

Martin Emmerling

Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für die technische Produktionsplanung und -steuerung

im Kontext der digitalen Transformation in
der Industrie

Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für die technische Produktionsplanung und -steuerung

im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie

Martin Emmerling

Die Reihe **Berufsbildung, Arbeit und Innovation** bietet ein Forum für die grundlagen- und anwendungs-orientierte Forschung zu den Entwicklungen der beruflichen Bildungspraxis. Adressiert werden insbesondere berufliche Bildungs- und Arbeitsprozesse, Übergänge zwischen dem Schul- und Beschäftigungssystem sowie die Qualifizierung des beruflichen Bildungspersonals in schulischen, außerschulischen und betrieblichen Handlungsfeldern.

Hiermit leistet die Reihe einen Beitrag für den wissenschaftlichen und bildungspolitischen Diskurs über aktuelle Entwicklungen und Innovationen. Angesprochen wird ein Fachpublikum aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie aus schulischen und betrieblichen Politik- und Praxisfeldern.

Die Reihe ist gegliedert in die **Hauptreihe** und in die Unterreihe **Dissertationen/Habilitationen**.

Reihenherausgebende:

Prof.in Dr.in habil. Marianne Friese

Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Erziehungswissenschaften
Professur Berufspädagogik/Arbeitslehre

Prof.in Dr.in Susan Seeber

Georg-August-Universität Göttingen
Professur für Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung

Prof. Dr. Lars Windelband

Technische Universität Hamburg (TUHH)
Institut für Berufswissenschaft der Metalltechnik (IBMT)
Professur für Berufliche Metalltechnik

Wissenschaftlicher Beirat

- Prof. Dr. Matthias Becker, Hannover
- Prof.in Dr.in Karin Büchter, Hamburg
- Prof. Dr. Frank Bünning, Magdeburg
- Prof. Dr. Hans-Liudger Dienel, Berlin
- Prof. Dr. Uwe Faßhauer, Schwäbisch-Gmünd
- Prof. Dr. Karl-Heinz Gerholz, Bamberg
- Prof. Dr. Philipp Gonon, Zürich
- Prof. Dr. Dietmar Heisler, Paderborn
- Prof. Dr. Torben Karges, Flensburg
- Prof. Dr. Franz Ferdinand Mersch, Hamburg
- Prof.in Dr.in Manuela Niethammer, Dresden
- Prof.in Dr.in Karin Reiber, Esslingen
- Prof. Dr. Thomas Schröder, Dortmund
- Prof.in Dr.in Michaela Stock, Graz
- Prof. Dr. Tade Tramm, Hamburg
- Prof.in Dr.in Ursula Walkenhorst, Osnabrück

Weitere Informationen finden
Sie auf wbv.de/bai

Martin Emmerling

Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für die technische Produktionsplanung und -steuerung

**im Kontext der digitalen Transformation in
der Industrie**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.) mit dem Titel
"Entwicklung eines Weiterbildungskonzepts für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext
der digitalen Transformation in der Industrie", genehmigt an der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

KIT-Dekan: Prof. Dr. Michael Mäs

Betreuer: Prof. Dr. Martin Fischer

1. Gutachter: Prof. Dr. Lars Windelband

2. Gutachter: Prof. Dr. Gerd Gidion

Tag der mündlichen Prüfung: 05.02.2025

Berufsbildung, Arbeit und Innovation –
Dissertationen/Habilitationen, Band 80

2025 wbv Publikation
ein Geschäftsbereich der
wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld

Gesamtherstellung:
wbv Media GmbH & Co. KG
Auf dem Esch 4, 33619 Bielefeld
service@wbv.de
wbv.de

Umschlagmotiv: 1expert, 123rf

Bestellnummer: I76393
ISBN (Print): 978-3-7639-7639-3
ISBN (E-Book): 978-3-7639-7640-9
DOI: 10.3278/9783763976409

Printed in Germany

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download unter
wbv-open-access.de

Diese Publikation mit Ausnahme des Coverfotos ist unter
folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht:
creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de



Für alle in diesem Werk verwendeten Warennamen
sowie Firmen- und Markenbezeichnungen können
Schutzrechte bestehen, auch wenn diese nicht als solche
gekennzeichnet sind. Deren Verwendung in diesem Werk
berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei verfü-
gbar seien.

Der Verlag behält sich das Text- und Data-Mining nach
§ 44b UrhG vor, was hiermit Dritten ohne Zustimmung
des Verlages untersagt ist.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Die freie Verfügbarkeit der E-Book-Ausgabe dieser Publikation wurde ermöglicht durch ein Netzwerk wissenschaftlicher Bibliotheken und Institutionen zur Förderung von Open Access in den Sozial- und Geisteswissenschaften im Rahmen der *wbv OpenLibrary 2024*.

Die Publikation beachtet unsere Qualitätsstandards für Open-Access-Publikationen, die an folgender Stelle nachzulesen sind:

https://www.wbv.de/fileadmin/importiert/wbv/PDF_Website/Qualitaetsstandards_wbvOpenAccess.pdf

Großer Dank gebührt den Förderern der *wbv OpenLibrary 2024* im Fachbereich *Berufs- und Wirtschaftspädagogik*:

Otto-Friedrich-Universität **Bamberg** | Humboldt-Universität zu **Berlin** | Universitätsbibliothek **Bielefeld** | Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB, **Bonn**) | Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität **Bonn** | Universitäts- und Landesbibliothek **Darmstadt** | Goethe-Universität **Frankfurt am Main** | Pädagogische Hochschule **Freiburg** | Justus-Liebig-Universität **Gießen** | Fernuniversität **Hagen** | TIB **Hannover** | Universitätsbibliothek **Kassel** | **Karlsruhe** Institute of Technology (KIT) | Universitätsbibliothek **Kiel** | Universitäts- und Stadtbibliothek **Köln** | Zentral- und Hochschulbibliothek (ZHB, **Luzern**) | Hochschule der Bundesagentur für Arbeit (**Mannheim**) | Fachhochschule **Münster** | Carl von Ossietzky Universität **Oldenburg** | Landesbibliothek **Oldenburg** | Universitätsbibliothek **Osnabrück** | Universität **Potsdam** | Universitätsbibliothek **St. Gallen**

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	11
Kurzfassung	13
Abstract	14
1 Einleitung	15
1.1 Praktische Problemstellung	15
1.2 Wissenschaftliche Relevanz	20
1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage	21
1.4 Aufbau der Forschungsarbeit	23
2 Wissenschaftliche Grundlage	25
2.1 Technische Produktionsplanung und -steuerung	25
2.1.1 Aufgaben dieser Beschäftigten aus einer interdisziplinären Perspektive	25
2.1.2 Berufe und Berufsbildung	33
2.1.3 Empirische Untersuchungen im Umfeld der Berufsuntergruppe	44
2.2 Die digitale Transformation in der Industrie	50
2.2.1 Die Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0	50
2.2.2 Veränderung beruflicher Anforderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung	64
2.2.3 Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0	82
3 Methodisches Vorgehen	95
3.1 Methodologisches Rahmenkonzept	95
3.1.1 Design-Based Research	95
3.1.2 Forschungsdesign	102
3.2 Datenerhebung	114
3.2.1 Problemzentriertes Interview	114
3.2.2 Planen und Durchführen der Interviews	118
3.3 Datenauswertung	122
3.3.1 Inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse	122
3.3.2 Planen und Durchführen der Auswertung	125
4 Ergebnisse der empirischen Erhebung	135
4.1 Überblick über die Forschungsteilnehmenden	135
4.2 Projekte zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen	136

4.3	Zukunftsperspektiven auf dem Weg zu Industrie 4.0	149
4.4	Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene der digitalen Transformation in der Industrie	153
4.4.1	Arbeitspraxis, Herausforderungen und Veränderungen in der Arbeit	153
4.4.2	Wissen und Können	162
4.5	Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie	174
4.5.1	Körperliche und mentale Anforderungen sowie Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion	174
4.5.2	Wissen und Können in der Produktion	180
4.5.3	Individuelle Erfahrungen und Ansichten über Zweck und Wirkung des Technikeinsatzes	184
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse und gestaltungsrelevante Überlegungen aus der Perspektive der Berufsbildungsforschung	190
5	Ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung	203
5.1	Gestaltungsprinzipien für die betriebliche Weiterbildung von Betroffenen und Gestaltenden der digitalen Transformation in der Industrie	203
5.2	Kontextspezifisches Weiterbildungskonzept	209
5.2.1	Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen .	211
5.2.2	Einführungsprozesse kooperativ gestalten	217
5.2.3	Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion	222
5.2.4	Technikgestaltung und Arbeitsorganisation	228
5.2.5	Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem	233
5.3	Evaluation der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes .	236
6	Zusammenfassung und reflektierende Betrachtung der Arbeit	245
6.1	Durchführung der Untersuchung und Zusammenfassung der Ergebnisse	245
6.2	Relevanz der Ergebnisse für Wissenschaft und Praxis	247
6.3	Reflexion des methodischen Vorgehens	251
6.4	Limitationen der Untersuchung	255
6.5	Weiterer Forschungsbedarf	257
	Literatur	261
	Abbildungsverzeichnis	281
	Tabellenverzeichnis	282

Anhang	285
Kernfragen der Designzyklen nach Euler	285
Erster Entwurf von Gestaltungsprinzipien	292
Interviewleitfaden	293
Kurzfragebogen der Interviews	294
Interviewprotokollbogen	295
Fallzusammenfassung Interview 1	296
Kategoriensystem	297
 Autor	 303

Abkürzungsverzeichnis

Acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
AGV	Automated guided vehicle (Deutsch: Fahrerloses Transportfahrzeug)
BiBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
CAD	Computer-aided design (Deutsch: Rechnerunterstütztes Konstruieren)
CAP	Computer-aided planning (Deutsch: Rechnerunterstützte Arbeitsplanung)
CIM	Computer-integrated manufacturing (Deutsch: Rechnerunterstützte Produktion)
DBR	Design-Based Research (Deutsch: Designbasierte Forschung)
Destatis	Statistisches Bundesamt
FTS	Fahrerloses Transportfahrzeug
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KI	Künstliche Intelligenz
MES	Manufacturing Execution System (Deutsch: Produktionsleitsystem)
MTM	Methods-Time Measurement (Deutsch: Arbeitsablauf-Zeitanalyse)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Deutsch: Gesamtanlageneffektivität)
OPC-UA	Open Platform Communications Unified Architecture (Deutsch: Einheitliche Architektur der offenen Kommunikationsplattform)
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.
RFID	Radio-frequency identification (Deutsch: Identifizierung mithilfe elektromagnetischer Wellen)

Kurzfassung

Der sich vollziehende digitale Wandel in der Industrie verändert auch die Arbeit in der industriellen Produktion. Daraus ergeben sich Chancen, aber auch Risiken für die Entwicklung von Arbeit und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten. Eine besondere Stellung nehmen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein. Sie stehen vor einer zweifachen Herausforderung. Einerseits verändern sich ihre eigenen Aufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können. Andererseits sind sie aber auch Gestaltende dieser digitalen Transformation und müssen dabei auch auf die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion achten. Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Unterstützung der Beschäftigten bei dieser zweifachen Herausforderung. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes nach dem Ansatz des Design-Based Research wird gemeinsam mit den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein Weiterbildungskonzept erarbeitet. Das Weiterbildungskonzept soll sie als Betroffene und Gestaltende des Wandels hin zu einer Industrie 4.0 unterstützen. Als Bezugspunkt für das Weiterbildungskonzept wird in einer empirischen Erhebung die Arbeitspraxis der Beschäftigten im Kontext der zweifachen Problemstellung erfasst. Beschäftigte in der Produktionsplanung und -steuerung benötigen nicht nur und in erster Linie spezialisiertes technologisches Wissen und Können. Vielmehr kommt es darauf an, wie technologisches Wissen mit fachübergreifendem Wissen und Können verknüpft werden kann. Wichtig sind soziale Fähigkeiten und die Förderung gemeinsamer Entscheidungen. Die Beschäftigten beziehen zum Teil auch Überlegungen zur Arbeit und Qualifikation in der Produktion in die Gestaltung der Produktionssysteme ein. Technik soll aus Sicht der Beschäftigten so eingesetzt werden, dass diese einem für sie nachvollziehbaren Zweck dient. Dieses Nachdenken über den Einsatz von Technik soll weiter gefördert und um die Perspektiven der Arbeitsorganisation und der Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden in der Produktion erweitert werden. Gestaltungsprinzipien für die betriebliche Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie werden erarbeitet. Es wird ein bereichsspezifisches Weiterbildungskonzept entwickelt, das auch Impulse zur menschenzentrierten Arbeitsgestaltung enthält. Durch das Weiterbildungskonzept wird das Wissen und Können der Beschäftigten zur eigenständigen Initiierung und Durchführung von Innovationsvorhaben gestärkt. Einsatzmöglichkeiten von Industrie-4.0-Anwendungen werden aufgezeigt. Die Kommunikation mit verschiedenen Interessengruppen und der Umgang mit deren individuellen Perspektiven werden vertieft. Es werden Impulse für die Gestaltung von Arbeitsorganisation und Technik sowie für eine stärkere Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an Gestaltungsprozessen gesetzt.

Abstract

The ongoing digital transformation in industry is also changing work in industrial production. This results in opportunities, but also risks for the development of work and education/competence of employees. Employees in technical production planning and control occupy a special position. They face a double challenge. On the one hand, their tasks and the knowledge and skills required to perform them are changing. On the other hand, they are the ones shaping this digital transformation and must pay attention to the work and qualifications of the employees in production. This study makes a contribution to supporting these employees in technical production planning and control. Within the framework of a design-based research approach, a further training concept is being developed together with these employees in technical production planning and control. The training concept is intended to support them as those affected by and shaping the change towards Industry 4.0. As a point of reference for the training concept, the working reality of the employees is recorded in an empirical survey in the context of the double challenge. Employees in production planning and control do not only and primarily need specialised technological knowledge and skills. Rather, it is important how technological knowledge can be linked with interdisciplinary knowledge and skills. Thus, dealing with people and bringing about joint decisions is essential. The employees also include some considerations regarding work and qualifications in production in the design of the production systems. From the employees' perspective, technology should be used in such a way that it serves a purpose that is comprehensible to them. This reflection on the use of technology should be further developed and expanded to include the perspectives of work organisation and the training/competence of employees in production. Design principles for the in-company training of employees in technical production planning and control in the context of digital transformation in industry are developed. A context-specific further training concept was developed that also contains impulses for human-centered work design. The training concept strengthens employees' abilities to initiate and implement innovation processes independently. Possible uses of Industry 4.0 applications are demonstrated. Communication with different interest groups and dealing with their individual perspectives will be deepened. Impulses are given for the design of work organisation and technology, as well as for a stronger involvement of employees in production in design processes.

