyklen und wechselnde Anforderungen der Anspruch an die Flexibilität und Erweiterbarkeit dieser Verfahren.

Viele aktuelle Forschungs- und Praxisansätze zielen bereits auf eine einfache Adaptierbarkeit von Optimierungs- und Entscheidungsmodelle in sehr unterschiedlichen Anwendungskontexten ab (siehe z. B. (Heckmann 2015; Amberg 2015; Meyer 2015; Irnich 2008)). Für eine korrekte Konfiguration der Optimierungsmodelle, sowie die Anbindung an vor- und nachgelagerte Prozesse und die Auswahl eines passenden Lösungsverfahrens ist jedoch i. d. R. die Expertise von Optimierungs- und Datenspezialisten notwendig. Selbst kleinere Anpassungen können häufig nicht von Domänenexperten vorgenommen

werden. Kernvision im Bereich Optimierung ist demgemäß die weitgehende Unterstützung des Fachanwenders bei der Konfiguration des Entscheidungsschrittes durch

- (i) die semantische Beschreibung von wiederkehrenden Modellbausteinen, um diese im jeweiligen Anwendungskontext (z. B. Störungsmanagement in Transportnetzwerken) automatisch zu vollständigen Optimierungsmodellen zu kombinieren und eine Prüfung des Modelles auf Konsistenz und eine Prüfung der Verfügbarkeit der Daten aus den vorgelagerten Schritten vornehmen zu können, sowie
- (ii) die automatisierte Auswahl aus einer Menge an Lösungsverfahren (exakte Verfahren, Heuristiken, etc.) auf Basis von geeigneten Leistungskennzahlen (siehe z. B. Dunke und Nickel 2015) und erwarteten Antwortzeiten für unternehmensrelevante Instanzen.

Bereitstellung:

Die unbedingte Notwendigkeit der bedarfsgerechten Informationsbereitstellung wird auch im Beitrag „Erweiterte Horizonte – Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit“ von Maettig et al. adressiert. In der Decision Support Pipeline kann die Funktion des letzten Moduls im Wesentlichen zwei Ausprägungen annehmen: Entweder werden die Ergebnisse aus Analyse- oder Entscheidungsmodul dem Anwender zur manuellen Weiterverarbeitung visuell aufbereitet präsentiert oder die Ergebnisse werden in digitaler Form an andere Systeme (z. B. ERP-Systeme, Maschinen, etc.) zurückgespielt. Ersteres wird hauptsächlich im Modul Analyse adressiert. Letzteres ist eng verwandt mit den Methoden aus dem Modul Gewinnung und Integration, denn hier müssen die Analyse- oder Optimierungsergebnisse zurück in die ursprünglichen, von den außenstehenden Systemen verarbeitbaren, Formate transformiert werden.

Semantische Annotation und ontologie-basierte Modellbildung:

Eine der größten Herausforderungen des vorgestellten Ansatzes ist die Sicherstellung der Durchgängigkeit der involvierten Modelle und Werkzeuge in der Interoperabilitätsinfrastruktur. Um die Durchgängigkeit sowie die Anpassbarkeit an unterschiedliche Systemkontexte und Problemstellungen zu gewährleisten, werden die eingangs erwähnten semantischen Beschreibungssprachen und Technologien verwendet. Dieses Vorgehen vereinfacht einerseits darauf aufbauende Visualisierungsmöglichkeiten als auch die Datenhaltung von prozessierten Daten, da neben den reinen Daten auch deren Bedeutung in einer formalen, maschinenverarbeitbaren Form gespeichert ist (Baader et al. 2003; Domingue et al. 2011; Hitzler et al. 2010; Krötzsch et al. 2014).

Hinsichtlich der Anforderung an die Echtzeitfähigkeit der Analyse- und Entscheidungskomponenten erlaubt die semantische Beschreibung des Problems und der Daten, weitgehend automatisiert passende Verfahren für eine konkrete Probleminstanz auszuwählen und zu integrieren.

15.3 Anwendungsszenarien

Im vorangegangenen Abschnitt beschreiben wir – basierend auf unseren Erfahrungen über Projekte aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern hinweg – die Vision und mögliche Umsetzung einer durchgängigen Decision Support Pipeline in abstrakter Form. Ziel dieses Abschnittes ist es anhand dreier Anwendungsszenarien aufzuzeigen, wie die Decision Support Pipeline die Entscheidungsunterstützung von morgen in Logistik und Produktion konkret positiv verändern wird.

15.3.1 Supergrid Logistics

Laut der aktuellen Ausgabe des DHL Logistik Trendradars werden Logistics Supergrids eine neue Generation von Logistikdienstleistern hervorbringen, deren Fokus auf der Orchestrierung weltweit verteilter Supply Chains und Dienstleister liegt (Bubner et al. 2014). Basis von Logistics Supergrids ist ein gut strukturiertes und modular konfigurierbares Logistik-Service-Portfolio, aus dem durch die Auswahl von Services „on demand“ kundenspezifische Netzwerke innerhalb des Supergrids entstehen (Logistics-as-a-Service). Kernaufgabe des Supergrid Anbieters ist die effektive und effiziente Planung und Steuerung dieser hochkomplexen, sich wandelnden und weltweit verteilten Netzwerke – eine Aufgabe, die von der strategischen Designentscheidungen unter Berücksichtigung von Risiken bis hin zum operativen Störungsmanagement reicht.

Für das Störungsmanagement in Transportketten bieten Technologien aus dem Kontext Industrie 4.0 die Basis, um Daten über den Zustand der weltweit verteilten Logistiksysteme und der transportierten Güter in Nahe-Echtzeit zu sammeln. Entscheidend für die erfolgreiche Steuerung dieser Netzwerke ist es jedoch, diese Daten zu guten – datengetriebenen – Entscheidungen zu veredeln: Dafür müssen die Ausführungsdaten über die Netzwerkpartner hinweg gesammelt und mit den Plandaten aus den Systemen der Partner integriert werden. Dabei müssen die gewonnenen Informationen hinsichtlich ihrer Kritikalität für das System analysiert und für ein IT-gestütztes Störungsmanagement aufbereitet werden. Die Reaktionsmaßnahmen müssen an die Orte der Ausführung verteilt werden. Das Konzept der möglichst freien Konfigurierbarkeit der Logistics Services stellt dabei höchste Anforderungen an die Systeme zur Entscheidungsunterstützung.

Ein Disponent, der für das Adhoc-Netzwerk eines Kunden innerhalb des Logistics Supergrid zuständig ist, nutzt die Decision Support Pipeline, um eine kundenspezifisches Störungsmanagement zu installieren: Über das Metamodell definiert er, woher die Plan- und Ausführungsdaten stammen, welche Analyseschritte zur Erkennung von Abweichungen nötig sind und welche Abweichungen als kritisch zu betrachten sind. Die kritische Abweichungen werden an die Störungsbehebung (Modul: Entscheiden/Optimieren) übergeben. Innerhalb dieses Moduls legt der Anwender fest, welche Handlungsalternativen im Störungsfall Anwendung finden soll, d. h. er definiert den Lösungsraum und die Kriterien nach denen Lösungen ausgewählt werden (Zielfunktionsdefinition). Sowohl im Modul

Analyse als auch im Modul Entscheidung wird der Anwender dabei unterstützt, zu prüfen, ob die für die Modelle und Methoden relevanten Daten aus den Vorschriften verfügbar sind und insbesondere ob die Daten in ausreichender Qualität und in der richtigen Form zur Verfügung stehen. Außerdem werden die für das kundenspezifische Netzwerk passenden Lösungsverfahren automatisch ausgewählt.

15.3.2 Entscheidungsunterstützung bei der Produktionsplanung

Wie im Beitrag „Der Mensch in Interaktion mit autonomen Planungs- und Steuerungssystemen für Cyber-Physische Produktionssysteme“ von Susanne Vernim, Christiane Dollinger, Andreas Hees und Günther Reinhart diskutiert, sehen sich Produktionsmitarbeiter wie bspw. Meister und Produktionsplaner in Industrie 4.0 getriebenen Planungs- und Fertigungsverfahren komplexen Aufgaben gegenüber, die aus der zunehmenden Produktvielfalt und dem Wunsch vieler Kunden nach Produktindividualität resultieren. Diese neuen bzw. veränderten Produktionskonzepte stellen gezielte Anforderungen an Aspekte wie Flexibilität und Autonomie und erfordern das Treffen schneller Entscheidungen sowie eine permanente Fortschrittskontrolle. Für den Produktionsplaner sind hierfür Daten zu filtern, aufzubereiten und zu repräsentieren, sodass dieser unmittelbaren Zugriff auf alle relevanten Daten erhält und damit jederzeit die aktuelle Situation erfassen und nachvollziehen kann – im Idealfall unter Berücksichtigung persönlicher Präferenzen der NutzerInnen und deren Arbeitskontexten.¹³

Wie die Autoren aufzeigen, treten an die Stelle der operativen Ausführung von Planungs- und Steuerungsaufgaben vermehrt Kontroll- und Überwachungsaufgaben, die insbesondere eine ganzheitliche Prozess- und Modellsicht berücksichtigen müssen. Die Definition eines übergeordneten semantischen Meta-Modells erlaubt die Erstellung eines solch ganzheitlichen Prozessmodells, welches die einzelnen Phasen (siehe [Abb. 15.2](#)) abstrahiert und miteinander verbindet. Durch das Konzept der Data Uniformity (siehe [Abschn. 15.2.2.2](#)) kann eine einheitliche Abfragesprache, beispielsweise auf Basis der Standard-RDF-Abfragesprache SPARQL (Prud'hommeaux und Seaborne 2008), für alle Module oder Phasen genutzt werden.

Weiter führen die Autoren an, dass für das Erkennen von unerwartet auftretenden Situationen und deren Behandlung bzw. die Reaktion darauf ein grundlegendes Verständnis von informations-technischen Zusammenhängen und der Funktionsweise von IT-Systemen und deren Arbeitsschritten unerlässlich ist. Eine durchgängige Datenverarbeitungskette hilft, Datenverarbeitungsprozesse nachvollziehbarer und besser kontrollierbar zu machen. Das in Ontologien enthaltene geteilte Verständnis über die relevanten Entitäten einer Domäne sowie deren Eigenschaften manifestiert ein solches grundlegendes Verständnis. Die Flexibilität und Ausdrucksmächtigkeit von Ontologiesprachen und den zugrunde

¹³ Vgl. auch den Beitrag von Maetting et al.

liegenden Beschreibungsrahmenwerken erlaubt es, Planungs- oder Fertigungsprozesse aus unterschiedlichen Perspektiven und in Granularitäten zu beschreiben.

15.3.3 Predictive Maintenance

Predictive Maintenance zielt auf die Prognose der Ermüdung und Disfunktionalität von Bauteilen. Durch rechtzeitige bzw. vorzeitige Wartung und Reparatur bzw. die proaktive Unterstützung des Austauschs von Komponenten können Ausschuss in der Produktion verringert, Service-Levels mit Kunden besser eingehalten sowie Kosten für Service und Instandhaltung verringert werden.

Hierfür müssen sowohl Zustandsmodelle von Maschinen und Prozessen als auch historische und aktuelle Zustandsdaten der Maschinen vorliegen. Unter Verwendung geeigneter Algorithmik aus dem statistischen Lernen können diese Massendaten wertvolle Informationen bzgl. einer Einschätzung der Entwicklung der Komponenten liefern. Werden mathematischen Entscheidungsmodellen berücksichtigt, die Aussagen darüber treffen, wie und wann bestimmte Bauteile aus unterschiedlichen Gesichtspunkten (Kosten, Sicherheit, Planbarkeit etc.) ausgewechselt werden sollten bzw. könnten, können Wartungsprozesse inklusive der unterstützenden Prozesse wie die Produktion und Lagerungen von Ersatzteilen besser abgestimmt und effizienter durchgeführt werden.

So verzeichnen befragte Unternehmen schon heute knapp 30 % weniger Kosten für Service und Instandhaltung durch Predictive Maintenance und beispielweise eine um knapp 20 % höhere Einhaltung von Produktionsplänen, wenn Liefertermine für Kunden mit Materialverfügbarkeits- und Echtzeit-Herstellungsbedingungen integriert werden (siehe SAP 2013). Aktuell wird allerdings erst damit begonnen, das Potenzial von Predictive Maintenance zu erschließen. Hierbei sind integrierte Modelle und eine durchgängige Decision Support Pipeline als der Schlüssel zum Erfolg anzusehen.

15.4 Zusammenfassung

Eine Schlüsseltechnologie im Kontext Industrie 4.0 ist die Transformation großer Datenmengen zu guten unternehmerischen Entscheidungen. Um dies in dynamischen Geschäftsumfeldern gewährleisten zu können, werden höchste Anforderungen an die Datenverarbeitungsprozesse gestellt: Neben der einfachen technischen und funktionalen Adaptierbarkeit und der Echtzeitfähigkeit des Systems sind Robustheit gegenüber Schwankungen in der Qualität der Eingangsdaten und eine Generalisierbarkeit der Konzepte und Werkzeuge anzustreben. Um diese Anforderungen zu adressieren, berücksichtigt das Konzept der Decision Support Pipeline alle Datenverarbeitungsschritte und verbindet diese über ein ganzheitliches Meta-Modell. Diese Modell ermöglicht es, (1) die Daten und ihre Semantik von den konkreten Methoden aus den Modulen Analyse und Entscheidung zu entkoppeln und (2) den Anwender bei der Komposition von Modellen und Verfahren in den Modulen Analyse und Entscheidung zu unterstützen.

Den Mehrwert einer durchgängigen Datenverarbeitungsinfrastruktur haben wir anhand von drei Anwendungsszenarien aufgezeigt: Im ersten Anwendungsszenario bietet die einfache Adaptierbarkeit der Decision Support Pipeline die Basis für das Angebot von komplexen Echtzeitservices in der Logistik. Im zweiten Szenario liegt der Nutzen in der bedarfsgerechten Aufbereitung und Bereitstellung von Produktionsdaten, um einem menschlichen Planer den Zustand der Produktion transparent zu machen, während im letzten Beispiel ein besonderer Nutzen dadurch entsteht, dass der Anwender bei der Komposition von abgestimmten Analyse- und Entscheidungsmodellen unterstützt wird.

Literatur

- Amberg, B. (2015). Ressourceneinsatzplanung im öffentlichen Personennahverkehr: Ähnlichkeitsaspekte in der fahrplanübergreifenden Optimierung. PhD thesis, Paderborn, Universität Paderborn, Diss., 2014.
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., & Patel-Schneider, P. (2003). *The description logic handbook: Theory, implementation and applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Beste, D. (2014). Lässt sich die Datenflut der Industrie 4.0 bändigen? Technical report, Springer für Professionals – Schwerpunkt Maschinenbau.
- Bubner, N., Helbig, R., & Jeske, M. (2014). LOGISTICS TREND RADAR. Delivering insight today. Creating value tomorrow! Version 2014. Technical report, DHL Customer Solutions & Innovation.
- Dean, M., & Schreiber, G. (2004). Owl web ontology language reference. W3c recommendation, Web Ontology Working Group, World Wide Web Consortium.
- Domingue, J., Fensel, D., & Hendler, J. A. (Hrsg.) (2011). *Handbook of semantic web technologies*. Berlin: Springer.
- Dunke, F., & Nickel, S. (2015). A general modeling approach to online optimization with lookahead. Omega.
- European Commission. (2013) Report from the Workshop on Cyber-Physical Systems: Uplifting Europe's Innovation Capacity. Communications Networks, Content & Technology Directorate-General, Unit A3-DG CONNECT, December 2013.
- Heckmann, I. (2015). Towards Supply Chain Risk Analytics – Fundamentals, Simulation, Optimization. PhD thesis, Karlsruher Institut für Technologie. To be published.
- Hitzler, P., Krötzsch, M., & Rudolph, S. (2010). *Foundations of semantic web technologies*. Boca Raton: CRC Press.
- Irnich, S. (2008). A unified modeling and solution framework for vehicle routing and local search based metaheuristics. *INFORMS Journal on Computing*, 20(2), 270–287.
- Klyne, J. J. C. G. (2004) Resource description framework (rdf): Concepts and abstract syntax. Technical report, W3C.
- Krötzsch, M., Simancik, F., & Horrocks, I. (2014). Description logics. *IEEE Intelligent Systems*, 29, 12–19.
- Laney, D. Vortrag: Information economics, big data and the art of the possible with analytics. [https://www-950.ibm.com/events/wwe/grp/grp037.nsf/vLookupPDFs/Gartner_Doug-%20Analytics/\\$file/Gartner_Doug-%20Analytics.pdf](https://www-950.ibm.com/events/wwe/grp/grp037.nsf/vLookupPDFs/Gartner_Doug-%20Analytics/$file/Gartner_Doug-%20Analytics.pdf). Zugegriffen: 11. Dez. 2015).
- Lassila, O., & Swick, R. R. (2002). Resource Description Framework (RDF) model and syntax specification. <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax/>. Zugegriffen: 13. Dez. 2015.

- Meyer, M. (2015). Milk run design: Definitions, concepts and solution approaches. PhD thesis, Karlsruher Institut für Technologie, 2015.
- P. A. C. (PAC). (2013). It innovation readiness index. Technical report, Pierre Audoin Consultants (PAC).
- Prud'hommeaux, E., & Seaborne, A. (2008) SPARQL Query Language for RDF. W3C Recommendation.
- Rudolph, S. (2011). Foundations of description logics. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, & P. F. Patel-Schneider (Hrsg.), *Reasoning web. Semantic technologies for the web of data – 7th international summer school 2011* (Bd. 6848 of LNCS, S. 76–136). Berlin: Springer.
- SAP R & D, Manufacturing, and Service. (2013) Idea to performance – maximizing opportunity in a new, technology-driven industrial revolution. Technical report, SAP.
- Schreier, J. (2013). Industrie 4.0 – Ist die Datenflut überhaupt noch zu bewältigen? Technical report, MM MaschinenMarkt – IT-Agenda Fertigung.
- W3C. (2007). Semantic web stack.
- W3C. (2012). OWL Working Group. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (2. Aufl.) – W3C Recommendation 11 Dec. 2012.
- W3C. (2014). RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax. <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/>. Zugegriffen: 21. Okt. 2017
- Zander, S., Heppner, G., Neuschwandtner, G., Awad, R., Essinger, M., & Ahmed, N. (2015). A model-driven engineering approach for ros using ontological semantics. In Proceedings of the 6th International Workshop on Domain-Specific Languages and models for ROBotic systems (DSLRob-15) co-located with the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015.
- Zander, S., & Awad, R. (2015). Expressing and reasoning on features of robot-centric workplaces using ontological semantics. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Hamburg, Germany, 2015.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Gregor Engels, Günter W. Maier, Sonja K. Ötting, Eckhard Steffen
und Alexander Teetz

16.1 Einleitung

Der Wandel von nationalen Industrie- zu globalen Informationsgesellschaften führt in der industriellen Produktion zu nahezu epochalen Veränderungen, die häufig als vierte industrielle Revolution bezeichnet werden. Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ (Kagermann et al. 2011) werden neu entstehende Smart Factories verstanden, in denen bereichs- und unternehmensübergreifende Leistungserbringungsprozesse durchgängig durch informationstechnische Systeme unterstützt werden.

G. Engels (✉) · A. Teetz
Institut für Informatik, Universität Paderborn, Zukunftsmeile 1
33102 Paderborn, Deutschland
e-mail: engels@uni-paderborn.de; alexander.teetz@uni-paderborn.de

G.W. Maier
Abteilung für Psychologie, Universität Bielefeld,
Postfach 10 01 31, 33501 Bielefeld, Deutschland
e-mail: g.maier@uni-bielefeld.de

S.K. Ötting
Abteilung für Psychologie und CoR-Lab, Universität Bielefeld
Postfach 10 01 31, 33501, Bielefeld, Deutschland
e-mail: soetting@uni-bielefeld.de

E. Steffen
Paderborn Center for Advanced Studies, Universität Paderborn
Fürstenallee11, 33102, Paderborn, Deutschland
e-mail: eckhard.steffen@uni-paderborn.de

Weniger revolutionär gesehen sind Smart Factories das Ergebnis eines evolutionären Veränderungsprozesses. Vorläufer von gegenwärtigen und zukünftigen Prozessunterstützungssystemen mit geringerer Komplexität wurden bereits intensiv untersucht (Radhakrishnan et al. 2011). Hierzu zählen etwa Systeme zur digitalen Konstruktion (CAE – Computer-Aided Engineering, CAD – Computer-Aided Design), zur Arbeitsplanung (CAP – Computer-Aided Planning) oder zur Fertigung (CAM – Computer-Aided Manufacturing). Durch die Hinzunahme betriebswirtschaftlicher Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssysteme entstanden Systeme zum Computer-Integrated Manufacturing (CIM), Computer-Integrated Business (CIB) bzw. Leitstände (Production Control Systems). Im Bereich der betrieblichen Informationssysteme wurden Unterstützungssysteme zur Geschäftsprozessmodellierung und -ausführung (BPM – Business Process Management) untersucht (Weske 2012) und im Bereich der Arbeitsunterstützungssysteme Workflow-Management-Systeme (van der Aalst 2013).

Smart Factories unterscheiden sich von den oben genannten Unterstützungssystemen durch eine völlig neue Produktionslogik. Die eingebetteten Produktionssysteme sind vertikal mit betriebswirtschaftlichen Prozessen innerhalb von Fabriken und Unternehmen vernetzt und horizontal zu verteilen, in Echtzeit steuerbaren Wertschöpfungsnetzwerken verknüpft – von der Konzipierung eines Produktes bis zur Ausgangslogistik. Gleichzeitig ermöglichen und erfordern sie ein durchgängiges Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Basis und kennzeichnend für Smart Factories (Industrie 4.0) sind Cyber-Physical Systems (CPS), die Vernetzung physikalischer Systeme wie Produktionsmaschinen und Transportsysteme mit einer durch Software geprägten weitläufig verteilten Rechner- und Netzinfrastruktur, die für Steuerung und Kontrolle der Abläufe zuständig ist. Den Endgeräten, die die Schnittstelle zwischen der realen, physikalischen Welt und dem Internet realisieren, kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Sie werden in Anlehnung an den Begriff Physical Device als Cyber-Physical Devices (CPD) bezeichnet (Kleinjohann et al. 2013).