1 Einleitung

1.1 Praktische Problemstellung

„Industrie 4.0 ist in Deutschland zu einem neuen Leitbegriff im Kontext der ‚Zukunft der Arbeitswelt‘ geworden“ (Bayme vbm, 2016, S. 1). Dieses Zitat aus einer Studie der bayerischen Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektroindustrie lässt die Tragweite von Industrie 4.0 für die Zukunft der Arbeit in Deutschland erahnen.

Der Begriff Industrie 4.0 wurde im Zusammenhang mit den Handlungsempfehlungen an die Bundesregierung für eine neue Hightech-Strategie zur Sicherung des Standorts Deutschland in den Jahren 2012 und 2013 geprägt (Kagermann et al., 2013). Die Entwicklung hin zu diesem Zukunftsszenario wird als digitale Transformation bezeichnet (Schuh et al., 2020, S. 7). Diese digitale Transformation findet kontinuierlich statt und verläuft in den Unternehmen mit unterschiedlichem Tempo und Ausprägung. Der technologische Wandel wird von einem Wandel der Organisations- und Arbeitsstrukturen begleitet (Becker et al., 2022, S. 81). Im Prozess der digitalen Transformation sollen Produkt, Produktionsanlagen und Produktionsprozesse durchgängig digital abgebildet werden. Neue digitale Methoden und Werkzeuge sollen im Produktionsumfeld eingesetzt werden (Schenk et al., 2014, S. 652). In den Logistikprozessen und der Lagerhaltung soll die Kommunikation und Information durch den Einsatz dieser neuen Technologien verbessert werden (Bauer et al., 2014, S. 8). Eine Studie aus dem Jahr 2022 verdeutlicht, dass die Arbeit von Menschen auf allen Qualifikationsniveaus heute von digitalen Anwendungen durchdrungen ist (Becker et al., 2022, S. 82).

Die Vision von Industrie 4.0 umfasst jedoch nicht nur die digitale Abbildung und Vernetzung von Produktionssystemen, sondern auch die Möglichkeit des autonomen Handelns durch das System:

Es kommt zur Interaktion im Sinne der Datenerfassung, Datenverarbeitung und des Datentransportes zwischen technischen Systemen. Dabei ist ein entscheidendes Merkmal der Interaktion die darin enthaltene „Intelligenz“, die sich daran bemisst, wie autonom die Interaktion stattfindet und daran wie angemessen diese für unser menschliches Zusammenleben und die realen Anforderungen in der Facharbeit sind. Da das autonome Auslösen einer Interaktion Entscheidungen voraussetzt, sind genau diese unter die Lupe zu nehmen. Während altbekannte Programme mit ihrer Algorithmik im Grunde Zustände und Sachverhalte einbinden, geht die KI darüber hinaus und bewertet diese. (Becker et al., 2023a)

In engem Zusammenhang mit der digitalen Transformation steht zunehmend auch künstliche Intelligenz im Umfeld des Produktionssystems. Das autonome Handeln des Systems gewinnt an Bedeutung und ist ein zentraler Aspekt in zwei Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz,

2023). Wennker (2020) beschreibt mögliche Anwendungen von künstlicher Intelligenz in der industriellen Praxis. Roboter sollen nicht mehr wie bisher programmiert, sondern in die Lage versetzt werden, menschliche Bewegungen eigenständig nachzuahmen. Im Bereich der Wartung sollen durch die Auswertung einer Vielzahl von Daten Unregelmäßigkeiten erkannt und so Maschinenausfälle vorhergesagt werden. In der Produktentwicklung sollen durch generative Produktgestaltung Produkte allein durch die Eingabe gewünschter Produkteigenschaften wie Material, Größe und Gewicht selbstständig durch das System entworfen werden. Künstliche Intelligenz soll die Qualitätssicherung verbessern, indem sie bei der Bilderkennung und der Prozesskontrolle in der Produktion unterstützt (S. 131f.). Technologiekonzerne präsentieren ihre Ideen und Projekte, wie generative Sprachmodelle Einzug in die industrielle Produktion halten könnten (ABB Ltd., 2023; Siemens AG, 2023).

Die weitere Durchdringung der industriellen Produktion mit Technologie wird mit dem Versprechen auf eine sehr positive Zukunft verbunden. Die technologischen Möglichkeiten sollen die Produktion kundenindividueller Produkte in der Art einer Massenfertigung ermöglichen (Kagermann et al., 2013, S. 19; Becker et al., 2023a, S. 4). Ziel ist auch die Reduzierung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten und damit die Steigerung der Effizienz von Wertschöpfungsketten. Insgesamt wird von der digitalen Transformation auch für Deutschland ein hohes volkswirtschaftliches Potenzial erwartet. (Bauer et al., 2014, S. 8) Schmalzried et al. (2023) erläutern, warum künstliche Intelligenz die Menschzentrierung, Nachhaltigkeit und Resilienz von produzierenden Unternehmen wesentlich verbessern kann. Dazu beschreiben sie aktuelle Anwendungen für den Einsatz künstlicher Intelligenz in der industriellen Produktion und prognostizieren Veränderungen auf Basis zukünftig verfügbarer Technologien.

Es ist naheliegend, dass dieser Wandel auch Veränderungen für die Mitarbeitenden mit sich bringt, die im Umfeld des Produktionssystems arbeiten. Diese Veränderungen können unterschiedliche Auswirkungen auf die Arbeit und Qualifikation dieser Mitarbeitenden haben. Fahrerlose Transportsysteme und eine erweiterte Kommunikation und Koordination zwischen Mensch und Maschine ermöglichen neue Organisationskonzepte in der Produktion, wie die Matrix-Produktion. Dadurch ändert sich auch die Zusammenarbeit in der Produktion. Dieses Konzept der Matrix-Produktion soll durch den Wegfall von Förderbändern und den Verzicht auf getaktete Abläufe auch zu einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen beitragen. (Greschke & Herrmann, 2014) Andererseits können die neuen Technologien und deren Anwendungen in der Praxis auch zu einer zunehmenden Belastung der Mitarbeitenden führen (Minow, 2021). Insgesamt wird in den vergangenen Jahren beispielsweise auch von einer zunehmenden mentalen Belastung berichtet (Brenscheidt et al., 2020, S. 34).

Die Zusammenarbeit der Menschen verändert sich. Die Arbeitsgruppe „Arbeit, Aus- und Weiterbildung“ der Plattform Industrie 4.0 beschreibt die notwendigen Veränderungen in der Zusammenarbeit aufgrund zunehmender Komplexität. Eine gestiegene Komplexität soll durch dezentrale Entscheidungsprozesse und neue Arbeitsformen, die schnellere Entscheidungen ermöglichen, reduziert werden. Agile Arbeitsmethoden sollen eine mögliche Lösungsalternative darstellen. (Becker et al., 2023b) Auch

in Zukunft werden die Mitarbeitenden in der Produktion eine wichtige Rolle spielen und Entscheidungen treffen. Möglicherweise werden auch Entscheidungen von den zentralen Ebenen zurück in die Produktion verlagert. Die Zusammenarbeit zwischen Fachleuten mit unterschiedlichen Funktionen und Qualifikationen spielt bei der digitalen Transformation eine wichtige Rolle. (Spöttl, 2017, S. 11) Wie die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zeigen, ist diese Form der Zusammenarbeit bereits heute gängige Praxis:

In den betrachteten Unternehmen finden sich heterogene Teams aus Werkern, Ingenieuren, IT-Fachkräften und Arbeitsvorbereitern, um komplexe Aufgabenstellungen wie Inbetriebnahme, Parametrierung, Mehrfachmaschinenbedienung und anderes zu organisieren. (Becker et al., 2022, S. 82)

Nicht nur die Zusammenarbeit der Menschen verändert sich, sondern auch die Zusammenarbeit zwischen Mensch und technischen Systemen:

Es kommt zu einer neuen Verteilung von Entscheidungen und Handlungen zwischen Menschen und CPS [Cyber-physischen Systemen], die gekennzeichnet ist von einer

- Verlagerung fester Ablaufstrukturen hin zu einer lockeren Koppelung,
- situativen Verteilung von Aktivitäten auf Menschen, Maschinen und Programme,
- sequentiellen Problembearbeitung hin zu einer selbst organisierten und
- durch Programmstrukturen vorgegebenen Produktion hin zu einer interaktivitäts-gesteuerten Mensch-Maschine-Umwelt-Beziehung. (Spöttl, 2018, S. 6)

Auch Anwendungen mit Leichtbaurobotern nehmen weiter zu und es ist davon auszugehen, dass die Mensch-Roboter-Kollaboration weiter an Bedeutung gewinnen wird. Ein wesentlicher Aspekt bei der Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter ist die Aufgabenverteilung. Hier ist es wichtig, sich bewusst zu machen, welche Aufgaben der Roboter übernehmen soll und welche Aufgaben beim Menschen verbleiben sollen. Wenn der Mensch am Ende nur noch Resttätigkeiten ausführt, die der Roboter nicht übernehmen kann, könnte die Arbeit in der Produktion monotoner werden. (Fischer et al., 2017b)

Für die Entwicklung von Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden in der Produktion einer Industrie 4.0 sind nach Hirsch-Kreinsen et al. (2016) verschiedene Szenarien denkbar (Abbildung 1).

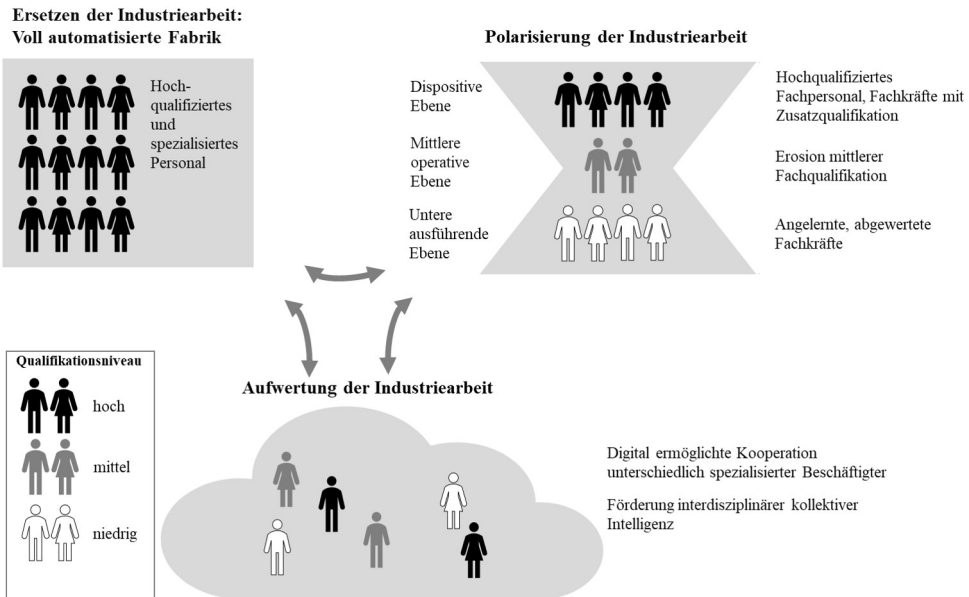


Abbildung 1: Entwicklungsszenarien zur Arbeit der Zukunft (Quelle: Eigene Darstellung nach Hirsch-Kreinsen et al., 2016, S. 7)

Die Mehrheit der Forschenden geht davon aus, dass der gegenwärtige Wandel nicht zum Szenario einer „voll automatisierten Fabrik“ führen wird. Wahrscheinlicher erscheint hingegen, dass gering qualifizierte und standardisierte Tätigkeiten durch Technologie ersetzt werden. Im Szenario „Polarisierung der Industriearbeit“ haben Beschäftigte auf dispositiver Ebene hohe Handlungsspielräume. Beschäftigte auf operativer Ebene führen dagegen einfache Tätigkeiten mit geringen Handlungsspielräumen aus. Die dispositive und die operative Ebene bleiben weitgehend erhalten, die mittlere operative Ebene der Fachkräfte verliert an Bedeutung. Im dritten Entwicklungsszenario „Aufwertung der Industriearbeit“ werden Beschäftigte mit unterschiedlichen Qualifikationen in einem offenen und flexiblen Umfeld kombiniert. Sie koordinieren die Produktion gleichberechtigt. Heute getrennte Planungs-, Ausführungs- und Kontrollfunktionen werden zusammengeführt. Eine fundierte Prognose, in welche Richtung sich die Arbeitsorganisation in Zukunft entwickeln wird, ist derzeit nicht möglich. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Arbeit in einer Industrie 4.0 in unterschiedlichen Ausprägungen zwischen diesen Szenarien entwickeln wird. (Hirsch-Kreinsen et al., 2016, S. 7 f.)

Welche Veränderungen auf dem Weg zur Industrie 4.0 genau stattfinden und wie sich Arbeit und die Bildung/Kompetenz der Beschäftigten im Produktionsumfeld zukünftig verändern werden, ist heute nur schwer zu bestimmen. Es herrscht jedoch Einigkeit darüber, dass es zu erheblichen Veränderungen kommen wird.

Die digitale Transformation in der Industrie wird nicht nur durch die Technologie, sondern auch durch die Arbeitsorganisation und die Bildung/Kompetenz der Be-

schäftigten bestimmt. Auch sind die drei Perspektiven Technik, Arbeitsorganisation und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten nicht vollständig voneinander zu trennen, sondern stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Bei der Gestaltung der Produktionssysteme der Zukunft sollten die verschiedenen Perspektiven gemeinsam betrachtet werden. (Nierling et al., 2020, S.160 f.) Hirsch-Kreinsen (2018) beschreibt diese Schnittstellen als die wesentlichen Ansatzpunkte für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung:

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 soziotechnischen Systems als der entscheidende Ansatzpunkt angesehen werden, die Potenziale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen. (S.183)

Nach Ansicht von Acatech (2016) folgt die digitale Transformation in der Industrie keinem deterministischen Muster, sondern muss aktiv gestaltet werden (S.4). Botthof & Hartmann (2015) vertreten eine ähnliche Position und führen an, dass neue Technologien die Arbeitswelt nicht nach dem Paradigma eines technologischen Determinismus verändern. Vielmehr ist auch die Arbeitswelt im Wandel zur Industrie 4.0 gestaltbar und sollte aktiv gestaltet werden. (S.161) Über die Gestaltbarkeit einer Industrie 4.0 sind sich die Fachleute einig. Diese bewusste Gestaltung einer Industrie 4.0 scheint eine wichtige und zugleich herausfordernde Aufgabe zu sein. Es ist keine Aufgabe, die sich mit klaren Regeln lösen lässt, sondern es muss in unterschiedlichen Situationen abgewogen werden, was im Einzelfall die richtige Entscheidung ist (Fischer, 2023, S.6).

Eine in diesem Zusammenhang interessante Berufsuntergruppe sind die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Beschäftigte dieser Berufsuntergruppe sorgen für einen reibungslosen Produktionsablauf und sind damit ein wesentlicher Bestandteil produzierender Unternehmen (Westkämper & Bauernhansl, 2014, S.13). Diese Beschäftigten nehmen eine aktive Rolle bei der Gestaltung der digitalen Transformation der Industrie ein. Eine zentrale Aufgabe dieser Beschäftigten ist die Gestaltung und Optimierung der Produktionssysteme:

Angehörige dieser Berufe planen und organisieren Arbeitsprozesse, richten Produktionsanlagen ein und kontrollieren die Durchführung. Sie sind zudem für die Optimierung und Effizienzsteigerung von Softwaresystemen und industriellen Fertigungsprozessen zuständig. (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S.362)

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gestalten die Produktionssysteme auf dem Weg zur Industrie 4.0 mit und haben damit auch Einfluss auf die Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden in der Produktion der Zukunft.

Auch für die Aufgaben und Arbeit der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden tiefgreifende Veränderungen prognostiziert

(Spath, 2013, S. 105). Windelband & Dworschak (2018) gehen davon aus, dass insbesondere diese Beschäftigten auf der mittleren Qualifikationsebene mit weitreichenden Veränderungen ihrer Aufgaben und beruflichen Anforderungen konfrontiert sein werden (S. 69). Erste Untersuchungen für einzelne Berufe in dieser Berufsuntergruppe zeigen, dass die Beschäftigten durch die zunehmende Digitalisierung der Planungsprozesse auch mit einer wachsenden Datenmenge umgehen müssen. Diese zunehmende Komplexität und die Einführung neuer Softwareanwendungen führen auch zu neuen Anforderungen an das Wissen und Können der Beschäftigten (Thies, 2023, S. 12). Auch in der technischen Produktionsplanung und -steuerung findet die Arbeit nicht mehr nur vor Ort statt, sondern wird durch virtuelle Zusammenarbeit ergänzt (Baumhauer, 2018). Eine mögliche Verlagerung von Entscheidungen von der zentralen Ebene zurück in die Produktion (Spöttl, 2017, S. 11) könnte auch die Aufgaben und Verantwortungsbereiche dieser Beschäftigten verändern.

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben also nicht nur die anspruchsvolle Aufgabe, auf die Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion zu achten, sondern stehen auch selbst vor der Herausforderung, sich auf neue Aufgaben und veränderte berufliche Anforderungen einzustellen.

1.2 Wissenschaftliche Relevanz

Die digitale Transformation in der Industrie betrifft die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in zweifacher Hinsicht. Es verändern sich die Aufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können der Beschäftigten. Mit der Aufgabe, die Produktionssysteme auf dem Weg zur Industrie 4.0 zu gestalten, ist zudem eine große Verantwortung für die Zukunft der Arbeit in der Produktion verbunden.

Die tatsächliche Arbeitspraxis – die beruflichen Handlungssituationen und das dafür notwendige Wissen und Können – sind der Wissenschaft nur ausschnittsweise bekannt (Fischer, 2014, S. 3). Auch die Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist bislang wenig erforscht. Empirische Untersuchungen im Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung bilden nicht den aktuellen Stand der Arbeitspraxis in Bezug auf die digitale Transformation und die damit verbundenen Herausforderungen ab. Untersuchungen zu den Veränderungen der Arbeit und den Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten im Kontext von Industrie 4.0 wurden bisher nur sehr übergreifend durchgeführt. Studien zu Ausbildungsberufen liefern genauere Ergebnisse, bieten aber keine direkten Anknüpfungspunkte für die hier zu betrachtende Berufsuntergruppe aus den Erwerbsberufen. Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurden nicht näher betrachtet. Auch sind die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten als Gestaltende bisher kaum erforscht. Die empirische Erfassung der Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der Veränderungen durch die digitale Transformation in der Industrie

stellt bislang ein Forschungsdesiderat dar. Die vorliegende Arbeit leistet einen kleinen Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke und ermöglicht der wissenschaftlichen Gemeinschaft weitere Einblicke in die Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Mit der digitalen Transformation der Industrie verändert sich auch die Arbeitswelt der Mitarbeitenden in der Produktion. Die Veränderungen können sich positiv auf die Arbeit und Qualifikation in der Produktion auswirken. Die Verbesserungen stellen sich jedoch nicht von selbst ein, sondern bedürfen einer bewussten Gestaltung (Pfeiffer, 2015, S. 13). Dass Industrie 4.0 gestaltbar ist, darüber sind sich die Fachleute einig, über das Wie gibt es unterschiedliche Vorstellungen. An dieser Stelle die richtigen Weichen zu stellen, scheint eine wichtige und zugleich herausfordernde Aufgabe zu sein. Die empirisch fundierte Erarbeitung eines Weiterbildungskonzeptes für die technische Produktionsplanung und -steuerung mit Impulsen für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung kann hierzu einen Beitrag leisten. Im Rahmen der Entwicklung des kontextspezifischen Weiterbildungskonzeptes werden Gestaltungsprinzipien für die Weiterbildung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erarbeitet und verfeinert.

Aus verschiedenen Gründen ist diese Arbeit auch für die wissenschaftliche Gemeinschaft der Berufsbildungsforschung von Bedeutung. Die Förderung des Wissens und Könnens der Beschäftigten zur Gestaltung von Technik und Arbeitsorganisation ist eines der Felder, in denen Heidegger (2018) den Gestaltungsauftrag der Berufsbildungsforschung beschreibt (S.712). Forschungsgegenstände der Berufsbildungsforschung sind u. a. die Arbeitspraxis der Erwerbstätigen, die darauf bezogene Aus- und Weiterbildung und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten (Fischer, 2018, S.721). In dieser Arbeit wird zunächst ein bisher unbekannter Ausschnitt der Arbeitspraxis aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung erfasst, um dann im Sinne des Gestaltungsaspektes der Berufsbildungsforschung ein Weiterbildungskonzept als Impuls für eine menschenzentrierte Gestaltung von Arbeit und Technik zu entwickeln. Den methodischen Rahmen bildet mit dem Design-Based Research (DBR) ein „potenzialreiches Paradigma für die Berufsbildungsforschung“ (Euler & Sloane, 2018, S.782).

1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage

Wenn also der soziale und technologische Wandel so beschaffen ist, dass weder in der Praxis erprobte Konzepte vorhanden sind, noch in der Wissenschaft Theorien, Modelle oder gar empirisch gestützte Befunde existieren, die eine Orientierung bieten könnten, erscheint es sinnvoll, den Herausforderungen gemeinsam zu begegnen. (Hemkes et al., 2017, S. 1)

Im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird gemeinsam mit erfahrenen Personen aus der Praxis eine anwendungsorientierte Lösung für die zweifache Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt. Gleichzeitig werden Erkenntnisse über die Arbeitspraxis der Beschäftigten in der tech-

nischen Produktionsplanung und -steuerung sowie über die Weiterbildung im Bereich der Gestaltung von Arbeit und Technik erarbeitet. Die sich hieraus ergebende forschungsleitende Frage lautet:

Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein?

Zunächst wird die wissenschaftliche Grundlage zu Aufgaben, Berufen und Berufsbildung sowie vorhandene empirische Untersuchungen zu Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erarbeitet. Anschließend wird die theoretische Grundlage der digitalen Transformation in der Industrie in Bezug auf die Analyseperspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten skizziert. Nach der Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlage wird durch eine empirische Untersuchung ein Beitrag zur Schließung des Forschungsdesiderats zur Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung geleistet. Die empirischen Daten werden aus den Erfahrungen der Akteure erhoben. Die forschungsleitenden Fragen sind:

1. Wie setzen sich die Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Hinblick auf die Gestaltung des Produktionssystems zusammen?
2. Welches Wissen und Können benötigen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0?
3. Wie beziehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion in ihre Überlegungen zur Gestaltung einer Industrie 4.0 mit ein?

Die gesamte Arbeit ist in das Paradigma des DBR eingebettet. Die empirischen Daten werden in Form von problemzentrierten Interviews mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung erhoben. Im Mittelpunkt der Interviews steht die Frage, wie Beschäftigte als Betroffene und Gestaltende mit dem Wandel zur Industrie 4.0 umgehen. Konkrete Projekte werden analysiert und die Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz mit den Beschäftigten diskutiert. Die inhaltlichen Schwerpunkte des Datenmaterials werden mittels qualitativer Inhaltsanalyse erschlossen. Anschließend wird ein erster Entwurf eines bereichsspezifischen Weiterbildungskonzeptes für die technische Produktionsplanung und -steuerung in Form eines Leitfadens erstellt. Ziel des Konzeptes ist die Unterstützung der Beschäftigten bei der zweifachen Herausforderung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0. Die primären Adressaten des Weiterbildungskonzeptes sind Beschäftigte dieser Berufsuntergruppe, die noch keine oder wenig Erfahrung mit Industrie-4.0-Projekten haben. Das Weiterbildungskonzept gibt auch Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung. Der Leitfaden wird den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Verfügung gestellt und deren Sicht auf Verbesserungsmöglichkeiten berücksichtigt. Im Prozess des DBR werden Gestaltungsprinzipien für die Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie entwickelt. Der erarbeitete Leit-

faden und die Gestaltungsprinzipien können Akteuren der betrieblichen Bildung für die Erarbeitung und Detailplanung von Weiterbildungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt werden. Weiterer Forschungsbedarf wird identifiziert und beschrieben.

1.4 Aufbau der Forschungsarbeit

Im ersten Kapitel wird die gesellschaftliche Problemstellung dargestellt und die wissenschaftliche Relevanz begründet. Die zentrale Forschungsfrage wird formuliert und durch untergeordnete forschungsrelevante Fragen konkretisiert. Die Ziele aus Sicht von Wissenschaft und Praxis sowie die Vorgehensweisen zur Klärung der Forschungsfragen werden formuliert.

Im zweiten Kapitel werden die Grundlagen zur Arbeit in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung und die Anforderungen an die Beschäftigten analysiert und dargestellt. Die Beschäftigten werden dabei als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 betrachtet. Die Arbeitsaufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems werden aus verschiedenen Fachbereichen skizziert und für diese Arbeit eingegrenzt. Es erfolgt eine Auseinandersetzung mit empirischen Untersuchungen im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Neben den im Zentrum stehenden Beschäftigten werden die Grundlagen zu möglichen Veränderungen im Hinblick auf die digitale Transformation der Industrie erarbeitet. Es werden empirische Untersuchungen vorgestellt, die erste Hinweise auf Veränderungen der beruflichen Anforderungen für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung geben können. Den Abschluss des Kapitels bildet die Untersuchung verschiedener Konzepte der beruflichen Weiterbildung im Kontext der digitalen Transformation.

Im dritten Kapitel wird das methodische Vorgehen der Arbeit beschrieben. Zunächst wird das Paradigma des Design-Based Research als Rahmen erläutert und begründet, warum der Ansatz für das Erkenntnisinteresse und den Forschungsgegenstand der Untersuchung geeignet ist. Die Vorgehensweise der Datenerhebung durch problemzentrierte Interviews wird begründet und die Umsetzung beschrieben. Anschließend wird dargelegt, warum die inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse ein geeignetes Auswertungsverfahren für diese Arbeit darstellt. Außerdem wird die Durchführung der Auswertung der Interviews in diesem Kapitel beschrieben.

Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung vorgestellt. Im Mittelpunkt des Ergebnisberichts stehen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0. Es wird über die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten bei der Umsetzung von Industrie-4.0-Projekten berichtet. Dabei werden die Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten sowie die Schnittstellen betrachtet. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und Schlussfolgerungen zu gestaltungsrelevanten Aspekten aus Sicht der Berufsbildungsforschung formuliert.

Das Weiterbildungskonzept wird im fünften Kapitel vorgestellt und erläutert. Aus der empirischen Untersuchung und unter Bezugnahme auf die wissenschaftliche Literatur werden erste Gestaltungsprinzipien für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes abgeleitet. Es werden fünf verschiedene Weiterbildungsmodule zur Förderung des Wissens und Könnens von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 beschrieben. Im Weiterbildungskonzept werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung berücksichtigt und gleichzeitig Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung gegeben. Dieser erste Prototyp des Weiterbildungskonzeptes und der Gestaltungsprinzipien wird mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung kommunikativ evaluiert.

Zum Abschluss der Arbeit werden im sechsten Kapitel die Ergebnisse zusammengefasst. Die Relevanz der Untersuchung für Wissenschaft und Praxis wird erläutert. Die Untersuchung wird kritisch reflektiert und es wird dargestellt, inwieweit die Ergebnisse der empirischen Untersuchung, das Weiterbildungskonzept und die Gestaltungsprinzipien verallgemeinert werden können. Nächste Schritte zur Umsetzung des Weiterbildungskonzeptes werden dargestellt und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

Abbildung 2: Produktionssystem mit Wertschöpfungsprozess (Quelle: Eigene Darstellung nach Günther & Tempelmeier, 2020, S. 2)

Die Abbildung zeigt das Produktionssystem eingebettet in die Umwelt. Als Produktionssystem wird auch eine Managementmethode zur Gestaltung und dem Betrieb einer Produktion bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist das Toyota-Produktionssystem (Ohno, 2013). In dieser Arbeit wird der Begriff Produktionssystem in Anlehnung an Günther & Tempelmeier (2020) als ein System verstanden, mit dem etwas produziert wird. Das Produkt durchläuft das Produktionssystem entlang seines individuellen Wertschöpfungsprozesses. Als Wertschöpfungsprozess wird die Umwandlung von Eingangsgütern in höherwertige Ausgangsgüter bezeichnet. (S. 2)

Der Begriff Wertschöpfung wird auch in der Wirtschaftspädagogik verwendet (u. a. Schlottmann et al., 2021; Wilbers, 2023). Wilbers (2023) erläutert den Begriff und weist darauf hin, dass er auf unterschiedliche Weise eingesetzt wird:

Im einfachsten Fall bedeutet Wertschöpfung – realwirtschaftlich – die Produktion von Realgütern. Dies meint die Bereitstellung von Realgütern zur Befriedigung von Bedürfnissen: Die [sic!] Produktion von materiellen (körperlichen) Realgütern, etwa eines E-Bikes, oder die Produktion eines immateriellen (Realgutes), zum Beispiel einer Dienstleistung, etwa einer Beratung über oder die Reparatur von E-Bikes. (S. 89)

Gewerblich-technische Arbeitsprozesse sind vorrangig auf die Produktion materieller Realgüter ausgerichtet (Wilbers, 2023, S. 92). Das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird auf die Produktion von materiellen Realgütern eingegrenzt. Um das Produktionssystem im Unternehmen als Gesamtsystem zu betrachten, ist es wichtig, Wertschöpfung aus einer anderen Perspektive umfassender zu betrachten und auch die innerbetriebliche Logistik einzubeziehen. Denn die Gestaltung von Logistiksystemen, wie die Integration eines Förderbandes, kann Auswirkungen auf die Arbeitsabläufe in der Produktion haben. Diese Transporte zwischen einzelnen Produktionssystemen innerhalb der Fabrik müssen daher berücksichtigt werden. Das Produktionssystem enthält einzelne Elemente, die wiederum ein eigenes Produktionssystem darstellen können. Pawellek (2008) beschreibt verschiedene Ebenen von Produktionssystemen und nennt das Produktionsnetzwerk, den Produktionsstandort und den Montagearbeitsplatz (S. 20). Wird ein Werksstandort als Produktionssystem betrachtet, so enthält dieser Werksstandort Subsysteme, die wiederum als eigenständige Produktionssysteme betrachtet werden können (Dyckhoff, 2000, S. 4).