Cyber-Physical Systems und insbesondere Cyber-Physical Devices interagieren mit den Beschäftigten und können dabei flexibel und leistungsfähig in den Produktionsprozess integriert werden. Für die Interaktion von technischen und menschlichen Akteuren können unterschiedliche Benutzungsschnittstellen verwendet werden. Neben etablierten Multi-Touch Displays sind auch haptische sowie auf Tiefenkameras basierende berührungslose Schnittstellen mit mechanischem bzw. auditivem Feedback verfügbar. Diese Schnittstellen erlauben eine direkte Mensch-Maschine-Interaktion. Weiterhin haben CPDs die Eigenschaft, mit Hilfe von Sensordaten auf veränderte Rahmenbedingungen zu reagieren. Dies impliziert, dass Entscheidungsprozesse, wie z. B. Bestellungen von Waren oder Entscheidungen über den Einsatz von Personal (z. B. KapaflexCy; Kapazitätsflexibilität in Cyber-Physical Systems (Bauer et al. 2014)) automatisch durch ein den Produktionsprozess steuerndes System initiiert und verbindlich ausgelöst werden. An diesen Beispielen wird deutlich, dass Entscheidungen, die häufig auf Geschäftsführungs- bzw. Managementebene angesiedelt sind, mittlerweile bereits und in Zukunft noch mehr durch ein technisches System getroffen werden. Dementsprechend sind Beschäftigte, die innerhalb von

Produktionsumgebungen mit technischen Unterstützungssystemen arbeiten, bei hinreichender Komplexität des Unterstützungssystems von „Entscheidungen“ dieses Systems betroffen. Hier stellt sich die Frage, wie die Menschen solche Entscheidungen wahrnehmen und unter welchen Umständen sie bereit sind, sie zu akzeptieren und sie als angemessen und gerecht zu beurteilen.

Die mit der Digitalisierung erreichte Flexibilisierung der Arbeitsprozesse erlaubt einem Unternehmen einerseits schnell auf veränderte Markt- bzw. Rahmenbedingungen zu reagieren, andererseits verändern sich dadurch auch die Arbeits- und Lebensbedingungen der betroffenen Beschäftigten. Wenn es um die Integration von Beschäftigten in die digitale Arbeitswelt geht, müssen schon im Planungsprozess die Bedarfe von Beschäftigten vollumfänglich berücksichtigt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die neuen Prozesse und technischen Möglichkeiten erfolgreich angewendet und genutzt werden. Ein Aspekt, der schon bei der Prozessmodellierung berücksichtigt werden sollten, ist beispielsweise neben den Kriterien Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Persönlichkeitsförderlichkeit von Arbeit (Hacker 1984; Hacker und Richter, 1984) auch die Frage, in welchem Ausmaß Entscheidungen des technischen Systems als gerecht wahrgenommen werden. Gerade die Wahrnehmung organisationaler Gerechtigkeit beeinflusst zentrale Arbeitseinstellungen und -verhalten (Colquitt et al. 2001, 2013).

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden zunächst in der Literatur dargestellte Gerechtigkeitsaspekte bei Entscheidungen in Produktionsprozessen vorgestellt. Nachfolgend wird ein Konzept zur Integration von Gerechtigkeitsaspekten in derartige Entscheidungsprozesse auf Basis existierender Prozessnotationen vorgestellt. Das Kapitel schließt mit Handlungsempfehlungen in Bezug zur Integration von Gerechtigkeitsaspekten in Entscheidungsprozesse von automatisierten Produktionsabläufen.

16.2 Gerechtigkeitsaspekte in Entscheidungsprozessen von automatisierten Produktionsabläufen

Vielfältige arbeits- und organisationspsychologische Forschung zeigt, dass die Wahrnehmung von Fairness durch die Prinzipien organisationaler Gerechtigkeit bestimmt wird (für einen Überblick siehe z. B. (Colquitt 2001)). Die organisationale Gerechtigkeit hat sich im Laufe der Forschung als eine der wichtigsten Determinanten des Erlebens und Verhaltens von Beschäftigten in Organisationen gezeigt. Hier zeigten sich unter anderem positive Zusammenhänge zu Arbeitszufriedenheit, organisationalem Commitment, Arbeitsleistung und Organizational Citizenship Behavior sowie negative Zusammenhänge zu kontraproduktivem Arbeitsverhalten (im Überblick z. B. in (Colquitt et al. 2001) und (Colquitt et al. 2013)). Die Prinzipien organisationaler Gerechtigkeit setzen sich aus den in Abb 16.1 dargestellten und im Folgenden beschriebenen vier Dimensionen zusammen (Colquitt und Zipay 2015).



Abb. 16.1 Prinzipien der Gerechtigkeit

Distributive Gerechtigkeit, oder auch Verteilungsgerechtigkeit, bezieht sich auf die Gerechtigkeit der Ergebnisse einer Entscheidung. Das Ergebnis einer Entscheidung wird z. B. dann als gerecht wahrgenommen, wenn das eigene Verhältnis von Input zu Output dem einer Vergleichsperson entspricht.

Prozedurale Gerechtigkeit beschreibt die Gerechtigkeit des Entscheidungsprozesses. Eine Entscheidung wird dann als prozedural gerecht wahrgenommen, wenn der Entscheidungsprozess zum einen eine Möglichkeit der Mitsprache („voice“) beinhaltet. Zum anderen sollte ein gerechter Entscheidungsprozess konsistent über Zeit und Personen unvoreingenommen und akkurat sein, eine Korrekturmöglichkeit enthalten und ethischen und moralischen Standards genügen.

Die letzten beiden Dimensionen betreffen die Gerechtigkeit der Kommunikation einer Entscheidung.

Interpersonale Gerechtigkeit bezieht sich auf das Verhalten des Entscheidungsträgers gegenüber dem Entscheidungsempfänger. Eine Entscheidung wird dann als interpersonal gerecht wahrgenommen, wenn sie respektvoll und höflich kommuniziert wird.

Informationale Gerechtigkeit bezieht sich auf die Angemessenheit der Informationen und Erklärungen darüber, wie der Entscheidungsprozess gestaltet ist. Eine Entscheidung wird dann als informational gerecht wahrgenommen, wenn die Erklärungen ehrlich, begründet, spezifisch und zeitnah kommuniziert werden.

Eine Entscheidung wird dann als fair wahrgenommen, wenn die Prinzipien organisationaler Gerechtigkeit erfüllt sind. Bisher wurden Gerechtigkeitswahrnehmungen fast ausschließlich in der Mensch-Mensch-Interaktion untersucht (für eine Ausnahme siehe (Shank 2012, 2014)). Es gibt jedoch erste Überlegungen, wie Prinzipien der Gerechtigkeit auch in die Mensch-System-Interaktion übertragen werden können (vgl. Töniges et al. 2017). Hierbei wird es wichtig sein, Prinzipien der Gerechtigkeit sowohl in der Entwicklung als auch im Betrieb von Cyber-Physical Systems entsprechend zu berücksichtigen. Daher wird im nächsten Abschnitt dargestellt, wie Gerechtigkeitsaspekte in der in Cyber-Physical Systems enthaltenen Prozess- und Entscheidungsunterstützung berücksichtigt werden können.

16.3 Prozessunterstützung

In diesem Abschnitt wird auf die modellbasierte Entwicklung einer Prozess- und Entscheidungsunterstützung unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Gerechtigkeitsaspekte eingegangen. Hierzu werden zunächst die vier Phasen (1) Entwurf & Analyse, (2) Konfiguration, (3) Enactment und (4) Evaluierung eines Prozessmanagement-Lebenszyklus näher betrachtet (Weske 2012). Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf ausgesuchten Prozessaspekten, die bei der Realisierung von gerechten Abläufen für Industrie 4.0-Anwendungen erforderlich sind.

In der Phase (1) Entwurf & Analyse werden Prozessmodelle für Produktions- und Entscheidungsprozesse unter Einsatz einer Prozessmodellierungssprache erstellt. Hierbei sollten strategische oder taktische Vorgaben oder Leitlinien etwa zur Gestaltung von Entscheidungsprozessen (auch unter Einbeziehung von Gerechtigkeitsaspekten) in Produktionsabläufen berücksichtigt werden. In einer anschließenden Analyse können Eigenschaften der erstellten Prozessmodelle überprüft werden. Hierzu können ebenso Fragen der modellierten Gerechtigkeit gehören.

Die Phase (2) Konfiguration bezieht sich auf die Vorbereitung der Ausführung der in der vorherigen Phase entwickelten Modelle. Hierzu gehört insbesondere auch die (gerechte) Planung und Zuteilung von Ressourcen, wie z. B. konkrete Produktionszeiträume, Schichtpläne oder die Auswahl von Beschäftigten.

Die Bildung von konkreten Prozessinstanzen und deren Ausführung findet in der Phase (3) Enactment statt. In dieser Phase finden operative Interaktionen von Akteuren bzw. Nutzern mit Systemen statt. Im Rahmen dieser Interaktionen werden sowohl von maschineller als auch von menschlicher Seite Instanzen von Entscheidungsprozessen durchlaufen, die auch die genannten Gerechtigkeitsaspekte betreffen können. Ferner können im laufenden Betrieb durch Feedback-Mechanismen Informationen zur Gerechtigkeitsempfindung erfasst, automatisch analysiert und zur Berücksichtigung – bei späteren Entscheidungen – gespeichert werden.

Die Phase (4) des Lebenszyklusmodells befasst sich mit der Analyse aktiver und beendeter Prozessinstanzen zwecks Evaluierung. Ein Ergebnis dieser Phase können Anforderungen sein, die im Rahmen der Prozessverbesserung, etwa auch einer verbesserten Gerechtigkeitsunterstützung, umgesetzt werden.

Grundlage für alle vier Phasen eines Prozessmanagement-Lebenszyklus ist der Einsatz einer Prozessmodellierungssprache wie z. B. BPMN (Business Process Modeling and Notation (Großkopf et al. 2009)). Wesentliche Aspekte einer solchen Modellierungssprache betreffen auch die Modellierung und Umsetzung von Gerechtigkeitsaspekten.

Sequentielle Abläufe stellen die einfachste Form einer möglichen Ablaufstruktur in einem Prozessmodell dar. Daneben sind komplexe Aufgaben aber häufig durch Arbeitsabläufe beschrieben, die neben Verzweigungen und Alternativen auch den Aufruf von Unterprozessen enthalten können. In diesem Zusammenhang spricht man auch von hierarchischen Ablaufstrukturen. Bei Verwendung all dieser Sprachelemente in einem

Prozessmodell stellt sich für den Modellierer stets die Frage nach einer adäquaten Berücksichtigung von Gerechtigkeitsaspekten.