Der Begriff Produktionssystem wird auf die Infrastruktur des Produktionssystems nach Günther & Tempelmeier (2020) eingegrenzt. Sie beschreiben die Infrastruktur eines Produktionssystems wie folgt:

Hierunter fassen wir die physischen Gegebenheiten (die „Hardware“) des Produktionssystems sowie die Grundregeln ihres organisatorischen Zusammenwirkens (die Software) zusammen. Getragen wird die Infrastruktur von den Menschen, die sowohl als Arbeitskräfte als auch dispositiv in der Produktion tätig sind. (Günther & Tempelmeier, 2020, S. 5)

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Grundregeln des organisatorischen Zusammenwirkens m. E. auch durch die physischen Gegebenheiten in der Produktion bestimmt werden können. So hat z. B. eine nach dem Konzept der Fließfertigung instal-

lierte Fördertechnik einen entscheidenden Einfluss auf das organisatorische Zusammenwirken. Ferner leisten auch die dispositiv in der Produktion tätigen Personen wertvolle Arbeit bei der Gestaltung von Produktionssystemen und der Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen. Die Aufgaben werden weiter auf den Produktionsstandort eingegrenzt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Begriff Produktionssystem synonym für die Infrastruktur eines Produktionssystems innerhalb eines Produktionsstandortes verwendet.

In dieser Arbeit werden Produktionssysteme nach dem Konzept der soziotechnischen Systeme betrachtet. Auch Produktionssysteme, die nach der Vision von Industrie 4.0 gestaltet sind, werden als soziotechnische Systeme verstanden. Die Kernelemente dieses soziotechnischen Produktionssystems sind aus sozialwissenschaftlicher Sicht Mensch, Technik und Organisation. (Hirsch-Kreinsen, 2014, S. 9 f.) Auch im Bereich der Berufsbildungsforschung wird mit dem Konzept des soziotechnischen Systems gearbeitet (Nierling et al., 2020, S. 179). Die Kernelemente der Betrachtung sind die Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden, die Technik/Technikgestaltung und die Arbeit/Arbeitsgestaltung. Häufig wird eine der drei Perspektiven als die bestimmende Perspektive betrachtet. Es zeigt sich jedoch, dass die einzelnen Perspektiven nicht vollständig voneinander trennbar sind, sondern als eng miteinander verbunden betrachtet werden sollten. (Nierling et al., 2020, S. 173)

Die Gestaltung von Produktionssystemen und die Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg produzierender Unternehmen (Corsten et al., 2018, S. 1). In der Literatur werden unterschiedliche Begriffe für die betrieblichen Funktionen verwendet, die diese Aufgaben erfüllen sollen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Betriebliche Funktionen mit Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen und der Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen (Quelle: Eigene Darstellung)

Begriff	Bedeutung
Produktionsmanagement bzw. Produktions- und Logistikmanagement (u. a. Dyckhoff, 2000; Zäpfel, 2001; Buscher, 2018)	Das Produktions- und Logistikmanagement beschäftigt sich damit, ein System zu gestalten, zu betreiben und zu verbessern, das der Herstellung und der Auslieferung von Produkten und Dienstleistungen dient. Die untrennbar miteinander verbundenen Produktions- und Logistikprozesse sind so aufeinander abzustimmen, dass die Kundenanforderungen bestmöglich erfüllt werden können. (Buscher, 2018, S. 13)
Operations Management (u. a. Grabner, 2014)	<i>Operations Management</i> ist die Planung und der Betrieb des Auftragserfüllungsprozesses (Operations-Prozesses) für die Erstellung von Sach- und Dienstleistungen. Der Auftragserfüllungsprozess erstreckt sich von der Produktentwicklung über die Herstellung bis hin zur Übergabe des Produktes an den Kunden. (Grabner, 2014, S. 2)
Supply-Chain-Management (u. a. Günther & Tempelmeier, 2020)	Hierbei geht es um eine im Idealfall unternehmensübergreifende, mindestens aber funktions- bzw. standortübergreifende Sichtweise auf die logistischen Prozesse der Beschaffung, der Produktion und des Absatzes, welche darauf abzielt, diese möglichst effizient zu gestalten (Günther & Tempelmeier, 2020, S. 313).

(Fortsetzung Tabelle 1)

Begriff	Bedeutung
Arbeitsvorbereitung (u. a. Pristl & Franke, 1975; Eversheim, 2002)	In das Gebiet der Arbeitsvorbereitung fällt dabei alles, was vor Beginn der eigentlichen Fertigung geplant und, um einen reibungslosen Ablauf zu sichern, während der Arbeit gesteuert und überwacht werden muß (sic!), um die Rentabilität des Unternehmens und damit die Arbeitsplätze der Belegschaft zu sichern (Pristl, 1956, S. 3).
Fertigungsplanung (u. a. Dangelmaier, 2001)	Die Planung der Fertigung umfaßt (sic!) alle einmalig zu treffenden Maßnahmen bezüglich der Gestaltung eines Fertigungssystems und der darin stattfindenden Fertigungsprozesse (Dangelmaier, 2001, S. 5).
Produktionsplanung und -steuerung (u. a. Schuh et al., 2012)	Mehr und mehr wurde so die überbetriebliche, sprich netzwerkweite Ressourcenplanung, zum zentralen Gegenstand der PPS. Damit trägt die PPS über die Koordination der eigentlichen Leistungserstellung hinaus auch in erheblichem Maße zur Integration der Produktions- und Lieferkette bei. (Schuh et al., 2012, S. 6)
Manufacturing Engineering (u. a. Tanner, 1991)	Manufacturing Engineering ist das spezialisierte Wissen und Können in den Bereichen der Ingenieurwissenschaften und der Analyse, das auf die Entwicklung, den Betrieb und die Kontrolle von Fertigungsprozessen und -systemen angewendet wird (Tanner, 1991, S. 3; übersetzt M. E.).
Industrial Engineering (u. a. REFA Bundesverband e.V., 2015)	Das Industrial Engineering zielt auf eine hohe Produktivität aller Prozesse im Unternehmen ab. Es ist verantwortlich für die ganzheitliche, methodische Planung, Steuerung und Kontrolle der unternehmerischen Produktivitätsoptimierung unter Berücksichtigung von Mensch, Material und Maschine (Produktivitätsmanagement). (REFA Bundesverband e.V., 2015, S. 21)

Nicht nur die Bezeichnungen der betrieblichen Funktionen unterscheiden sich, auch die einzelnen Aufgabenbereiche werden mit unterschiedlichen Schwerpunkten definiert. Im Folgenden werden die Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements bzw. des Produktions- und Logistikmanagements und der Arbeitsvorbereitung aus der wissenschaftlichen Literatur erarbeitet.

Der Begriff Produktionsmanagement bzw. Produktions- und Logistikmanagement wird vor allem von Autoren aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre verwendet. Nach Dyckhoff (2000) lässt sich das Produktionssystem mit dem Wertschöpfungsprozess als Regelkreis beschreiben. Die von ihm als Produktionsmanagement bezeichnete Instanz hat die Aufgabe, diesen Regelkreis mit seinen Elementen zu gestalten und zu steuern. (S. 6) Eine ähnliche Auffassung vertritt Zäpfel (2001). Er weist dem Produktionsmanagement die Aufgabe zu, das Produktionssystem zu gestalten und die Transformationsprozesse in diesem Produktionssystem zu steuern. (S. 34) Auch Kiener et al. (2018) vertreten eine vergleichbare Position: „Als dispositiver Faktor obliegen dem Produktionsmanagement im Leistungserstellungsbereich eines Unternehmens die Willensbildung, Willensdurchsetzung und -sicherung“ (Kiener et al., 2018, S. 6). Eine mögliche Untergliederung der Aufgaben des Produktionsmanagements ist die in strategische, taktische und operative Aufgaben (u. a. Zäpfel, 2000, S. 4; Schneider et al., 2005, S. 13; Dangelmaier, 2009, S. 9; Kellner et al., 2018, S. 21). Schuh & Schmidt (2014) unterscheiden zwischen normativem, strategischem und operativem Produktionsmanagement (S. 4f.). Andere Autoren unterteilen das Produktions-

management in vier verschiedene Aufgabenbereiche: strategische Produktionsplanung, taktische Produktionsplanung, operative Produktionsplanung und Produktionssteuerung (Schneider et al., 2005, S. 14; Kiener et al., 2018, S. 7).

Das strategische Produktionsmanagement hat die Aufgabe, Ziele und Strategie für das Produktionssystem und den Wertschöpfungsprozess festzulegen (Zäpfel, 2000, S. 2). Auf dieser Ebene sollen die Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit sich das Unternehmen langfristig optimal entwickeln kann (Günther & Tempelmeier, 2020, S. 22). Optimale Entwicklung bedeutet in diesem Zusammenhang auch die Gestaltung und Sicherung einer wettbewerbsfähigen Produktion (Kiener et al., 2018, S. 7; Dangelmaier, 2009, S. 9). Nach Zäpfel (2001) besteht die Aufgabe des strategischen Produktionsmanagements darin, Entscheidungen mit langfristigen Auswirkungen zu treffen. Als Beispiele nennt er den Einsatz neuer Technologien, die Planung von Produktionskapazitäten oder die Einführung neuer Produktgruppen. (S. 46) Schneider et al. (2005) vertreten eine ähnliche Position und nennen als relevante Aufgaben die Standortwahl und die Gestaltung der Kernkompetenzen des Unternehmens (S. 13 f.). Im Rahmen des taktischen Produktionsmanagements werden die strategischen Rahmenvorgaben konkretisiert und umgesetzt (Zäpfel, 2000, S. 2). Schneider et al. (2005) sehen die wesentlichen Aufgaben des taktischen Produktionsmanagements in der Gestaltung des Produktionssystems und der Einführung von Produkten (S. 14). Die Betrachtungsweise von Zäpfel (2001) ist dem sehr ähnlich, er sieht das Produktionsprogramm und das Produktionssystem als wesentliche Aktionsparameter. Das Produktionsprogramm kann durch Produktneueinführungen, Produktänderungen oder die Elimination von laufenden Produkten aktiv beeinflusst werden. Das Produktionssystem kann durch Einführung neuer Technologien, Produktions- und Logistikkonzepte oder den Aufbau neuer Produktionsstandorte angepasst werden. (S. 47) Das Ziel des operativen Produktionsmanagements ist die optimale Nutzung des vorhandenen Produktionssystems unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen aus dem strategischen und taktischen Produktionsmanagement (Zäpfel, 2000, S. 2 f.). Das operative Produktionsmanagement wird von einigen Autoren auch als Produktionsplanung und -steuerung bezeichnet (Zäpfel, 2001, S. 56; Dangelmaier, 2009, S. 9; Kurbel, 2016, S. 17). Ähnlich beschreiben auch Kiener et al. (2018) die Aufgaben der operativen Produktionsplanung und die Produktionssteuerung. Die operative Produktionsplanung bestimmt die Produktionsmengen, den zeitlichen Produktionsablauf, führt die Materialbedarfsplanung durch und plant die Ausführung der Produktion. Die Produktionssteuerung ist für die Umsetzung dieser operativen Planung in die Leistungserstellung verantwortlich. (S. 8)

Buscher (2018) beschreibt die einzelnen Aufgaben eines strategischen und eines operativen Produktions- und Logistikmanagements (Abbildung 3).

	Produktion	Logistik
Strategisches Produktions- und Logistikmanagement	Produktionsorganisation Kapazitätsstrategie Strategisches Produktionsprogramm Produktionsmaschinen	Netzwerkplanung Fertigungstiefe Sourcingkonzept Beschaffungsstrategie Informations- und Kommunikationssysteme Lieferantenauswahl Distributionsstrategie Transport- und Lagertechnologie
Operatives Produktions- und Logistikmanagement	Operatives Produktionsprogramm Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung Maschinenbelegungsplanung	Materialbereitstellungsplanung Innerbetrieblicher Transport Bestandsmanagement Verpacken/ Kommissionieren Transport- und Tourenplanung Auftragsabwicklung

Abbildung 3: Aufgaben des Produktions- und Logistikmanagements – Betriebswirtschaftslehre (Quelle: Eigene Darstellung nach Buscher, 2018, S. 21, 26)

An dieser Stelle wird deutlich, dass die Zuordnung der verschiedenen Aufgaben und auch die Bezeichnungen im Umfeld des Produktionsmanagements nicht immer eindeutig sind. In der vorliegenden Arbeit wird die Produktionsplanung und -steuerung nicht auf den Bereich des operativen Produktionsmanagements eingeschränkt. In Anlehnung an Schneider et al. (2005) und Kiener et al. (2018) werden auch strategische und taktische Aufgaben wie die Gestaltung des Produktionssystems oder des Produktionsprogramms als Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verstanden.

Eine andere Einordnung der Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen und der Planung und Steuerung der darin enthaltenen Wertschöpfungsprozesse wird mit dem Begriff Arbeitsvorbereitung beschrieben (u. a. Krippendorff, 1971, S. 45; Pristl & Franke, 1975, S. 6; Eversheim, 2002, S. 1). Die Bezeichnung Arbeitsvorbereitung wird vor allem von Autoren aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften verwendet. Nach dem „Lexikon der Fabrikorganisation und Fördertechnik“ von Krippendorff (1971) ist das Ziel der Arbeitsvorbereitung, den optimalen Arbeitsablauf für die Produktion festzulegen. Er gliedert die Arbeitsvorbereitung in die Aufgabenbereiche der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung, für die er synonym die Begriffe der Fertigungsplanung und der Fertigungssteuerung verwendet. (S. 45) Als Aufgabe der Arbeitsplanung beschreibt Krippendorff die Sicherstellung eines wirtschaftlichen Arbeitsablaufes durch systematische Analyse und daraus resultierende Handlungen. Dazu gliedert er die Arbeitsplanung in folgende Aufgaben: Entwicklungsplanung, Programmplanung, Stücklistenerstellung, Arbeitsplanerstellung, Materialbedarfsplanung, Betriebsmittelplanung, Personalplanung, Materialflussplanung, Fördermittelplanung und Lagerplanung. (S. 35) Auch Eversheim (2002) unterscheidet bei der Arbeitsvorbereitung zwischen der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung (Abbildung 4). Ferner unterteilt er die Arbeitsplanung in kurz-/mittelfristige und langfristige Aufgaben. Die langfristigen Aufgaben fasst er unter dem Begriff Arbeitssystemplanung zusammen. Die Aufgaben mit einem kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont bezeichnet er als Arbeitsablaufplanung.