Darüber hinaus sind neben sequentiellen oder hierarchischen Abläufen im Umfeld von Industrie 4.0-Anwendungen insbesondere auch vernetzte Abläufe existent. In vernetzten Abläufen kommunizieren vernetzte Partner miteinander über ein oder mehrere Medien. Für die Prozessmodellierung bedeutet dieser Umstand die Notwendigkeit der Modellierung der Kommunikation als Ganzes – dies umfasst sowohl die Kommunikationspartner, wie den Menschen oder die Maschine, angebotene Schnittstellen, als auch das Kommunikationsmedium sowie das eingesetzte Protokoll.

In Abläufen können zeitliche Aspekte eine wichtige Rolle spielen, so z. B. bei der Bearbeitung von Aufgaben oder dem Treffen einer Entscheidung. Zeitbehaftete Ablaufbeschreibungen in Prozessmodellen sind von daher auch ein wichtiges Element bei der Behandlung von Gerechtigkeitsaspekten.

Selbst-Adaptivität beschreibt die Fähigkeit eines Systems, sich aufgrund geänderter Umstände selbst anzupassen (Luckey und Engels 2013). Eine Anpassung eines Ablaufs kann dabei u. a. die Ablaufstruktur, verwendete Ressourcen oder zeitliche Vorgaben betreffen. Ferner können komplexe Aufgaben von kontextspezifischen Parametern abhängig sein, die z. B. in Anlehnung an die Erfahrung von Beschäftigten unterschiedlich interpretiert werden und zu alternativen Ausführungspfaden führen können. Das Modell einer Ablaufstruktur kann darüber hinaus nicht nur vordefinierte, statische Abläufe, sondern auch sogenannte ad-hoc-Abläufe enthalten, die sich beim Enactment den realen Abläufen der Beschäftigten anpassen können und so einen weiteren Grundbaustein für eine Realisierung eines Gerechtigkeitsempfindens bilden.

Die genannten Elemente einer Prozessmodellierungssprache können in der Phase (1) Entwurf & Analyse verwendet werden, um neben der eigentlichen Prozessstruktur insbesondere auch Gerechtigkeitsaspekte zu modellieren. In den darauffolgenden Phasen (2) Konfiguration und (3) Enactment muss dann die verwendete Prozessausführungsumgebung mächtig genug sein – auch im Zusammenspiel mit an Cyber-Physical Devices beobachteten und gemessenen Werten – um z. B. kontext- und situationsspezifische Parameter im laufenden Betrieb zu berücksichtigen.

Durch eine derartige phasen-übergreifende und durchgängige Berücksichtigung von Gerechtigkeitsaspekten kann auf die Bedürfnisse von Beschäftigten geachtet werden und bei diesen eine hohe Akzeptanz erreicht werden.

16.4 Szenario: Mensch-Roboter-Team

Die in den beiden vorherigen Abschnitten beschriebenen Gerechtigkeits- und Prozessaspekte werden in diesem Abschnitt in Form eines Shared-Workspace-Szenarios in Anlehnung an (Gombolay et al. 2014) praktisch erläutert.

In einem mittelständischen Unternehmen gibt es trotz zunehmender Automatisierung einige Produkte, deren Endmontage vornehmlich manuell in Rahmen von

Shared-Workspaces durchgeführt wird. Ein Shared-Workspace bezeichnet eine Arbeitsplatzumgebung, in denen menschliche Akteure und Maschinen interagieren. Dabei können verschiedene Funktionen wie z. B. die Assistenz in Abläufen, Aufgabenplanung oder Entscheidungsfindung durch beide Gruppen exklusiv oder kooperativ übernommen werden. An den einzelnen Arbeitsplatzumgebungen für die Endmontage wurde sich ferner für ein Mensch-Maschine-Team entschieden, das aus zwei menschlichen Akteuren (A1, A2) und einem Robotersystem (RS) besteht.

Die Teammitglieder haben die folgenden Fähigkeiten:

- A1, A2: Montage von Komponenten
- RS: Transport einzelner Komponenten

Ferner übernimmt das Robotersystem zusätzlich Planungsfunktionen, die sowohl die Reihenfolge einzelner Aufgaben optimal berechnet als auch die anschließende Zuweisung an die menschlichen Akteure vornimmt. Folglich tritt das Robotersystem als entscheidende und Arbeit zuweisende Instanz auf.

Im Rahmen der Wahrnehmung von menschlichen Akteuren ergeben sich hinsichtlich der Gerechtigkeitsaspekte in diesem Szenario verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten in Bezug auf die Aktivitäten des Mensch-Roboter-Teams (siehe [Tab. 16.1](#)).

So kann die Durchführung der Arbeitsplanung durch ein Prozessmodell beschrieben werden, dessen Ablauf sowohl Präferenzen als auch Fähigkeiten der menschlichen Akteure berücksichtigt. Hierzu sind jedoch zunächst Profile notwendig, in denen wesentliche Eigenschaften der Teammitglieder hinsichtlich der Montageaufgaben enthalten sind. Diese Profile können die erforderlichen Kompetenzen und Erfahrungen für einzelne Arbeitsschritte, aber auch physische Eigenschaften enthalten. Eine für die Montage

Tab. 16.1 Gestaltungsmöglichkeit hinsichtlich verschiedener Gerechtigkeitsaspekte in Bezug zu Aktivitäten des Mensch-Roboter-Teams.

		Distributive Gerechtigkeit	Prozedurale Gerechtigkeit	Interpersonale Gerechtigkeit	Informationale Gerechtigkeit
Robotersystem					
	Arbeitsplanung durchführen	X			
	Aufgaben zuweisen	X		X	X
Mensch					
	Aufgaben ablehnen		X		X
	Weiteres Feedback angeben		X		X

relevante physische Eigenschaft könnte die Frage sein, ob es sich bei dem menschlichen Akteur um einen Links- oder Rechtshänder handelt. Die Zuteilung von Aufgaben mit dem Erfordernis der Verwendung hoch spezialisierter Werkzeuge kann hiervon abhängig sein, wenn diese exklusiv nur für Links- oder Rechtshänder geeignet sind.

Wurde die Zuteilung von Aufgaben geplant, muss der Roboter dem menschlichen Akteur die Zuweisung mitteilen. Eine derartige Zuweisung sollte unter Berücksichtigung informationaler, distributiver und interpersonalen Gerechtigkeitsaspekte realisiert werden. So sollten in Bezug auf die informationale Gerechtigkeit relevante Informationen (zumindest auf Nachfrage) dargestellt werden, die zu der Zuweisung geführt haben. Die Begründungen können sich bspw. auf die aktuell gespeicherten Präferenzen des menschlichen Akteurs oder auch auf Indikatoren seiner Arbeitsgeschwindigkeit oder -qualität beziehen. Ferner ist zu erwarten, dass der Aspekt der distributiven Gerechtigkeit auf Basis eines in der Entwurfsphase ausgewählten Verteilungsprinzips realisiert wird. Derartige Verteilungsprinzipien sind etwa das Beitragsprinzip (je höher das Gehalt, desto mehr/schwierigere Arbeit muss zugewiesen werden), das Bedürfnisprinzip (jeder soll die Aufgaben erhalten, die er/sie haben möchte) oder das Gleichheitsprinzip (jeder soll exakt die gleichen Aufgaben in einem bestimmten Zeitraum bearbeiten).

Eine Zuweisung sollte, der prozeduralen Gerechtigkeit folgend, bei geeigneter Informationslage nachvollziehbar bzw. reproduzierbar sein. Darüber hinaus ist der Aspekt der interpersonalen Gerechtigkeit durch adäquate Gestaltung einer Benutzerschnittstelle mit respektvollen und höflichen Anweisungen zu tätigen.

Die Prozessunterstützung kann vorsehen, dass der menschliche Akteur eine ihm zugewiesene Aufgabe annimmt oder ablehnt. Unter Berücksichtigung einer bilateralen informationalen Gerechtigkeit gegenüber dem Robotersystem ist der menschliche Akteur auch in der Pflicht, bei einer abgelehnten Aufgabe den Grund der Ablehnung zu dokumentieren. Dies kann im Rahmen einer Anpassung des gespeicherten Profils des menschlichen Akteurs verwendet werden, damit bei zukünftigen Entscheidungen des Robotersystems geänderte Parameter bei der Entscheidung berücksichtigt werden können. Eine derartige Anpassbarkeit des Planungsprozesses stellt einen prozeduralen Gerechtigkeitsaspekt dar.

Neben geplanten Interaktionen in Form der Zuweisung einer Aufgabe kann es aber auch ungeplante Ereignisse im Team geben, die durch eine Mensch-Maschine-Interaktion berücksichtigt werden müssen. So sind vom Robotersystem nicht erfassbare realweltliche Umstände möglicherweise durch die komplexen Wahrnehmungsfähigkeiten eines der menschlichen Akteure erfassbar (Bächler et al., [Kap. 3](#)). Hierbei kann es sich z. B. um eine nicht vorhergesehene Störung handeln, die eine Unterbrechung des Montagebetriebs notwendig macht. Daher ist es hinsichtlich einer prozeduralen Gerechtigkeit in diesem Fall notwendig, dass dem Akteur die Möglichkeit zur Anpassung des Produktionsprozesses gegeben wird. Dies betrifft auch Aspekte der informationalen Gerechtigkeit, da die Umstände für eine Anpassung dokumentiert werden sollten.

Das zuvor geschilderte Szenario beschreibt die Möglichkeiten der Behandlung von Gerechtigkeitsaspekten in Entscheidungsprozessen. Einige Aspekte, wie die Darstellung aller für die Planungsentscheidung relevanten Daten (informational) sowie der Nachvollziehbarkeit des Entscheidungsprozesses (prozedural), werden ebenso durch Vermin et al. (Kap. 9) als eine der notwendigen Voraussetzungen für die Integration des Menschen in zukünftigen sozio-technischen Produktionssystemen genannt. Neben der in diesem Abschnitt beschriebenen Planungsfunktion eines Robotersystems lassen sich auch weitere Systeme identifizieren, für die die Wahrnehmung von Gerechtigkeitsaspekten bereits im Entwurf eine Rolle spielen kann. So zählen Bächler et al. (Kap. 3) pädagogische und ethische Aspekte von Assistenzsystemen auf, die ebenso wie die Berücksichtigung von Gerechtigkeitsaspekten eine grundlegende Rolle hinsichtlich der Akzeptanz und des Entwurfs von Assistenzsystemen spielen und für den Kontext der Digitalisierung von Produktions- und Dienstleistungsprozessen näher untersucht werden müssen.

16.5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wurde erläutert, dass die in Industrie 4.0-Anwendungen typischen Produktions- und Entscheidungsprozesse verschiedene Formen von Gerechtigkeit berücksichtigen müssen. Hierzu wurden Sprachelemente von Prozessmodellierungssprachen benannt, die für die Modellierung von Gerechtigkeitsaspekten relevant sind. An dem Beispiel eines halb-automatisierten Produktionssystems wurde aufgezeigt, welche Gerechtigkeitsaspekte an welcher Stelle relevant sind.