Arbeits- planung	Arbeits- systemplanung	Fertigungsmittelplanung Lager- und Transportplanung Personalplanung Flächen- und Gebäudeplanung Investitionsrechnung
	Arbeits- ablaufplanung	Planungsvorbereitung Stücklistenverarbeitung Prozessplanung Operationsplanung Montageplanung Prüfplanung Fertigungsmittel- und Prüfmittelplanung NC-/RC-Programmierung Kostenplanung/Kalkulation
Arbeitssteuerung		Produktionsprogrammplanung Produktionsbedarfsplanung Fremdbezugsplanung und -steuerung Eigenfertigungsplanung und -steuerung Datenverwaltung Auftragskoordination Lagerwesen PPS-Controlling

Abbildung 4: Aufgaben in der Arbeitsvorbereitung – Ingenieurwissenschaften (Quelle: Eigene Darstellung nach Eversheim, 2002, S. 7 f.)

Nach Krippendorff (1971) hat die Arbeitssteuerung für einen planmäßigen Fertigungsablauf zu sorgen und bei Abweichungen korrigierend einzugreifen. Als wesentliche Aufgaben nennt er die Kapazitätsplanung, die Belegungsplanung, die Terminplanung, die Materialbedarfsermittlung und -disposition, die Bereitstellung der Arbeitsmittel und Aufträge, die Arbeitsverteilung, die Überwachung des Arbeitsablaufes, des Materialflusses und des Arbeitsfortschrittes sowie das Eingreifen bei Störungen. (S. 40 f.) Die Aufgaben der Arbeitssteuerung umfassen nach Eversheim (2002) die Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung, die Fremdbezugsplanung und -steuerung, die Eigenfertigungsplanung und -steuerung, die Datenverarbeitung, die Auftragskoordination, das Lagerwesen und das PPS-Controlling (S. 15). Nach der Auffassung von Eversheim können die Begriffe Produktionsplanung und -steuerung und Arbeitssteuerung synonym verwendet werden (S. 123).

Die bisher vorgestellten Systematiken der Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen und zur Planung und Steuerung der darin enthaltenen Wertschöpfungsprozesse erfolgten aus betriebswirtschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Perspektive. Im Folgenden wird eine Systematik aus der Berufsbildungsforschung vorgestellt. Im Rahmen eines Projektes zur Anerkennung informell erworbener Kompetenzen in der Metall- und Elektroindustrie wurde von Fischer et al. (2017a) das webbasierte Tool AiKomPass (<https://www.aikompass.de/aikompass.php>) entwickelt. Der AiKomPass erlaubt Beschäftigten oder Arbeitssuchenden, eine Selbsteinschätzung der von ihnen beherrschten Arbeitsaufgaben in der Metall- und Elektroindustrie vorzunehmen und damit informell erworbenes Wissen und Können zu dokumentieren. Dazu können Aufgaben aus den Arbeitsfeldern Produktion, Instandhaltung und Arbeitsvorbereitung ausgewählt werden. Die Arbeitsfelder sind weiter untergliedert in Teilarbeitsfelder, Aufgabengruppen und Aufgaben. Das Arbeitsfeld Arbeitsvorbereitung gliedert sich beispielsweise in die Teilarbeitsfelder Entwickeln, Produktionsaufträge planen, Ausführung von Produktionsaufträgen vorbereiten, Auftragsdurchlauf und Qualität überwachen sowie Qualität und Produktivität verbessern (Abbildung 5). Das im AiKomPass verwendete Aufgabeninventar stammt aus einer Aufgabenliste für industrielle Produktionstätigkeiten. Diese wurde für die Anforderungen des AiKomPass weiterentwickelt und empirisch validiert. (S. 111 f.)

Entwickeln Prototypen oder Modelle entwickeln Technische Unterlagen für Fertigung/Produktion erstellen Vorlagen für Arbeitsdokumente erstellen Arbeitsplätze, Arbeitssysteme und Arbeitsabläufe gestalten	Ausführung der Produktions- aufträge vorbereiten Für die Bereitstellung von Materialien und Hilfsmitteln sorgen Produktionsunterlagen (Arbeitspläne/ Fertigungsaufträge) erstellen
Produktions- aufträge einplanen Aufträge akquirieren Arbeitsabläufe für die Herstellung von Produkten/ Elektroinstallationen im Rahmen der Kundenvorgaben definieren und kalkulieren Aufgaben mit anderen Abteilungen koordinieren Verfügbarkeit feststellen Aufträge verteilen und terminieren	Auftrags- durchlauf und Qualität überwachen Daten auswerten/ Controlling Einhaltung von Prozessen überwachen
	Qualität und Produktivität verbessern Anweisungen überarbeiten Qualität verbessern Produktivität verbessern Qualifizierung des Personals verbessern Persönliche Sicherheit und die Sicherheit der Kollegen erhöhen

Abbildung 5: Aufgabengruppen der Arbeitsvorbereitung – Berufsbildungsforschung (Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus dem AiKomPass)

Wie auch schon Kurbel (2016) feststellt, gibt es keine einheitliche Definition der Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen und zur Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen (S.16). Ein Vergleich der vorgestellten Systematiken der Aufgaben mit den Bezeichnungen Produktionsmanagement, Arbeitsvorbereitung und dem Aufgabeninventar der Arbeitsvorbereitung des AiKomPass bestätigt dies. Über viele Aufgaben scheint ein inhaltlicher Konsens zu bestehen, auch wenn unterschiedliche Begriffe verwendet werden. Beispielsweise enthalten alle drei dargestellten Systematiken Aufgaben zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in technischer Hinsicht (Fertigungsmittel, Fertigungseinrichtungen, Prüfmittel) und in organisatorischer Hinsicht (Arbeitsablauf). Andere Aufgaben, wie die Verbesserung der Qualifikation des Personals, finden sich dagegen nur in einzelnen Konzepten. Ein weiterer Unterschied besteht in der Zuordnung der einzelnen Aufgaben zu Aufgabengruppen.

In dieser Arbeit wird ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 entwickelt. Im Mittelpunkt stehen die Beschäftigten, die für die Gestaltung des Produktionssystems mitverantwortlich sind. Zielgruppe des Weiterbildungskonzeptes sind Beschäftigte, die Aufgaben zur Gestaltung dieses Systems mithilfe von Industrie-4.0-Anwendungen wahrnehmen.

Filtert man die Aufgaben des Produktions- und Logistikmanagements (Buscher, 2018, S. 20 f.), der Arbeitsvorbereitung (Eversheim, 2002, S. 7 f.) und dem Aufgabeninventar (Arbeitsvorbereitung) des AiKomPass nach Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems, lässt sich folgendes Aufgabenspektrum ableiten:

- Produktionsmaschinen/-anlagen, Fertigungsmittel und Prüfmittel konzipieren und entwickeln
- Produktionsmaschinen/-anlagen, Fertigungsmittel und Prüfmittel in die Produktion integrieren
- EDV-Systeme verbessern, Produktionssysteme vernetzen
- Produktionsplanungs- und Steuerungssystemsoftware einsetzen, Anforderungsprofile erstellen

- Arbeitsabläufe unter Einsatz ergonomischer Erkenntnisse menschengerecht gestalten
- Verbesserungsvorschläge zu Arbeitsabläufen und zur Arbeitsplatzgestaltung erarbeiten
- Produktionsprozesse vorbereiten, Arbeitsschritte planen, Arbeitspläne erstellen
- Qualifizierungsprozesse organisieren und fördern
- Neue Formen der Arbeitsorganisation planen und einführen

Die Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen werden in der vorliegenden Arbeit durch das oben dargestellte Aufgabenspektrum beschrieben. Gegenstand der Untersuchung sind Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit Aufgaben im Bereich der Gestaltung von Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden sowie deren Schnittstellen.

2.1.2 Berufe und Berufsbildung

Nach dieser Einführung in die industrielle Produktion und der Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes auf betriebliche Funktionen mit Aufgaben der Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 erfolgt in diesem Kapitel eine Annäherung aus der Perspektive der Berufe und der Berufsbildung. Es wird untersucht, welche Berufe durch diese Aufgaben charakterisiert werden können und wie der Zugang zu diesen Berufen erfolgt.

Eine Suche im BERUFENET (<https://berufenet.arbeitsagentur.de>) der Bundesagentur für Arbeit nach dem Tätigkeitsfeld „Produktionsplanung und -steuerung“ im April 2024 ergibt 568 Treffer verschiedener Berufsbezeichnungen. Wird statt des Tätigkeitsfelds nach dem Berufsfeld und den „Berufen in der Arbeitsvorbereitung“ gesucht, können 343 verschiedene Berufsbezeichnungen gefunden werden. Es zeigt sich, dass im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung vielfältige Berufsbezeichnungen vorhanden sind. Dostal (2005) beschreibt diese Problematik übergreifend. Er identifiziert circa 30.000 eigenständige Berufspositionen in Deutschland. Die Zahl der unterschiedlichen Berufsbezeichnungen liegt dagegen weitaus höher, bei ca. 100.000. Auf die Frage nach der Berufsbezeichnung können die Menschen nach seiner Einschätzung mindestens eine, manchmal sogar mehrere Alternativen nennen. (S. 15 f.)

Zur Einordnung der für diese Arbeit relevanten Berufe wird die von der Bundesagentur für Arbeit (2021a, 2021b) veröffentlichte „Klassifikation der Berufe 2010“ verwendet. Die Bundesagentur für Arbeit gliedert die Berufe hierarchisch in fünf Gliederungsebenen. Die oberste Ebene bilden 10 verschiedene Berufsbereiche. Darunter folgen 37 Berufshauptgruppen. Die Berufshauptgruppen sind in 144 Berufsgruppen untergliedert. Auf der nächsten Gliederungsebene werden 700 Berufsuntergruppen unterschieden. Auf der Ebene der Berufsuntergruppen findet sich auch die Berufsuntergruppe „2730 – Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung“ (Abbildung 6).

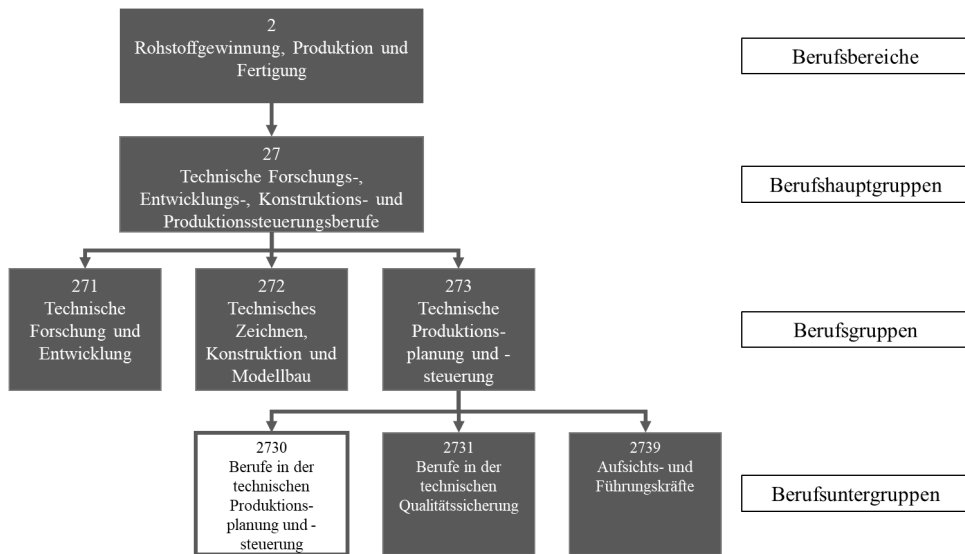


Abbildung 6: Klassifikation der Berufe 2010 (Quelle: Eigene Darstellung, mit Daten aus Bundesagentur für Arbeit, 2021b)

Die „Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung“ sind mit den „Berufen in der technischen Qualitätssicherung“ und den „Aufsichts- und Führungskräften“ in der Berufsgruppe „273 Technische Produktionsplanung und -steuerung“ eingeordnet. Diese Berufsgruppe befindet sich im Berufsbereich 2 in der Berufshauptgruppe „27 Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“.

In Deutschland arbeiten im Jahr 2020 rund drei Prozent aller Erwerbstätigen in der Berufshauptgruppe „27 Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“ (Destatis, 2022, S. 29). Nach einer Untersuchung des Bundesinstituts für Berufsbildung (2022) besteht in der Berufsgruppe „273 Technische Produktionsplanung und -steuerung“ im Jahr 2020 in Deutschland ein Beschäftigungsbedarf von 619.844 Personen. Dies ist eine der größten Berufsgruppen in Deutschland. Die größte Berufsgruppe „Büro und Sekretariat“ umfasst im Jahr 2020 einen Bedarf von 2.717.000 Arbeitskräften und die kleinste Berufsgruppe „Sprach- und Literaturwissenschaften“ einen Bedarf von 3.000 Arbeitskräften.

Neben den Berufshauptgruppen der „24 Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallbauberufe“, der „25 Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe“, der „26 Mechatronik-, Energie- und Elektroberufe“ ist die Berufshauptgruppe „27 Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“ eine der zentral bedeutenden für die Metall- und Elektroindustrie (Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V., 2018, S. 6).

Die Bundesagentur für Arbeit (2021b) beschreibt den Tätigkeitsbereich dieser Beschäftigten der Berufsuntergruppe „2730 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung“ wie folgt:

Angehörige dieser Berufe planen und organisieren Arbeitsprozesse, richten Produktionsanlagen ein und kontrollieren die Durchführung. Sie sind zudem für die Optimierung und Effizienzsteigerung von Softwaresystemen und industriellen Fertigungsprozessen zuständig. (S. 362)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in der Klassifikation der Berufe 2010 weitere Berufe enthalten sind, deren Aufgabe die Gestaltung des Produktionssystems ist. Beispielsweise umfasst die Berufsuntergruppe „7131 Berufe in der Unternehmensorganisation und -planung“ Aufgaben wie „Vorschläge für die Gestaltung von Arbeitsplätzen ausarbeiten“ oder „Neue Formen der Arbeitsorganisation planen und einführen“. Allerdings werden auch Berufe wie Employer-Branding-Manager/in oder Diversity-Manager/in zu dieser Berufsuntergruppe gezählt. (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 956 f.) In der Berufsuntergruppe „91384 Berufe in Gesellschaftswissenschaften (sonstige spezifische Tätigkeitsangabe) – hoch komplexe Tätigkeiten“ und der Berufsgruppe „5312 Berufe in Arbeitssicherheit und Sicherheitstechnik“ sind auch Berufe enthalten, deren Aufgaben in der Beratung und Unterstützung bei der Gestaltung von Produktionssystemen liegen (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, 801–804, 1329).