Diese integrierte, interdisziplinäre Betrachtung und Erforschung der Berücksichtigung von Gerechtigkeitsaspekten in der Modellierung und Realisierung von Industrie 4.0-Anwendungen ist eine der Fragestellungen, die im NRW Fortschrittskolleg „Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten – Menschen-zentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0“ behandelt werden.

Insgesamt werden in dem Fortschrittskolleg folgende Themenfelder bearbeitet:

1. Übergang zu menschen-zentrierten, flexiblen und adaptiven Arbeitsprozessen unter Berücksichtigung ihrer gesellschaftlichen Einbettung und organisationalen Gerechtigkeit.
2. Einsatz von lernenden, intelligenten Assistenzsystemen in Form von Cyber-Physical Devices.
3. Entwicklung eines anforderungsorientierten Systems-Engineering-Ansatzes als Grundlage für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit.
4. Untersuchung der daraus resultierenden Änderungen in den beruflichen Anforderungen mit Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung und das Lernen am Arbeitsplatz.

Das NRW Fortschrittskolleg wird von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universitäten Paderborn und Bielefeld betrieben. Die beteiligten Fachrichtungen sind Psychologie, Soziologie, Pädagogik, Elektrotechnik, Maschinenbau, Wirtschaftswissenschaften und Informatik. Die im Rahmen von zehn Promotionsprojekten durchgeführten Forschungsarbeiten sind eingebettet in ein inter- und transdisziplinäres Umfeld. Die Forschungsprojekte werden von der Initiierung bis hin zur abschließenden Evaluation von den Partnern des transdisziplinären Umfelds begleitet; dies sind der Spitzencluster it's OWL, die Technologieberatungsstelle beim DGB NRW e. V., die IG Metall NRW und das Innovationsnetzwerk Energie Impuls OWL e. V., Näheres zum Fortschrittskolleg findet man unter <http://pace.uni-paderborn.de/studienprogramme/fsk-gfa.html>.

Literatur

- Bauer, W., Gerlach, S., Hämmerle, M., & Strölin, T. (2014). Rule base for operative planning and control of flexible labour hours. *World Congress, 19*, 10760–10765.
- Colquitt, J. A. (2001). On the dimensionality of organizational justice: A construct validation of a measure. *Journal of Applied Psychology, 86*(3), 386–400. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.386>.
- Colquitt, J. A., Conlon, D. E., Wesson, M. J., Porter, C. O. L. H., & Yee Ng, K. (2001). Justice at the millennium: A meta-analytic review of 25 years of organizational justice research. *Journal of Applied Psychology, 86*(3), 425–445. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.425>.
- Colquitt, J. A., Scott, B. A., Rodell, J. B., Long, D. M., Zapata, C. P., Conlon, D. E., & Wesson, M. J. (2013). Justice at the millennium, a decade later: A meta-analytic test of social exchange and affect-based perspectives. *Journal of Applied Psychology, 98*(2), 199–236. <https://doi.org/10.1037/a0031757>.
- Colquitt, J. A., & Zipay, K. P. (2015). Justice, fairness, and employee reactions. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 2*(1), 75–99. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032414-111457>.
- Gombolay, M. C., Gutierrez, R. A., Sturla, G. F., & Shah, J. A. (2014). Decision-making authority, team efficiency and human worker satisfaction in mixed human-robot teams. In Dieter Fox, Lydia E. Kavraki & Hanna Kurniawati (Hrsg.), *Proceedings of the Robotics: Science and Systems X*.
- Großkopf, A., Decker, G., & Weske, M. (2009). *The process: Business process modeling using BPMN*. Tampa, FL: Meghan-Kiffer Press.
- Hacker, W. (1984). *Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen: Ziele und Bewertungsmaßstäbe*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hacker, W. & Richter, P. (1984). *Psychische Fehlbeanspruchung: Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß*. Berlin: Springer-Verlag.
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, VDI-Nachrichten.
- Kleinjohann, B., Kleinjohann, L., & Engels, G. (2013). Cyber-Physical Devices – Die Schnittstelle zwischen Cyberspace und realer Welt. *IKT.NRW Schriftenreihe, Clustermanagement IKT.NRW, Bergische Universität Wuppertal*. <http://ikt.nrw.de/publikationen/>. Zugriffen: 15. Dez. 2015.

- Luckey, M., & Engels, G. (2013). High-quality specification of self-adaptive software systems. In Proceedings of the 8th international symposium on software engineering for adaptive and self-managing systems. New York, NY, USA: ACM, SEAMS '13, S. 143–152.
- Radhakrishnan, P., Subramanyan, S., & Raju, V. (2008). *CAD/CAM/CIM*. New Age International.
- Shank, D. B. (2012). Perceived justice and reactions to coercive computers. *Sociological Forum*, 27(2), 372–391. <https://doi.org/10.1111/j.1573-7861.2012.01322.x>.
- Shank, D. B. (2014). Technology and emotions. In J. E. Stets & J. H. Turner (Hrsg.), *Handbook of the sociology of emotions: Volume II* (S. 511–528). Dordrecht: Springer Netherlands (Handbooks of Sociology and Social Research).
- Töniges, T., Ötting, S. K., Wrede, B., Maier, G. W., & Sagerer, G. (2017). Human-state recognition for process adaptation in cyber-physical systems and perception of machine-fairness: A human-centered perspective. In H. Song, D. B. Rawat, S. Jeschke, & C. Brecher (Hrsg.), *Cyber-physical systems: Elsevier JAI (intelligent data-centric systems: Sensor collected intelligence)*.
- van der Aalst, W. M. P., & Weske, M. (2013). Reflections on a decade of interorganizational workflow research. In J. Bubenko, J. Krogstie, O. Pastor, B. Pernici, C. Rolland, & A. Solvberg (Hrsg.), *Seminal contributions to information systems engineering: 25 Years of CAiSE* (S. 307–313). Berlin: Springer-Verlag.
- Weske, M. (2012). *Business process management: Concepts, languages, architectures* (2. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.



Ernst Hartmann und Steffen Wischmann

17.1 Einleitung

In diesem Band werden neun konkrete Beispiele von Arbeitssystemen beschrieben, die mit Techniken und Instrumenten der Industrie 4.0 gestaltet wurden (Teil 2 dieses Bandes). Weitere Beiträge thematisieren querschnittliche Aspekte wie:

- arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ (Bauer et al. in diesem Band)
- Gerechtigkeit in flexiblen Arbeits- und Managementprozessen (Engels et al., in diesem Band)
- lernförderliche Arbeitsorganisation (Mühlbradt et. al., in diesem Band)
- den Einfluss des demographischen Wandels (Apt & Bovenschulte in diesem Band)
- Datenverarbeitungsinfrastrukturen für zukünftige Entscheidungen (Meyer et al. in diesem Band)
- ein Leitbild für die Gestaltung soziotechnischer Systeme (Hirsch-Kreinsen et al. in diesem Band)

Für den Ausblick in diesem letzten Kapitel sollen die drei wesentlichen Aspekte der Arbeitswelt 4.0 – Technologie, Organisation und Qualifikation – im Zusammenhang und in einer zukunftsgerichteten Perspektive betrachtet werden.

E. Hartmann (✉)

Institut für Innovation und Technik, Steinplatz 1, 10623 Berlin, Deutschland
e-mail: hartmann@iit-berlin.de

S. Wischmann

e-mail: wischmann@iit-berlin.de

Dieser Dreiklang aus Technologie, Organisation und Qualifikation entspricht dem in der Arbeitsforschung seit langer Zeit etablierten Konzept des soziotechnischen Systems, das auch zur Beschreibung und Analyse von konkreten Arbeitssystemen verwendet wird (Trist und Bamforth 1951; Ulich 2005; Strohm und Ulich 2011; Hartmann 2005).

17.2 Was können wir über zukünftige Technologie, Organisation und Qualifikationen wissen?

17.2.1 Überblick – ein methodischer Vorschlag

Der konzeptionelle Fahrplan dieses Kapitels orientiert sich an einem methodischen Vorschlag zur Qualifikationsbedarfsprognose aufbauend auf Technologieroadmaps und Organisationsszenarien (Hartmann und Bovenschulte 2013).

In einem ersten Schritt werden Technologieroadmaps betrachtet, welche die zukünftige Verfügbarkeit von Technologien auf einem Zeitstrahl abbilden. Dabei können sowohl vorhandene Roadmaps interpretiert als auch neue Roadmaps erstellt werden. Solche Roadmaps werden in einzelnen Unternehmen erstellt. Diese Dokumente sind allerdings oft nicht frei verfügbar. Besser verfügbare Roadmaps – oder das zur Erstellung notwendige Wissen – findet man auch bei Akteuren der Technologie- und Forschungsförderung, wie etwa Projektträgern und ähnlichen Agenturen oder auch bei den Europäischen Technologieplattformen,¹ in denen Wirtschaft, Wissenschaft und intermediäre Organisationen zusammenarbeiten.

Solche Dokumente geben Aufschluss über entstehende technische Möglichkeiten. Zwingende Folgen für Organisation und Technik – im Sinne eines technologischen Determinismus – ergeben sich daraus allerdings nicht (Kärcher 2015). Deshalb werden in einem zweiten Schritt Organisationsszenarien beschrieben (Abb. 17.1). Sie stellen Möglichkeiten

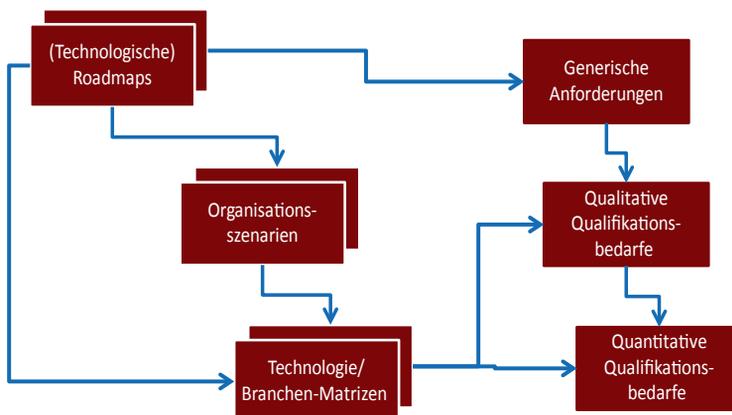


Abb. 17.1 Vorschlag eines methodologischen Rahmens für die Qualifikationsbedarfsprognose (Hartmann und Bovenschulte 2013)

¹ http://ec.europa.eu/research/innovation-union/index_en.cfm?pg=etp

zukünftiger Betriebs- und Arbeitsorganisation dar. Diese Organisationsparadigmen haben in der Regel den stärksten Einfluss auf die Arbeitswelt, einen stärkeren als die Technologie (Henning et al. 1994; Strohm und Ulich 2011; Brandt et al. 1999).

Auch die globale Kenntnis technologischer Entwicklungen und organisationaler Modelle reicht allein nicht aus. In unterschiedlichen Branchen werden sich Technologien unterschiedlich auswirken, auch die vorherrschenden Organisationsmodelle werden unterschiedlich sein. In Technologie/Branchen-Matrizen können diese Unterschiede abgebildet werden (Abb. 17.5). Auf dieser Spezifikationsebene – Technologien und Organisationsmodelle in Branchen – können schließlich qualitativ und quantitativ Qualifikationsbedarfe bestimmt werden.