International werden Berufe üblicherweise nicht nach der Klassifikation der Berufe 2010 (Bundesagentur für Arbeit, 2021a; 2021b), sondern nach anderen Systematiken eingeordnet. Eine internationale Klassifikation der Berufe veröffentlicht das International Labour Office (2012) mit der „International Standard Classification of Occupations (ISCO-08)“. Hier können Beschäftigte mit den Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems u. a. in „2141 Industrial and Production Engineers“ (S. 117 f.) oder „3119 Physical and Engineering Science Technicians Not Elsewhere Classified“ (S. 174) eingeordnet werden.

Für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt stellen die Beschäftigten der Berufsuntergruppe „2730 – Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung“ den zentralen Untersuchungsgegenstand dar. Diese Berufsuntergruppe umfasst die für diese Untersuchung eingegrenzten Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems (Tabelle 2).

Tabelle 2: Technische Produktionsplanung und -steuerung (Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 362)

2730 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung
<p>Angehörige dieser Berufe planen und organisieren Arbeitsprozesse, richten Produktionsanlagen ein und kontrollieren die Durchführung. Sie sind zudem für die Optimierung und Effizienzsteigerung von Softwaresystemen und industriellen Fertigungsprozessen zuständig.</p> <p>Aufgaben, Tätigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten, üblicherweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betriebsdaten und Produktionspläne analysieren sowie die Kosten des Einsatzes von Arbeitskräften und Ausrüstung ermitteln • Steuerungsinstrumentarien ausarbeiten und einführen, z. B. Kennzahlensysteme zur Kostenplanung und -kontrolle • Produktionsprozesse kontinuierlich verbessern und wirtschaftlicher gestalten, z. B. im Hinblick auf digital vernetzte Fertigungssysteme oder Anlagen der additiven Fertigung (3D-Druck) • Maschinen und Anlagen einrichten bzw. umrüsten, Prozessparameter ermitteln und einstellen, Testreihen fahren, ggf. auch Produktionsroboter einstellen

(Fortsetzung Tabelle 2)

2730 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung
<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsabläufe darstellen, analysieren, unter Einsatz ergonomischer Erkenntnisse gestalten, Produktionsplanung und -steuerung mittels Softwareanwendungen durchführen • termingerechte Bereitstellung von Materialien, Werkzeugen und Betriebsmitteln sicherstellen • Zeitdaten für unterschiedliche betriebliche Zwecke ermitteln, Zeitmanagement optimieren • Arbeitsabläufe, Arbeits- und Zeitplan überwachen, Schwachstellen identifizieren, Beseitigung von Fehlerquellen veranlassen • neue Formen der Arbeitsorganisation, z. B. Gruppenarbeit, flexible Arbeitszeiten, planen und einführen

Weiter unterscheidet die Bundesagentur für Arbeit auf der untersten Ebene in einer Berufsuntergruppe grundsätzlich in bis zu vier verschiedene Anforderungsniveaus bzw. Berufsgattungen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Anforderungsniveau und Berufsgattungen (Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesagentur für Arbeit, 2021a, S. 26 f.)

Anforderungsniveau 1: Helfer- und Anlerntätigkeiten
<p>Berufe, denen das Anforderungsniveau 1 zugeordnet wird, umfassen typischerweise einfache, wenig komplexe (Routine-) Tätigkeiten. Für die Ausübung dieser Tätigkeiten sind in der Regel keine oder nur geringe spezifische Fachkenntnisse erforderlich. Aufgrund der geringen Komplexität der Tätigkeiten wird i. d. R. kein formaler beruflicher Bildungsabschluss bzw. lediglich eine einjährige (geregelte) Berufsausbildung vorausgesetzt. Denn diese Tätigkeiten weisen eine geringere Komplexität auf als Tätigkeiten, die typischerweise von einer Fachkraft ausgeübt werden. Dem Anforderungsniveau 1 werden daher alle Helfer- und Anlerntätigkeiten sowie einjährige (geregelte) Berufsausbildungen zugeordnet.</p>
Anforderungsniveau 2: Fachlich ausgerichtete Tätigkeiten
<p>Berufe, denen das Anforderungsniveau 2 zugeordnet wird, sind gegenüber den Helfer- und Anlerntätigkeiten deutlich komplexer bzw. stärker fachlich ausgerichtet. Das bedeutet, für die sachgerechte Ausübung dieser Tätigkeiten werden fundierte Fachkenntnisse und Fertigkeiten vorausgesetzt. Das Anforderungsniveau 2 wird üblicherweise mit dem Abschluss einer zwei- bis dreijährigen Berufsausbildung erreicht. Vergleichbar mit diesem Abschluss sind z. B. ein berufsqualifizierender Abschluss an einer Berufsfach- bzw. Kollegscheule. Eine entsprechende Berufserfahrung und/oder informelle berufliche Ausbildung werden als gleichwertig angesehen. Bei Anforderungsniveau 2 werden alle Berufe verortet, die hinsichtlich ihres Komplexitätsgrades der Tätigkeit einer Fachkraft entsprechen. Auch Ausbildungen behinderter Menschen nach § 66 BBiG/§ 42 m HWO werden dem Anforderungsniveau 2 zugeordnet, sofern die Komplexität der ausgeübten Tätigkeit vergleichbar ist mit der einer Fachkraft.</p>
Anforderungsniveau 3: Komplexe Spezialistentätigkeiten
<p>Die Berufe mit Anforderungsniveau 3 sind gegenüber den Berufen, die dem Anforderungsniveau 2 zugeordnet werden, deutlich komplexer und mit Spezialkenntnissen und -fertigkeiten verbunden. Die Anforderungen an das fachliche Wissen sind somit höher. Zudem erfordern die hier verorteten Berufe die Befähigung zur Bewältigung gehobener Fach- und Führungsaufgaben. Charakteristisch für die Berufe des Anforderungsniveaus 3 sind neben den jeweiligen Spezialistentätigkeiten Planungs- und Kontrolltätigkeiten, wie z. B. Arbeitsvorbereitung, Betriebsmitteleinsatzplanung sowie Qualitätsprüfung und -sicherung. Häufig werden die hierfür notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten im Rahmen einer beruflichen Fort- oder Weiterbildung vermittelt. Dem Anforderungsniveau 3 werden daher die Berufe zugeordnet, denen eine Meister- oder Technikerausbildung bzw. ein gleichwertiger Fachschul- oder Hochschulabschluss vorausgegangen ist. Als gleichwertig angesehen werden z. B. der Abschluss einer Fachakademie oder einer Berufsakademie, der Abschluss einer Fachschule der ehemaligen DDR sowie gegebenenfalls der Bachelorabschluss an einer Hochschule. Häufig kann auch eine entsprechende Berufserfahrung und/oder informelle berufliche Ausbildung ausreichend für die Ausübung des Berufes sein.</p>

(Fortsetzung Tabelle 3)

Anforderungsniveau 4: Hoch komplexe Tätigkeiten
Dem Anforderungsniveau 4 werden die Berufe zugeordnet, deren Tätigkeitsbündel einen sehr hohen Komplexitätsgrad aufweisen bzw. ein entsprechend hohes Kenntnis- und Fertigniveau erfordern. Kennzeichnend für die Berufe des Anforderungsniveaus 4 sind hoch komplexe Tätigkeiten. Dazu zählen z. B. Entwicklungs-, Forschungs- und Diagnostiktätigkeiten, Wissensvermittlung sowie Leitungs- und Führungsaufgaben innerhalb eines (großen) Unternehmens. In der Regel setzt die Ausübung dieser Berufe eine mindestens vierjährige Hochschulausbildung und/oder eine entsprechende Berufserfahrung voraus. Der typischerweise erforderliche berufliche Bildungsabschluss ist ein Hochschulabschluss (Masterabschluss, Diplom, Staatsexamen o. Ä.). Bei einigen Berufen bzw. Tätigkeiten kann auch die Anforderung einer Promotion bzw. Habilitation bestehen.

In den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung gibt es nach der Klassifikation der Bundesagentur für Arbeit keine Berufe mit dem Anforderungsniveau 1: Helfer- und Anlernertätigkeiten. In dieser Berufsuntergruppe werden drei Berufsgattungen unterschieden:

- „27302 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten“
- „27303 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung – komplexe Spezialistentätigkeiten“
- „27304 Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung – hoch komplexe Tätigkeiten“ (Bundesagentur für Arbeit, 2021a, S. 69)

Eine Analyse verschiedener exemplarischer Berufe dieser Berufsuntergruppe bekräftigt die übergreifende Beschreibung der Berufsuntergruppe. Das Aufgabengebiet dieser Beschäftigten umfasst die Gestaltung des Produktionssystems (Tabelle 4).

Tabelle 4: Berufe mit Tätigkeiten zur Gestaltung des Produktionssystems (Quelle: Eigene Darstellung, mit Daten der Bundesagentur für Arbeit [berufenet.arbeitsagentur.de])

Beruf	Ausschnitt aus dem Tätigkeitsprofil
Roboterprogrammierer/in 27302–100	Sie kontrollieren die Programme, mit denen die Roboter gesteuert werden, oder passen sie durch Programmierung für den jeweiligen Produktionsschritt an. Beispielsweise programmieren sie CNC-Maschinen entsprechend den zu produzierenden Bauteilen oder stellen robotergestützte Abfüll- oder Verpackungsanlagen ein.
REFA-Prozessorganisator/in 27303–111	Sie wirken bei der Planung neuer Prozesse mit, etwa wenn eine neue Fertigungslinie eingerichtet wird, und analysieren eingeführte Prozesse.
Prozessmanager/in – Produktionstechnologie 27303–132	Prozessmanager/innen für Produktionstechnologie planen, optimieren und steuern Fertigungsprozesse in der industriellen Produktion.
Assistent/in – Produktionsleitung 27303–117	Assistenten und Assistentinnen der Produktionsleitung unterstützen diese bei der Planung, Organisation, Steuerung und Kontrolle von Herstellungsprozessen.

(Fortsetzung Tabelle 4)

Beruf	Ausschnitt aus dem Tätigkeitsprofil
Arbeitsvorbereiter/in 27303–105	Arbeitsvorbereiter/innen planen und organisieren Fertigungs- und Arbeitsprozesse auf Basis von Faktoren wie Art und Menge herzustellender Produkte, Betriebsmittel, Kapazitäten, Zeit und Qualität.
REFA-Ingenieur/in Industrial Engineering 27304–108	REFA-Ingenieure und -Ingenieurinnen für Industrial Engineering stellen die Wirtschaftlichkeit industrieller Arbeitsprozesse durch entsprechende Organisation und Steuerung sicher. Meist gestalten und betreuen sie größere Rationalisierungs- und Umstrukturierungsvorhaben in Betrieben.
Ingenieur/in – Systems Engineering 27304–169	Ingenieure und Ingenieurinnen für Systems Engineering planen, entwickeln und designen komplexe technische Systeme, z. B. eine mit Robotern bestückte Fertigungsstraße. Dabei analysieren sie den gesamten Lebenszyklus eines technischen Produkts, sowohl aus ingenieurwissenschaftlichem als auch ökonomischem Blickwinkel.

Um Aussagen über die Berufsbildung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung treffen zu können, ist es wichtig, zwischen Erwerbsberufen und Ausbildungsberufen zu unterscheiden: „Der Erwerbsberuf ist eine typische Kombination von Verrichtungen und Arbeitstätigkeiten, die faktisch vom Erwerbstätigen unabhängig von der absolvierten Ausbildung ausgeübt werden kann“ (Scharnhorst, 2018, S. 142). Nach Petersen (2018) fehlt es an Transparenz, welche Aus-, Fortbildungs- oder Studienberufe zu welchen Erwerbstätigkeiten passen (S. 105). Fischer (2021) fasst diesen Unterschied in der Berufsbildung zwischen Ausbildungs- und Erwerbsberufen wie folgt zusammen:

Das heißt, der wesentliche Bezugspunkt für die nicht-akademische Berufsbildung ist der Ausbildungsberuf, der wesentliche Bezugspunkt für das akademische Lehren und Lernen ist der Studiengang bzw. die akademische Disziplin, durch den die Absolventen den Zugang zu einer Erwerbstätigkeit finden sollen. (Fischer, 2021, S. 168; übersetzt M. E.)

Die Ausbildungsinhalte von Beschäftigten in Erwerbsberufen können daher im Vergleich zu den Ausbildungsberufen als weniger klar definiert bezeichnet werden (Fischer, 2021, S. 165 f.). Die Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zählen zu den Erwerbsberufen, es gibt keine festgelegte Ausbildung als Zugangsvoraussetzung.

Neben den von der Bundesagentur für Arbeit aufgeführten Erwerbsberufen sind in den Rahmenlehrplänen verschiedener Ausbildungsberufe aus der Wirtschaftspädagogik und Berufspädagogik einzelne Lernfelder mit Ausbildungsinhalten zur Gestaltung des Produktionssystems und der Planung und Steuerung des Wertschöpfungsprozesses enthalten. Hierzu zählt u. a. auch der Ausbildungsberuf des/der Industriekaufmann/Industriekauffrau (Kultusministerkonferenz, 2002) oder der Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin (Kultusministerkonferenz, 2018a). Im Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriekaufmann/Industriekauffrau werden im „Lernfeld 5: Leistungserstellungsprozesse planen, steuern und kontrollieren“ Ausbildungsinhalte zur Gestaltung des Produktionssystems beschrieben:

Für eigengefertigte Teile analysieren sie aufgrund technischer Vorgaben die Struktur eines Erzeugnisses und erstellen Stücklisten und Arbeitspläne. Sie disponieren daraus abgeleitete Fertigungsaufträge, nehmen in Abstimmung mit vorhandenen Kapazitäten und gegebenen Prioritäten eine Einlastung der Fertigungsaufträge vor und beschreiben die Möglichkeiten der Auftragsverfolgung und der Auftragskontrolle. (Kultusministerkonferenz, 2002, S. 13)

Im Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin werden im „Lernfeld 6: Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen“ Ausbildungsinhalte zur Gestaltung des Produktionssystems beschrieben:

Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die betrieblichen Organisationsstrukturen und organisieren die Teamarbeit auch interdisziplinär und nach funktionalen, fertigungstechnischen und ökonomischen Kriterien. Sie kennen die Anforderungen zur Herstellung der Betriebsbereitschaft aller für den Arbeitsablauf notwendigen technischen Mittel und wenden Verfahren zur Qualitätskontrolle an. Die Möglichkeiten von Datenverarbeitungssystemen zur Planung des Ablaufes und zur Dokumentation aller notwendigen Steuerungs- und Organisationsschritte werden genutzt. Sie beachten bei der Arbeitsvorbereitung die Gesichtspunkte des Gesundheits- und Arbeitsschutzes. (Kultusministerkonferenz, 2018a, S. 14)

In der „Liste der anerkannten Ausbildungsberufe“ der Kultusministerkonferenz (2015) ist kein Ausbildungsberuf mit der Bezeichnung „Produktionsplanung und -steuerung“, „Arbeitsvorbereitung“, „Produktionsmanagement“ oder „Produktions- und Logistikmanagement“ aufgeführt. In einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung & Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2021) veröffentlichten Zuordnung von Ausbildungsabschlüssen zu den Referenzberufen wird der Ausbildungsberuf des/der Produktionstechnologen/Produktionstechnologin der Berufsgruppe „273 Technische Produktionsplanung und -steuerung“ zugeordnet (S. 12). Die Tätigkeit des/der Produktionstechnologen/Produktionstechnologin wird im Rahmenlehrplan wie folgt beschrieben:

Sie nehmen Produktionsanlagen in Betrieb, übernehmen neuentwickelte Produktionssysteme, richten diese ein und bereiten den Produktionsanlauf vor. Sie überwachen und optimieren Prozessabläufe, analysieren und dokumentieren technische Störungen und Qualitätsabweichungen. (Kultusministerkonferenz, 2008)

Das Zitat deutet darauf hin, dass diese Beschäftigten an der Gestaltung des Produktionssystems beteiligt sind. Ein Ziel der Ausbildung zum/zur Produktionstechnologen/Produktionstechnologin ist die Entwicklung einer Prozesskompetenz. Die Ausbildungsordnung beinhaltet die Beschreibung von Teilaufgaben innerhalb betrieblicher Geschäftsprozesse, ist aber technologieneutral gestaltet. Durch diese technologieneutrale Gestaltung sollen die Anforderungen unterschiedlicher Unternehmen berücksichtigt und eine breite Anwendbarkeit der Ausbildung ermöglicht werden. (Borch & Zinke, 2008, S. 43 f.) Die Ausbildung zum/zur Produktionstechnologen/Produktionstechnologin wird als erste Stufe eines Aus- und Weiterbildungsprofils in der Produktionstechnologie eingestuft (Abbildung 7).