17.2.2 Technologie-Roadmaps identifizieren und nutzen

Es finden sich verschiedene Quellen für Technologie-Roadmaps – und ebenso vielfältige Methoden der Beschreibung und Strukturierung von Roadmaps. Im Folgenden werden einige dieser Quellen und Formate im Hinblick auf Industrie 4.0 vorgestellt.

Eine besondere Methode des Roadmapping ist das Visual Roadmapping (Kind et al. 2011). Mit der Methode kann das komplexe Wechselspiel des zu untersuchenden (technischen) Themas mit äußeren Einflussfaktoren im Hinblick auf zukünftige Entwicklung analysiert werden. Zu diesem Zweck werden in der Visual Roadmap vier Dimensionen abgebildet:

- sozio-ökonomische Einflussfaktoren (rechtliche, ökonomische, gesellschaftliche Rahmenbedingungen, Phänomene und Voraussetzungen)
- Enabling Technologies (wissenschaftlich-technische Voraussetzungen für das jeweilige Thema)
- Entwicklung des zu betrachtenden Themas (zentrale Aspekte und Meilensteine, die bei der Entwicklung des Themas von Bedeutung sind)
- Auswirkungen (ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen, aber auch neue Produkt- und Dienstleistungsangebote etc.)

Die Genese der Roadmap ist ein Experten basiertes Verfahren, das mit einzelnen Fachleuten oder in Gruppen von bis zu 10 Personen durchgeführt werden kann. Beginnend mit einer leeren Matrix (die vier Dimensionen *versus* die Zeitachse mit einem Horizont von etwa 10 bis 15 Jahren in die Zukunft), werden die Experten gebeten, das Thema zu erörtern und einzelne Aspekte/Kernfragen der zukünftigen Entwicklung in Bezug auf die vier Dimensionen zu identifizieren. Diese Aspekte und Fragen werden auf „Ereigniskarten“ notiert und in der Matrix (Dimension und Zeitpunkt) positioniert. Schritt für Schritt wird die Matrix mit weiteren Karten gefüllt, während bestehende Karten neu arrangiert oder weiter differenziert/aufgeschlüsselt werden können (z. B., wenn ein Aspekt in zwei Teilaspekte geteilt werden soll). Nach der abschließenden Anordnung der Karten werden prominente Verbindungen und Abhängigkeiten – vor allem dimensionsübergreifende – durch Linien und Pfeile hervorgehoben.

Mit dem beschriebenen Verfahren kann auch implizites Wissen von Experten verfügbar gemacht und anhand der vier Dimensionen klar strukturiert werden.

Abb. 17.2 zeigt ein visuelles Roadmap zur Zukunft der digitalen Arbeit in der Produktion; sie wurde im Herbst 2015 im Rahmen eines Expertenworkshops für das Bundesministerium für Arbeit und Soziales erstellt. Auch wenn hier themenbedingt von der oben beschriebenen Struktur der vier Dimensionen etwas abgewichen wurde, wird doch die Einordnung der technologischen Entwicklung in einen systemischen Zusammenhang auch hier sehr deutlich.

Im Hinblick auf die Arbeitswelt der Zukunft waren den Experten folgende technologische Aspekte besonders wichtig:

- Mensch-Maschine-Teams, in denen Aufgaben kollaborativ und flexibel zwischen Menschen und Maschinen geteilt und organisiert werden
- Assistenzsysteme bis hin zu Tutorsystemen, die Menschen im Lernen unterstützen können
- generell Methoden und Gestaltungslösungen zur Minderung oder Vermeidung von Automationsdilemmata, die dadurch entstehen, dass der Mensch durch Automaten aus der aktiven Kontrolle des Systems verdrängt wird (Bainbridge 1983)²

Eine große Unsicherheit herrschte hinsichtlich zukünftiger industrieller Organisationssysteme. Die Ausweitung des bestehenden Konzepts „Ganzheitlicher Produktionssysteme“ (GPS)³ auf die Bedingungen der Industrie 4.0 ist dabei nur eine Möglichkeit. Weiterhin erlaubt das Konzept der GPS auch erhebliche Variationen der tatsächlich wirksamen Arbeitsorganisation, die noch dazu oftmals auch innerhalb eines Unternehmens, selbst innerhalb eines einzelnen Betriebes variiert. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Datengewinnungsbedarf.

17.2.2.1 Roadmaps Europäischer Technologieplattformen

Europäische Technologieplattformen sind Bündnisse von Partnern aus Wirtschaft und Industrie, die sich in Europäischen Forschungsprogrammen engagieren. Im Hinblick auf Industrie 4.0 sind insbesondere folgende ETP relevant:

- European Technology Platform on Smart Systems Integration (EpoSS)⁴
- European Technology Platform *Manufuture*,⁵ sowie die von *Manufuture* mit initiierte Public-Private-Partnership “European Factories of the Future Research Association” (EFFRA)⁶
- euRobotics als Nachfolgeorganisation der European Robotics Technology Platform (EUROP)⁷ mit der PPP SPARC⁸

²Eine etwas ausführlichere Darstellung der Automationsdilemmata findet sich im Beitrag von Ernst Hartmann in diesem Band zu den gestaltbaren Dimensionen der Arbeitssysteme im Abschnitt „Kontrolle“.

³vgl. VDI-Richtlinie: VDI 2870 Blatt 1 Ganzheitliche Produktionssysteme – Grundlagen, Einführung und Bewertung

⁴<http://www.smart-systems-integration.org/public>

⁵<http://www.manufuture.org/manufacturing/>

⁶<http://www.effra.eu>

⁷<https://eu-robotics.net/>

⁸<http://sparc-robotics.eu/about/>

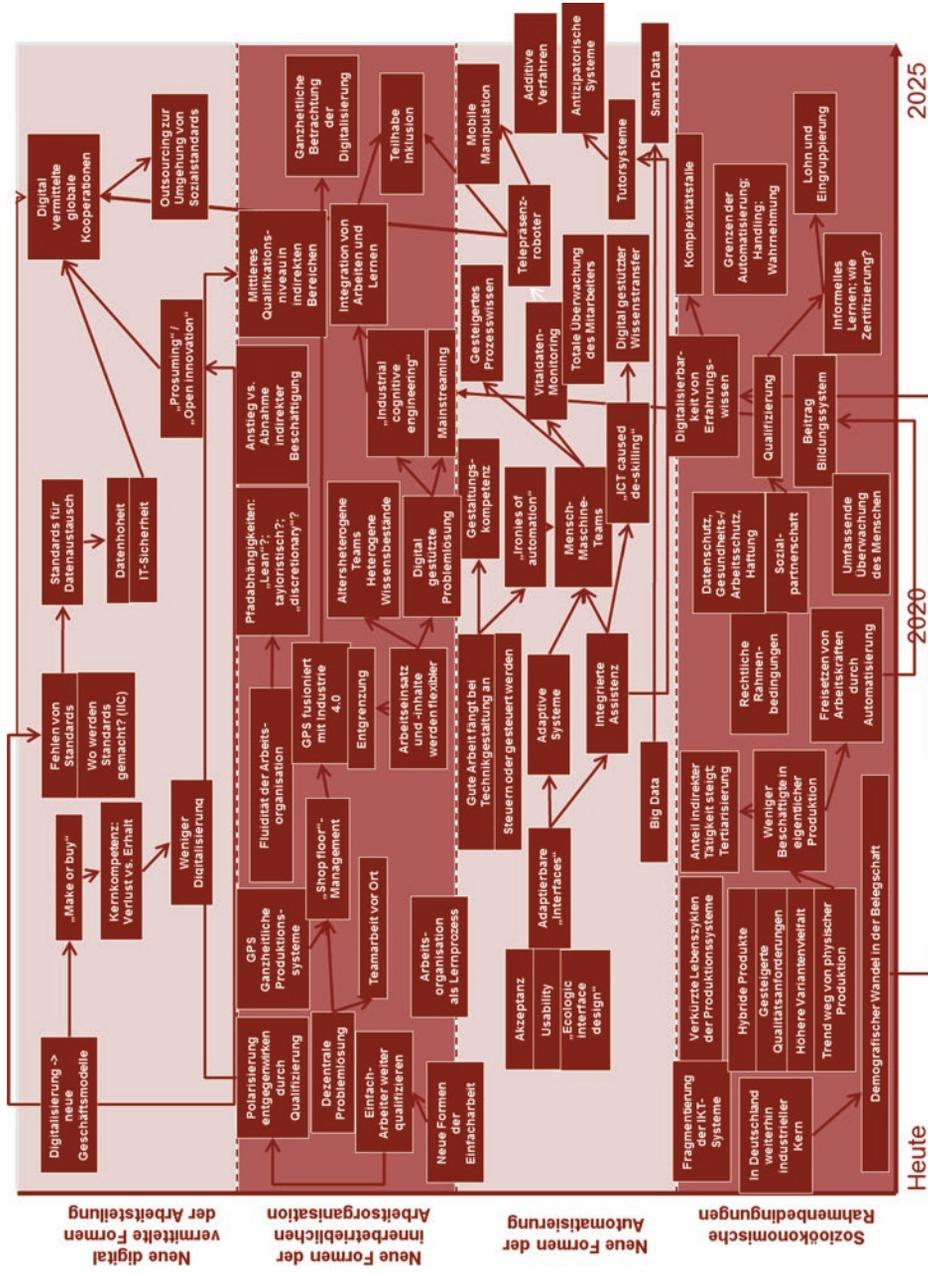


Abb. 17.2 Visual Roadmap „Digitale Arbeit in der Produktion“ (Apt et al. 2016)

Die jüngste Überarbeitung der EPoSS-Roadmap wurde auch abgeglichen mit den *Manufature/EFFRA* Roadmaps (Abb. 17.3).

Beispielhaft können folgende technologischen Aspekte hervorgehoben werden:

- selbstkonfigurierende und -organisierende Produktionssysteme
- „selbsteilende“ Produktionssysteme
- Integration biotechnologischer Komponenten
- maschinelle Kognition und prädiktive Steuerung

Etliche Aspekte überlappen auch mit der oben (Abb. 17.2) dargestellten Roadmap aus der Foresight-Studie für das BMAS.

Eine weitere interessante und relevante Roadmap ist die *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap* von euRobotics/SPARC aus dem Jahr 2016. Die zentrale Vision zukünftiger Roboter in der industriellen Produktion wird dort wie folgt beschrieben:

„The key product vision in manufacturing is of a robot able to safely operate in an semi-structured environment in physical collaboration with human operators. To be configured using intuitive interfaces by operators rather than by specialised programmers. These new systems need to have flexibility not only with respect to the user interface but also with respect to the task. Generic grippers, gripping strategies and planning and control systems able to adapt to different optimisation parameters, and to dynamic environments without compromising safety.

This vision involves the integration of a much broader range of sensing and interpretation technologies with advanced systems development and human robot interaction technologies.“ (Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap, S. 27⁹)

Kernaspekte sind die sichere Kooperation mit Menschen, die intuitive Kooperation/Programmierung/Konfiguration durch den unmittelbaren Operateur (nicht durch Spezialisten) sowie neue und flexible Greifer und Greifstrategien für neue Objektklassen (z. B. biegeschlaffe Objekte).

Dieser sehr knappe Überblick über Technologie-Roadmaps mag einen ersten Eindruck der unterschiedlichen Quellen und Formate geben. Im Folgenden soll dargestellt werden, wie diese Informationen als Grundlage einer Qualifikationsvorausschau verwendet werden können.

17.2.3 Generische Anforderungen an Qualifikationen

Eine integrative Betrachtung der verschiedenen Technologie-Roadmaps führt zu einigen generischen Anforderungen an Qualifikationen. Eine dieser Anforderungen betrifft die fortschreitende Konvergenz mechanischer, elektronischer und softwarebasierter Systeme, die sich über unterschiedliche Skalenniveaus (makro/meso/mikro) erstreckt.

⁹Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap – For Robotics in Europe. Release B 03/12/2015. <http://sparc-robotics.eu/wp-content/uploads/2014/05/H2020-Robotics-Multi-Annual-Roadmap-ICT-2016.pdf>

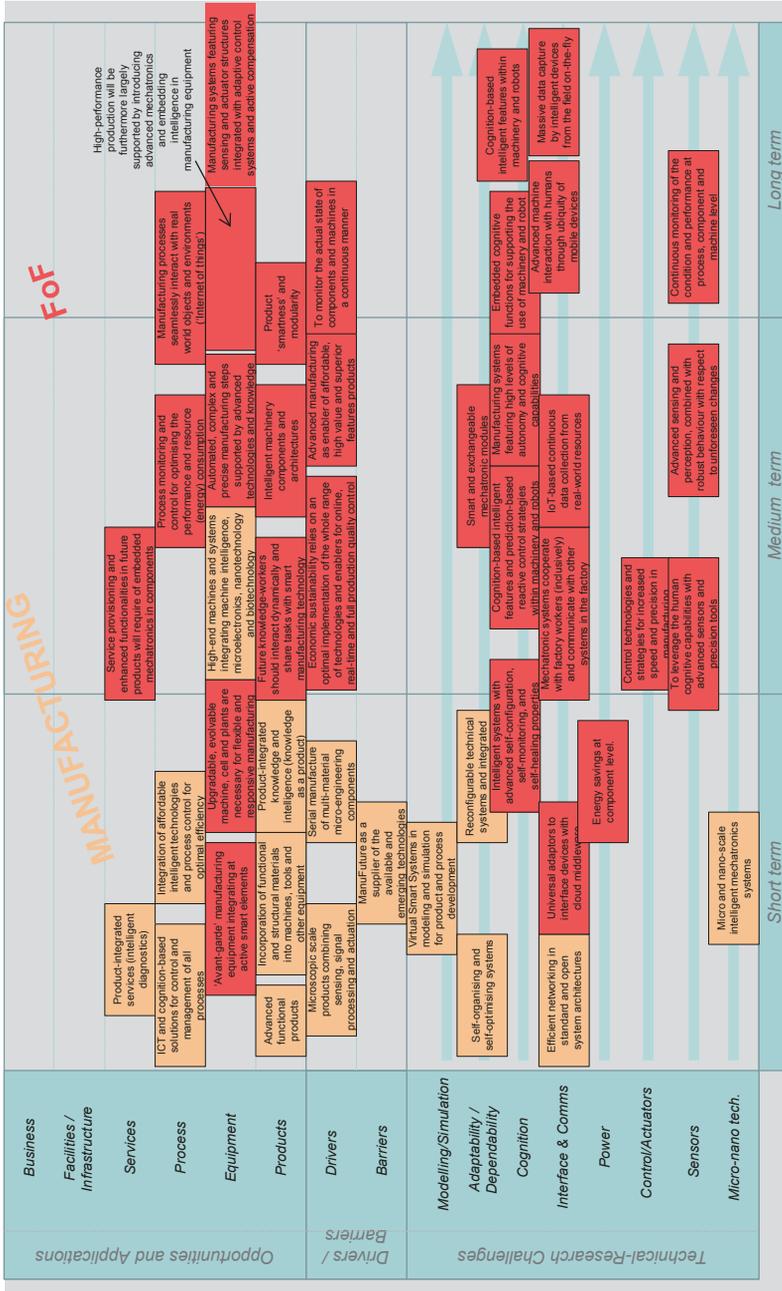


Abb. 17.3 Roadmap für Smart Systems in Manufacturing (Augmented SRA for the European Smart Systems Integration Ecosystem, S. 37¹⁰) (orange: Elemente aus der Manufuture-Roadmap; rot: Elemente aus der EFFRA/Factory of the Future-Roadmap)

¹⁰ http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/Augmented%20SRA%20of%20the%20European%20Smart%20Systems%20Integration%20Ecosystem_2015.pdf

Ein besonders relevantes und dynamisches Technologiefeld scheint die Robotik zu sein. Wichtige Aspekte sind hier kooperierende Roboter und Fragen der „weichen Automatisierung“ (z. B. inhärente Sicherheit durch weiche und flexible Aktuatoren – etwa „Elefantenrüssel“ robotischer Systeme). Weiterhin könnte die Bionik in Zukunft eine wichtigere Rolle spielen für die Entwicklung von robotischen Systemen mit „nahezu menschlichen“ Fähigkeiten der Wahrnehmung, Kognition und Motorik.

Die flexible Arbeitsteilung zwischen Mensch und – kooperierendem – Roboter wirft neue Sicherheitsfragen auf. Wenn es keine festgelegten Arbeitsabläufe gibt, muss jede Situation im Arbeitsprozess selbst neu unter Sicherheitsaspekten beurteilt werden.

17.2.4 Qualitative Qualifikationsbedarfe: Erste Hypothesen

Im Hinblick auf die oben beschriebenen generischen Anforderungen können einige erste Hypothesen hinsichtlich des qualitativen Qualifikationsbedarfs formuliert werden. Generell zeichnen sich die Technologien der Industrie 4.0 durch eine neue Stufe der Integration von mechanischen, elektronischen und informatischen Komponenten aus, letztere einschließlich Elementen der Künstlichen Intelligenz (KI). Für den Bereich der beruflichen Bildung muss dies nicht unbedingt zu neuen Berufsbildern führen. Es ist – zumindest als mittelfristige Vision – auch eine stärkere Berücksichtigung von Inhalten der industriellen Informatik in der Ausbildung etwa von Mechatronikern oder Produktionstechnologen denkbar. Dies könnte zu standardisierten Zusatzqualifikationen führen, die auf eine spätere Weiterbildung angerechnet werden könnten. Speziell im Bereich der Weiterbildung, aufbauend auf bewährten Berufsprofilen, sind viele Industrie-4.0-affine Elemente denkbar, nicht nur im Feld der industriellen Informatik, sondern auch der Sensorik oder der Robotik.

Als zukünftiges hochschulisches Bildungsangebot ist „Industrielle Kognitionswissenschaft“ denkbar, etwa als weiterbildendes Zertifikats- oder Masterprogramm für Maschinenbau- und Elektroingenieure. Zentrale Inhalte könnten hier verteilte Sensor-/Aktor-netze, Robotik, Wahrnehmung (z. B. 3D-Sehen) und Kognition (z. B. Handlungsplanung, Kooperation, Schwarmintelligenz) sein.

In ähnlicher Weise ist eine Spezialisierung in „Automationsbionik“ denkbar, die sich ebenfalls auf Robotik bezieht mit Akzenten in der Aktorik (z. B. künstliche Muskeln, Gliedmaßen und Organe) und ebenfalls Aspekten der Wahrnehmung und Kognition aus einer eher biologischen Perspektive.

17.2.5 Organisationsszenarien

Modelle der Betriebs- und Arbeitsorganisation haben generell den größten Einfluss auf die Arbeitswelt der Zukunft: Die Arbeitsorganisation bestimmt, wer welche Aufgaben zugewiesen bekommt und wie groß die Handlungsspielräume bei der Bearbeitung dieser Aufgaben sind (Hacker 2005).

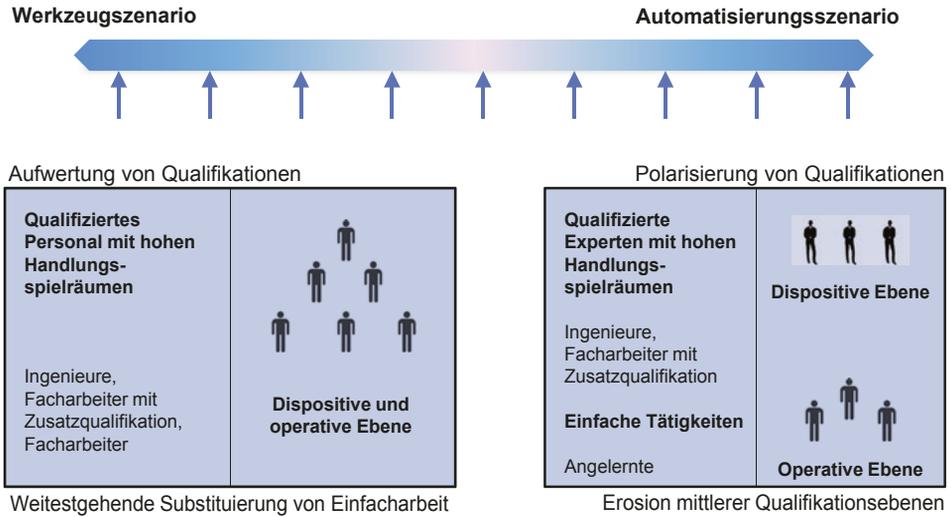


Abb. 17.4 Organisationsszenarien und ihre Auswirkungen auf Qualifikationsstrukturen (eigene Darstellung des iit nach (Windelband und Dworschak 2015; Hirsch-Kreinsen 2015))

Unterschiedliche Organisationszenarien werden oft als zwei diametral gegenüberliegende Pole beschrieben (Abb. 17.4), von denen einer, in grober Näherung, eher „Mensch-orientiert“ und einer eher „Technik-orientiert“ ist. Aktuell diskutierte Begriffe beziehen sich etwa auf ein Werkzeugszenario, das den Menschen in den Mittelpunkt stellt und ihm die Technik als Werkzeug an die Hand gibt, gegenüber einem Automatisierungsszenario (Windelband und Dworschak 2015).

Oder es wird eine integrative, auf eher homogene und insgesamt stark ausgeprägte Qualifikationen setzende „Schwarm-Organisation“ einer polarisierten Organisation gegenübergestellt, in der sich nur noch Niedrig- und Hochqualifizierte finden, ohne mittlere Qualifikationen (insbes. Facharbeiter) (Hirsch-Kreinsen 2015). Aus innovationsökonomischer Perspektive wird auch zwischen vier Organisationstypen (discretionary learning (DL), lean, taylorist und traditional) unterschieden, die u. a. verschiedene Grade der Lernintensität aufweisen (Lorenz und Valeyre 2005; Lorenz 2015).