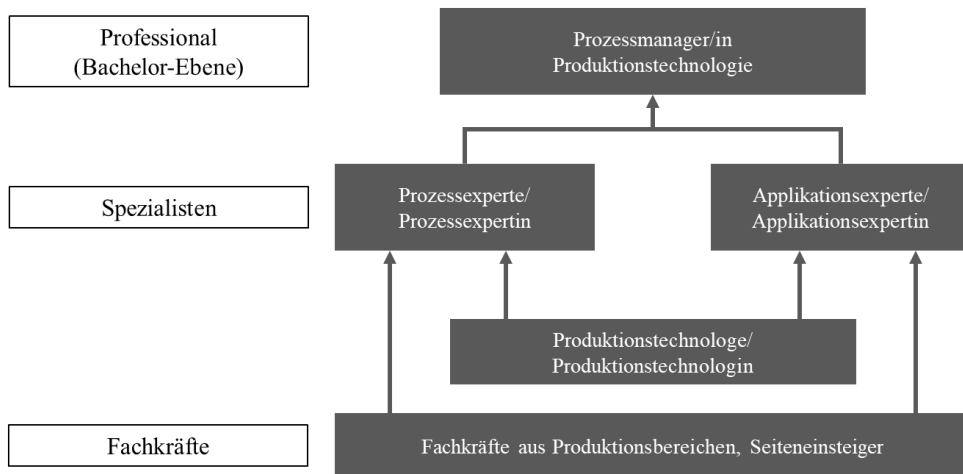


Abbildung 7: Aus- und Weiterbildungsprofile in der Produktionstechnologie (Quelle: Eigene Darstellung nach Assenmacher et al., 2011, S. 7)

Diese seit 2008 gültigen Aus- und Fortbildungsregelungen in der Produktionstechnologie umfassen neben der Ausbildung zum/zur Produktionstechnologen/Produktionstechnologin zwei Fortbildungen auf der Ebene der Fachkräfte und eine Fortbildung auf der Ebene der „Operativen Professionals“¹. Die Absolventen dieser Aus- und Weiterbildungen sollen an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion agieren. (Zinke & Wasiljew, 2011, S. 2 f.) Die Weiterbildungen auf Ebene der Fachkräfte ermöglichen eine Spezialisierung zum/zur Prozessexperten/Prozessexpertin oder zum/zur Applikationsexperten/Applikationsexpertin der Produktionstechnologie. Aufgabe des/der Prozessexperten/Prozessexpertin ist es, Produktionsprozesse zu analysieren und zu optimieren sowie bei der Neugestaltung von Produktionssystemen mitzuwirken. Der/Die Applikationsexperte/Applikationsexpertin arbeitet produktorientiert und klärt technische und organisatorische Fragen mit den Kunden, startet und überwacht Aufträge und arbeitet an der Entwicklung neuer Produkte und Lösungen mit. (Müller, 2012, S. 291) Das in diesen beiden Fortbildungen erlangte Wissen und Können kann von einer Bildungseinrichtung oder direkt vom Unternehmen bescheinigt werden. Mit diesem Nachweis kann eine Weiterbildung zum/zur Prozessmanager/in – Produktionstechnologie absolviert werden. Die Weiterbildung auf der Ebene des „Operativen Professionals“ schließt mit einem IHK-Zertifikat ab. Auch diese Ebene des Aus- und Weiterbildungsprofils qualifiziert für eine Tätigkeit, die auch die Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems umfasst:

Prozessmanager/innen – Produktionstechnologie führen das Prozessmanagement für die Produktion und die damit verbundenen Innovations- und Verbesserungsvorhaben

¹ Ein „Operativer Professional (IT)“ ist auf der Niveaustufe 6 des Deutschen Qualifikationsrahmens angesiedelt. Damit entspricht die Qualifikation einem Meister- oder Bachelorabschluss. (Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013, S. 36.)

durch. Auch das Projektmanagement von komplexen Projekten gehört dabei zu ihren Aufgaben. In diesen Zusammenhängen sind sie in der Produkt- und Prozesskonzeption, in der Prozessentwicklung und -implementierung, im Produktionsanlauf oder in der Produktionsplanung und -steuerung tätig. (Müller, 2012, S. 291f.)

Die Bundesagentur für Arbeit (berufenet.arbeitsagentur.de) ordnet den Beruf „Prozessmanager/in – Produktionstechnologie“ in der Berufsgattung komplexe Spezialistentätigkeiten in der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein (Tabelle 4).

In einer Untersuchung des bayme vbm (2016) zu Veränderungen beruflicher Anforderungen im Kontext von Industrie 4.0 wurde auch der Ausbildungsberuf des/der Produktionstechnologen/Produktionstechnologin untersucht. Der/Die Produktionstechnologen/Produktionstechnologin wird in der Untersuchung als Dienstleistungsfunktion im Produktionsumfeld oder in unterstützender Funktion gesehen. Beim Vergleich der Qualifikationsanforderungen im Kontext von Industrie 4.0 mit dem Berufsbild kommen sie zu dem Schluss, dass der/die Produktionstechnologen/Produktionstechnologin für Aufgaben im Kontext von Industrie 4.0 kaum relevant ist. (S. 166) In der Praxis wird dieser Ausbildungsberuf und das darauf aufbauende Weiterbildungsprofil zudem sehr zurückhaltend angenommen. Pfeiffer et al. (2016) berichten, dass die Ausbildungszahlen bundesweit noch im niedrigen dreistelligen Bereich liegen. In einer Untersuchung gaben fast 90 Prozent der befragten Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus an, diesen Beruf nicht oder nicht mehr auszubilden. (S. 8) Auch Ende 2022 befanden sich nur 279 Auszubildende in der 36-monatigen Ausbildung zum/zur Produktionstechnologen/Produktionstechnologin (Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023). Eine Einschätzung von Fachleuten aus Unternehmen, Wissenschaft, Berufsschulen und von Industrie- und Handelskammern zur Zukunft des/der Produktionstechnologen/Produktionstechnologin im Jahr 2022 fällt nicht besser aus. Im Rahmen der Evaluation der modernisierten M+E-Berufe stimmten elf von vierzehn Fachleuten der Aussage zu, dass der Produktionstechnologe in der Praxis nicht angenommen wird. Eine abschließende Handlungsempfehlung der Studie ist es, das Berufsbild des/der Produktionstechnologen/Produktionstechnologin wieder abzuschaufen und in ein Berufsbild der Industriemechatronik zu integrieren. (Becker et al., 2022) Auch wenn die Aus- und Fortbildungsregelungen in der Produktionstechnologie speziell auch für Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung geschaffen wurden, ist das Berufsprofil aufgrund seiner niedrigen Relevanz für die Praxis auch für diese Untersuchung unbedeutend.

Wenn es keine spezifische Ausbildung für Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gibt, wie setzen sich die Beschäftigten dieser Berufsuntergruppe hinsichtlich ihrer Bildungsabschlüsse zusammen? Grundsätzlich lässt sich zwischen einem betrieblich-beruflichen und einem akademischen Bildungstyp unterscheiden. Der betrieblich-berufliche Bildungstyp hat eine duale Berufsausbildung absolviert und sich ggf. anschließend durch eine Meister- oder Technikerprüfung weiterqualifiziert. Das Wissen und Können wurde durch eng verzahnte Phasen schulischer Ausbildung und betrieblicher Praxis erworben. Der akademische Bil-

dungstyp hat ein Hochschulstudium absolviert und dabei ein theoretisches Wissen erworben, das sich an den akademischen Disziplinen orientiert. Eine vollständige Abgrenzung zwischen den beiden Bildungstypen ist in der Praxis nicht möglich, da es auch verschiedene Mischformen gibt. (u. a. Spöttl et al., 2009)

In einem Teilbereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung, den Berufen des „Industrial Engineering“, berichtet Thies (2023) über die Art der Erstausbildung und die Bildungsverläufe der Beschäftigten. Thies hat in einer Untersuchung im Volkswagen-Konzern festgestellt, dass in diesen Berufen überwiegend beruflich qualifizierte Fachkräfte tätig sind. Diese Beschäftigten haben eine Ausbildung in den Bereichen Feinblech, Elektronik, Industriemechanik oder Zerspanungsmechanik abgeschlossen. Die Beschäftigten waren zuvor häufig in der Montage tätig und haben eine Weiterqualifizierung zum/zur Techniker/in Maschinenbau, Betriebswirt/in oder Industriemeister/in abgeschlossen. Allerdings gibt es einen Trend zur Akademisierung dieser Berufe. Diese akademisch qualifizierten Beschäftigten verfügen über ein abgeschlossenes Studium in den Fachrichtungen Produktion und Logistik, Verfahrenstechnik oder Maschinenbau. (Thies, 2023, S. 6) Eine ähnliche Situation beschreibt Wohlrabe et al. (2019) in einer Untersuchung im Werkzeugbau. Auch hier sind überwiegend beruflich qualifizierte Fachkräfte in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung tätig. Viele der Beschäftigten haben einen innerbetrieblichen Karriereweg gewählt. Sie haben mit einer Tätigkeit als Fachkraft begonnen und sich über eine Weiterbildung – z. B. zum/zur staatlich geprüften Techniker/in Maschinenbautechnik – für die Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung qualifiziert. (S. 95) In den Untersuchungen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen konnte festgestellt werden, dass viele Beschäftigte einen der technischen Produktionsplanung und -steuerung fremden Beruf erlernt haben:

Die meisten Personen, die im Jahr 2020 einen Beruf aus der Berufshauptgruppe „Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“ ausüben, haben einen Beruf aus der Berufshauptgruppe „Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe“ gelernt. (Zika et al., 2020, S. 12)

Die Berufe in der Berufshauptgruppe Maschinen- und Fahrzeugtechnik sind etwa Industriemechaniker/in auf der Ebene der fachlich ausgerichteten Tätigkeiten oder Techniker/in – Maschinentechnik auf Ebene der komplexen Spezialistentätigkeiten (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 262 f.).

Betrachtet man die einzelnen Beschäftigtengruppen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, so zeigt sich ein für Erwerbsberufe charakteristischer Zugang über verschiedene akademische und nicht akademische Ausbildungswege (Abbildung 8).

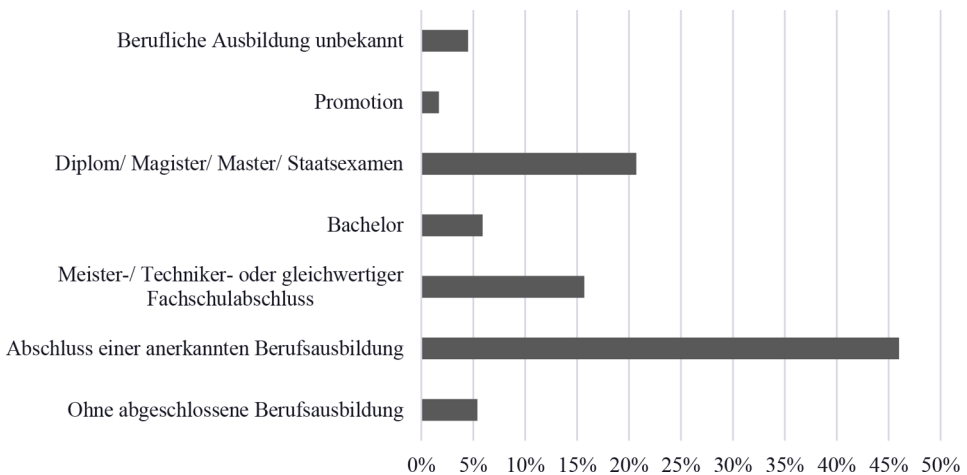


Abbildung 8: Letzter Abschluss der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus der Beschäftigten- und Arbeitslosenstatistik der Bundesagentur für Arbeit aus dem Jahr 2022 [<https://bisds.iab.de/>])

Die Daten werden regelmäßig im Rahmen der Beschäftigten- und Arbeitslosenstatistik der Bundesagentur für Arbeit erhoben und vom Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB) ausgewertet und strukturiert nach den Berufsgruppen der Bundesagentur für Arbeit (2021a, 2021b) veröffentlicht. Nach den letzten veröffentlichten Daten aus dem Jahr 2022 haben mehr als 65 Prozent der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ihren Einstieg über einen betrieblichen Bildungsweg gefunden. Etwa ein Viertel der Beschäftigten verfügt über einen Hochschulabschluss. Insgesamt lässt sich aus diesen Daten jedoch nur eine Tendenz ableiten, eine exakte Differenzierung der Bildungsabschlüsse ist nicht möglich. Die Daten zeigen nur den letzten Abschluss der Beschäftigten. So bleibt u. a. offen, wie viele Beschäftigte eine Form des dualen Studiums, bei der Ausbildung und Studium kombiniert werden, abgeschlossen haben. Ein Meisterabschluss setzt eine abgeschlossene Berufsausbildung voraus. Offen bleibt auch, wie viele Personen nach einem Meister- oder Technikerabschluss ein Studium absolviert haben.