Die durch die Organisationsmodelle induzierten unterschiedlichen Qualifikationsbedarfe sollen im Folgenden noch anhand zweier Textfragmente aus zwei Szenarien illustriert werden. Die Beispiele stammen aus einer Studie des iit im Kontext des DGB-Technologiedialogs (Hartmann 2009). Neben faktenbasiertem, analytischem Material enthält diese Studie auch anschauliche Szenarien; daraus stammt der folgende fiktive Dialog zweier Betriebsräte um das Jahr 2020. Der erste Betriebsrat schildert diese Situation:

Ich erklär’ das mal am Beispiel der Einrichter. Die haben jetzt alle Daten-Brillen auf. Wenn irgendwo was gemacht werden muss, kriegen sie das in die Brille eingeblendet, also zum

Beispiel ‚ab nach Halle 13, zur Birkenbach-Maschine‘. Da stehen dann schon alle Werkzeuge und Vorrichtungen bereit, die sie brauchen, auf automatischen Wagen. Die müssen dann auch gar nicht mehr groß nachdenken, was sie zuerst machen sollen, denn die einzelnen Werkzeuge leuchten farbig auf – in der Brille natürlich, nicht in echt – wenn sie dran sind. Wenn dazu noch Infos nötig sind, leuchten die auch in der Brille auf.

Eine Kollegin aus einem anderen Betrieb stellt dem dies gegenüber:

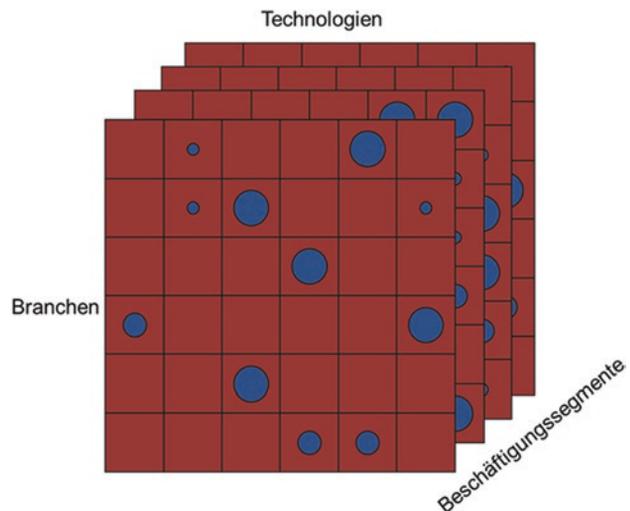
Spezielle Einrichter haben wir ja gar nicht, alle im Produktionsteam können die Maschinen auch einrichten, auch zu einem guten Teil warten. Weil wir diese komplette Vernetzung haben, können wir an unseren Info-Terminals¹¹ immer genau sehen, wie der Zustand in der Fertigung ist. Und noch besser: Auch, wie er demnächst sein wird, weil wir zum Beispiel immer sehen können, ob unsere Nachschubteile gerade auf der Autobahn stehen oder schon auf den Hof rollen. So können wir unsere Arbeit prima organisieren und abstimmen.

Aus diesen Beispielen sollte ersichtlich sein, dass ähnliche oder sogar identische Technologien in Abhängigkeit von ihrer Einbettung in bestimmte Organisationsformen sehr unterschiedliche Qualifikationsbedarfe begründen können.

17.2.6 Technologie/Branchen-Matrizen

Schließlich müssen bei der Qualifikationsbedarfsanalyse die Effekte in unterschiedlichen Branchen differenziert betrachtet werden (Abb. 17.5). Dies mag sich zunächst auf unterschiedliche Organisationsparadigmen beziehen, die in unterschiedlichen Branchen

Abb. 17.5 Technologie/Branchen-Matrix in Abhängigkeit von Beschäftigungssegmenten (Quelle: modifiziert aus (Hartmann und Bovenschulte 2013))



¹¹ Hier merkt man, wie alt ein Text aus dem Jahre 2009 wirken kann. Heute würde man eher an mobile Endgeräte denken.

unterschiedlich verbreitet sind. Weiterhin werden in – bezogen auf die jeweilige Technologie – herstellenden und anwendenden Branchen verschiedene Bedarfe zu erwarten sein.

Innerhalb der Branchen werden die Effekte wiederum nach Arbeitskräftesegmenten variieren (z. B. Konstruktion gegenüber Produktion, beruflich gegenüber hochschulisch gebildetem Personal).

Abb. 17.6 zeigt beispielhaft eine Technologie/Branchen-Matrix für einige Technologien der Industrie 4.0. Hier sind die Effekte noch nicht auf einzelne Beschäftigtengruppen heruntergebrochen worden, wie es für eine Qualifikationsbedarfsanalyse notwendig wäre.

17.3 Fazit

Technologie, Organisation und Qualifikation sind die zentralen Parameter der Arbeitswelt. Anhand technologischer Roadmaps können zukünftige technische Entwicklungen hinsichtlich ihrer Qualität und ihrer zeitlichen Dynamik (erste Verfügbarkeit, weitere Entwicklung) abgeschätzt werden. Daraus ergeben sich auch erste, grobe Hinweise auf generische Qualifikationsbedarfe. Hinsichtlich Industrie 4.0 sind diese etwa in den Bereichen industrielle Informatik, Künstliche Intelligenz, Robotik und Bionik zu vermuten.

Konkrete, zuverlässige Prognosen zur Ausformungen zukünftiger Produktionsarbeit lassen sich aktuell nicht finden. Dies betrifft insbesondere die Facharbeit, die an sich über gute Potenziale für eine Qualifikationsaufwertung verfügt. Einstimmigkeit herrscht lediglich hinsichtlich zweier zu erwartender Trends. Der industriellen Einfacharbeit (bspw. durch Angelernte) werden schlechte Entwicklungschancen zugerechnet. Ihre Rolle wird unter Umständen hauptsächlich in der Besetzung von Rationalisierungsnischen bestehen. Für Hochqualifizierte mit akademischen Abschlüssen bieten sich unabhängig von den sich zukünftig entfalteten Organisationsszenarien durchweg sehr gute Entwicklungsperspektiven. Gefordert sind dabei allerdings erhebliche Anstrengungen, um den neuen Qualifikationsanforderungen und gesteigerten Flexibilitätsansprüchen gerecht zu werden.

Angesichts der hier angerissenen Diskussion lässt sich die These ableiten, dass die technologischen Einsatzszenarien durchaus mit den Qualifikationsszenarien gekoppelt sind (Abb. 17.4). Es ist davon auszugehen, dass das eine Ende des Spektrums, der Einsatz von neuen Technologien als Werkzeuge, eine Aufwertung von Qualifikationen fördert, während das andere Ende, die Erreichung eines möglichst hohen Automatisierungsgrades, eine Polarisierung von Qualifikationen verstärkt.

Die skizzierten Zusammenhänge erlauben auf der aktuellen Wissensbasis keine eindeutige Abschätzung über die Folgen der Digitalisierung für die Arbeit. Welche Arbeitsorganisation und –formen sich durchsetzen werden, wird sehr stark von unternehmerischen Entscheidungsprozessen abhängen (Kärcher 2015). Diese Wahlfreiheit ermöglicht hohe Gestaltungsmöglichkeiten. Es sollte jedoch bedacht werden, dass der Einsatz digitaler Technologien entweder als unterstützendes Werkzeug oder als reine Automatisierungsmöglichkeit, diese Wahlfreiheit unter Umständen von Beginn an einschränken kann. D. h. für die einzelnen Unternehmen kann es durchaus sinnvoll sein, sich zuerst auf die gewünschten arbeitsorganisatorischen Gestaltungsziele und Qualifikationsentwicklungen

zu konzentrieren und dann die entsprechenden Technologien auszuwählen und zum Einsatz zu bringen. Hierbei ist anzumerken, dass es keinen allgemeinen Technikdeterminismus gibt. Dieselbe Technologie kann sich an unterschiedlichen Orten des skizzierten Spektrums manifestieren.

Literatur

- Apt, W., Bovenschulte, M., Hartmann, E. A., & Wischmann, S. (2016). Foresightstudie 'Digitale Arbeit. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Berlin (Forschungsbericht, 463). Online verfügbar unter http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/f463-digitale-arbeitswelt.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8).
- Brandt, D., Hartmann, E., Sander, C., & Strina, G. (1999). Designing and simulating sociotechnical systems: concepts and strategies. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 9(3), 245–252. Zugegriffen: 15 Juli 2013.
- Hacker, W. (2005). Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. 2., vollst. überarb. und erg. Aufl. Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 58).
- Hartmann, E. A. (2005). *Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse*. Zürich: vdf, Hochschulverlag.
- Hartmann, E. A. (2009). Internet der Dinge-Technologien im Anwendungsfeld ‚Produktion — Fertigungsplanung‘. In A. Botthof & M. Bovenschulte (Hrsg.), *Das ‚Internet der Dinge‘. Die Informatisierung des Alltags und der Lebenswelt*. Düsseldorf/Germany: Hans-Böckler-Stiftung (AP 176).
- Hartmann, E. A., & Bovenschulte, M. (2013): Skills needs analysis for “Industry 4.0” based on roadmaps for smart systems. In Using technology foresights for identifying future skills needs. Global Workshop Proceedings. Moskow: Skolkovo, International Labour Organization.
- Henning, K., Volkholz, V., Risch, W., & Hacker, W. (Hrsg.) (1994). *Moderne Lernzeiten*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kärcher, B. (2015). Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In A. Botthof & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kind, S., Hartmann, E. A., & Bovenschulte, M. (2011). Die Visual-Roadmapping-Methode für die Trendanalyse, das Roadmapping und die Visualisierung von Expertenwissen. Institut für Innovation und Technik (iit) (iit perspektive, 4). Online verfügbar unter <http://www.iit-berlin.de/de/publikationen/iit-perspektive-4>.
- Lorenz, E. (2015). Work organisation, forms of employee learning and labour market structure. Accounting for international differences in workplace innovation. *Journal of the Knowledge Economy*, 6(2), 437–466. <https://doi.org/10.1007/s13132-014-0233-4>.
- Lorenz, E., & Valeyre, A. (2005). Organisational innovation, human resource management and labour market structure. A comparison of the EU-15. *Journal of Industrial Relations*, 47(4), 424–442. <https://doi.org/10.1111/j.1472-9296.2005.00183.x>.
- Strohm, O., & Ulich, E. (2011). Unternehmen umfassend bewerten. In C. Meyn, G. Peter, U. Dechmann, A. Georg, & O. Katenkamp (Hrsg.), *Arbeitssituationsanalyse* (S. 322–338). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Trist, E., & Bamforth, K. (1951). Some social and psychological consequences of the long wall method of coal getting. *Human Relations*, 4, 3–38.
- Ulich, E. (2005). *Arbeitspsychologie*. 6., überarb. und erw. Aufl. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH. Online verfügbar unter http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2646503&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- Windelband, L., & Dworschak, B. (2015). Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In H. Hirsch-Kreinsen (Hrsg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. [Elektronische Ressource]. Berlin: Nomos.

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 ordnungsge-mäß 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 Recht-einhabers einzuholen.