Insgesamt setzen sich die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aus einem sehr breiten Spektrum unterschiedlicher akademischer und beruflicher Bildungsgänge zusammen. Würde ein Weiterbildungskonzept an eine bestimmte Vorbildung anknüpfen, könnte nur eine begrenzte Gruppe von Beschäftigten erreicht werden. Das Weiterbildungskonzept dieses Forschungs- und Entwicklungsprojektes wird daher so gestaltet, dass es an unterschiedliche Vorbildungen und Erfahrungen anschlussfähig ist.

2.1.3 Empirische Untersuchungen im Umfeld der Berufsuntergruppe

Aus der Literatur wurden die Aufgaben und betrieblichen Funktionen zur Gestaltung des Produktionssystems erarbeitet. Weiter wurden die Berufe und die Berufsbildung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Berufsuntergruppe mit diesen Gestaltungsaufgaben untersucht. In diesem Kapitel werden empirische Untersuchungen betrachtet, die in engem Zusammenhang mit den Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems (Kapitel 2.1.1) oder mit den Berufen und Berufsbezeichnungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel 2.1.2) stehen. Dabei wird analysiert, inwieweit die zweifache Problemstellung der Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie berücksichtigt wurde.

Im Umfeld der Berufe der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die einen ersten Einblick in die Arbeitspraxis dieser Beschäftigten ermöglichen. Im Folgenden werden vier Untersuchungen vorgestellt, deren Daten direkt aus der betrieblichen Praxis gewonnen wurden (Tabelle 5). Die einzelnen Studien werden dahin gehend analysiert, inwieweit sie Hinweise über die Arbeitspraxis der Beschäftigten in Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung geben können. Insbesondere werden Informationen über die Aufgaben, das erforderliche Wissen und Können sowie die Erfahrungen der Beschäftigten bei der Gestaltung des Produktionssystems im Kontext der digitalen Transformation der Industrie untersucht.

Tabelle 5: Empirische Untersuchungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Quelle: Eigene Darstellung)

Frenz et al. (2016)	Industrie 4.0 und sich ändernde Berufskonzepte in den Berufsfeldern der Metalltechnik und Mechatronik-Elektrotechnik
Baumhauer (2018)	Transfer von Erfahrungswissen im Arbeitsprozess der Produktionsplanung in der Automobilindustrie
Wohlrabe et al. (2019)	Praxisorientierte Kompetenzentwicklung in der Produktionstechnik durch Kooperation
Thies (2023)	Braucht Digitalisierung Akademisierung? – Zur Rollentransformation industrieller Fachkräfte

Frenz et al. (2016) haben die Arbeit von Beschäftigten in der Produktionsorganisation untersucht. Um einen umfassenden Einblick in diesen Aufgabenbereich zu erhalten, führten sie 27 Arbeitsprozessanalysen in kleinen und mittleren Unternehmen des produzierenden Gewerbes durch (Abbildung 9).

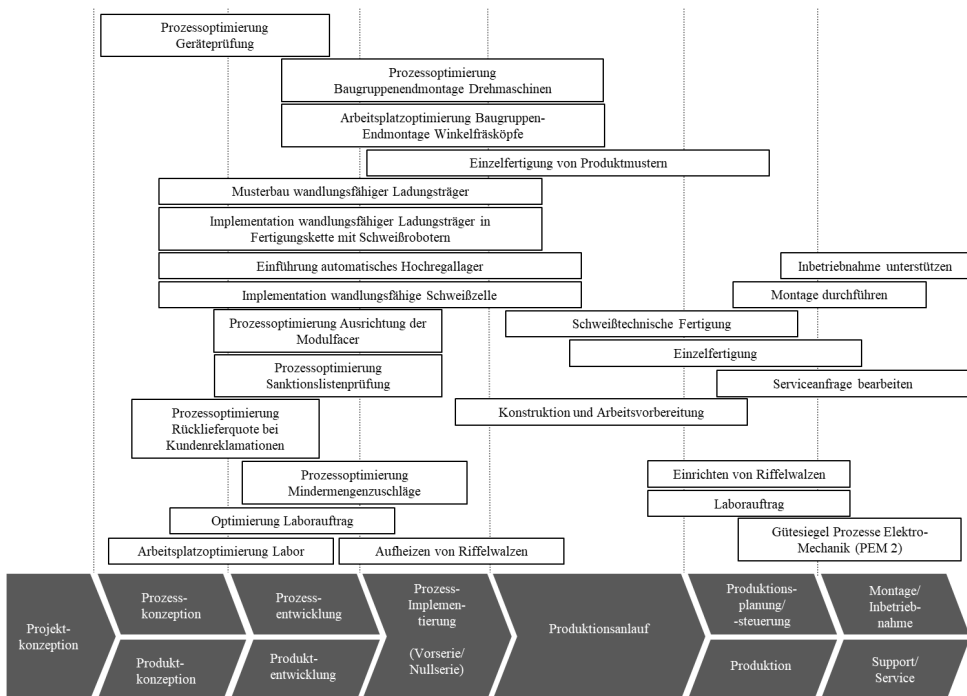


Abbildung 9: Arbeitsprozessanalysen in der Metalltechnik und Mechatronik-Elektrotechnik (Quelle: Frenz et al., 2016, S. 35)

Diese Analyse der Arbeitsprozesse erfolgte entlang der gesamten Prozesskette von der Produkt- und Prozesskonzeption bis zur Inbetriebnahme und dem Support. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden abschließend durch Experteninterviews und Workshops systematisiert.

Die Arbeitsprozesse wurden von Frenz et al. in zwei unterschiedliche Untersuchungsbereiche eingeteilt. Sieben der Arbeitsprozessanalysen befassten sich mit Aufgaben der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung in Unternehmen der Automobilzulieferindustrie. In diesem Untersuchungsfeld beschäftigten sie sich mit den Arbeitsprozessen der Kapazitätsplanung, der Auftragsverfolgung und der Sicherung der Planungsqualität. Zusammenfassend formulieren sie einen Überblick über die Aufgaben und die technologische Unterstützung in diesen Arbeitsbereichen:

Es konnte festgestellt werden, dass für die Bewältigung dieser Aufgaben hochauflösende Produktionssteuerungen auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik genutzt wurden. Durch die gestiegene Leistungsfähigkeit der Hardwarekomponenten werden in dieser Branche neuartige Möglichkeiten hinsichtlich der Aufnahme und Verarbeitung von großen Datenmengen im Produktionsumfeld erschlossen. Diese Steuerungen ermöglichen es der Fachkraft, die notwendigen Daten und Informationen so darzubieten, dass sie bei ihrer Entscheidungsfindung unterstützt wird. Die Produktionsprozesse werden transparenter, wodurch Fachkräfte in die Lage versetzt werden, in Echtzeit auf Einflüsse zu reagieren und gegebenenfalls Produktionsparameter anzupassen. (Frenz et al., 2016, S. 35 f.)

Die anderen 21 Arbeitsprozessanalysen von Frenz et al. beziehen sich auf die Durchführung verschiedener Projekte im Umfeld der Produktionsorganisation. Dabei wurden auch verschiedene Projekte zur Gestaltung des Produktionssystems betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchung fassen sie wie folgt zusammen:

In den erhobenen Arbeitsprozessen wurde insgesamt deutlich, dass diese Fachkräfte in der Produktion sowohl technologische Fragen beantworten als auch arbeitsorganisatorische Problemstellungen bewältigen müssen. Typische technologische Herausforderungen sind das Verstehen und Gestalten von komplexen, automatisierten Produktionssystemen in Prozessketten, z. B. die Integration und Inbetriebnahme einer neuen Produktionszelle in einer Fertigungskette. Organisatorische Herausforderungen beinhalten im Wesentlichen das Verstehen von komplizierten Fertigungsprozessen und Arbeitsabläufen und deren selbständige Planung, Optimierung und Steuerung, bspw. die Konzeption von Fertigungsprozessen. (Frenz et al., 2016, S. 37)

Neben diesen technischen und arbeitsorganisatorischen Aufgaben weisen Frenz et al. (2016) darauf hin, dass im Rahmen des Projektmanagements auch Führungsaufgaben auszuführen sind (S. 36). Schlick et al. (2015) haben auf Basis der Ergebnisse einen Fernlehrgang zum/zur Prozessmanager/in – Produktionstechnologie konzipiert. Die erhobenen Arbeitsprozesse werden von ihnen im Hinblick auf den Rahmenlehrplan als typische Aufgaben des/der Prozessmanager/in – Produktionstechnologie eingestuft.

Die sieben von Frenz et al. durchgeführten Arbeitsprozessanalysen in den Bereichen Kapazitätsplanung, Auftragsverfolgung und Sicherung der Planungsqualität zeigen Tätigkeiten unter Nutzung eines bestehenden Produktionssystems. Einen engeren Bezug zu der für diese Arbeit eingegrenzten Problemstellung haben die 21 Arbeitsprozessanalysen aus Projekten im Umfeld der Produktionsorganisation. Insbesondere die Analyse der Projekte im Bereich Prozesskonzeption und Prozessentwicklung (bspw. Implementation wandlungsfähiger Ladungsträger in Fertigungskette mit Schweißrobotern oder Arbeitsplatzoptimierung Baugruppenendmontage Winkelfräsköpfe) überschneiden sich inhaltlich mit der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Für Aussagen über die Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation erscheint diese Untersuchung zu einem sehr frühen Zeitpunkt durchgeführt. Die Daten zu den Arbeitsprozessen wurden von 2010 bis 2014 in kleinen und mittleren Unternehmen erhoben (Frenz et al., 2016, S. 35). Offen bleibt, wie weit die Umsetzung von Industrie 4.0 in den untersuchten Unternehmen zu diesem Zeitpunkt fortgeschritten war. In einer Untersuchung von Lichtblau et al. (2015) im deutschen Maschinen- und Anlagenbau gaben 76,5 Prozent der Unternehmen an, dass sie noch zu den Anfängern im Bereich Industrie 4.0 zählen und bisher nicht mit einer systematischen Umsetzung begonnen haben. Zudem waren kleine und mittlere Unternehmen zu diesem Zeitpunkt noch weniger weit fortgeschritten als Großunternehmen. (S. 8) Die Untersuchung von Frenz et al. liefert Hinweise über die Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und bietet Anknüpfungspunkte für weitere empirische Arbeiten in diesem Bereich. In Bezug auf die Zielsetzung des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes bleibt aber insbesondere offen, wie

sich die Arbeit und das Wissen und Können in dieser Phase beschleunigter technologischer Entwicklungen verändert haben und welche Erfahrungen und individuellen Sichtweisen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung selbst zur Gestaltung einer Industrie 4.0 haben.

Baumhauer (2018) untersuchte in ihrer Dissertation den Transfer von Erfahrungswissen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung eines Automobilherstellers. Um eine geeignete Möglichkeit für den Transfer von Wissen innerhalb der technischen Produktionsplanung und -steuerung abzuleiten, analysierte sie zunächst die Zusammenarbeit der Beschäftigten. Dazu ermittelte sie in narrativen Interviews die Aufgaben und Arbeitsprozesse der Beschäftigten und verifizierte diese anschließend in zwei Gruppendiskussionen. Bei dem Automobilhersteller dieser Einzelfallstudie sind die Aufgaben innerhalb der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf mehrere Funktionen verteilt:

Die Produktionsplanung befasst sich dann mit der Produzierbarkeit des Produktes im Stadium der „Vorplanung“. Wenn die Produktionskonzepte ausgearbeitet sind, werden diese an den Verantwortungsbereich „Serienplanung“ übergeben, der sich mit der Ausplanung der personellen und technischen Kapazitäten bis zum „Anlauf“ und zum Produktionsstart befasst. Wenn die Anlaufphase überstanden ist, mündet das Projekt in den „Lifecycle“, in dem die Stückzahlen sukzessive erhöht werden. Auch wenn das „Seriengeschäft“ reibungslos und stabil verläuft, müssen aufgrund von Neuprodukten, Produktanpassungen oder Produktionsverlagerungen Prozesse immer wieder neugestaltet und adaptiert werden. (Baumhauer, 2018, S.78)

Als eine dieser Funktionen beschreibt Baumhauer die Serienplanung. Die Aufgaben der Serienplanung reichen von der Maschinenumstellung über die Erstellung neuer Flächenlayouts bis hin zur Auslastungsplanung des Produktionssystems (Tabelle 6).

Tabelle 6: Aufgaben und Arbeitsprozesse der Serienplanung (Quelle: Eigene Darstellung nach Baumhauer, 2018, S. 83)

Serienplanung	
Aufgaben	Arbeitsprozesse
<ul style="list-style-type: none">Planung von Fertigungs- und MontageprozessenErmittlung von Personal-, Flächen- und InfrastrukturbedarfSicherstellung der Produktionsabläufe und kapazitive AuslastungBeschaffung und Bewertung von Betriebsmitteln, Maschinen und AnlagenLieferantenmanagementInbetriebnahme von Maschinen und AnlagenVergabe von internen und externen AufträgenBehebung von Qualitätsfehlern oder ProduktionsproblemenBetreuung und Optimierung von Serienprozessen	<ul style="list-style-type: none">AnlagenplanungsprozesseBeschaffungsprozesseInbetriebnahmeprozesseUmstellungsprozesseBetreuungsprozesseTerminplanungsprozesse

Baumhauer untersuchte auch die Veränderungen durch neue Informations- und Kommunikationstechnologien im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Als Beispiel beschreibt sie einen Workshop, bei dem einige Teilnehmende vor Ort sind und andere über einen Videokonferenzdienst zugeschaltet werden.

Auch aus der Untersuchung von D. Baumhauer ergeben sich erste Hinweise und Anknüpfungspunkte in Bezug auf die Zielsetzung des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes. Es werden die Aufgaben und die Arbeitsprozesse in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dargestellt. Außerdem werden erste Hinweise auf Veränderungen der Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aufgezeigt. Das Aufgabenspektrum der Serienplanung umfasst vergleichbare Aufgaben, wie sie in der vorliegenden Arbeit für die Gestaltung des Produktionssystems im Mittelpunkt stehen. Der Schwerpunkt der Arbeit von Baumhauer liegt auf der Zusammenarbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Eine Analyse der Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten im Hinblick auf die Gestaltung des Produktionssystems im Kontext von Industrie 4.0 wurde nicht durchgeführt.

Wohlrabe et al. (2019) untersuchten die Arbeitsprozesse der Planung und Steuerung von Fertigungsprozessen in sächsischen und tschechischen Unternehmen des Werkzeugbaus. Die Ergebnisse haben sie mit der beruflichen und akademischen Bildung im Maschinenbau in beiden Ländern verglichen. Ziel der Studie war es, den Praxisbezug in der beruflichen und akademischen Ausbildung zu stärken. Auf Basis der Ergebnisse entwickelten sie eine digitale Plattform zur Erweiterung der Lernmöglichkeiten. Die Arbeitsprozessanalysen in der Arbeitsvorbereitung führten in beiden Ländern zu gleichwertigen Ergebnissen. Zu Beginn erhält die Arbeitsvorbereitung von der Konstruktionsabteilung 3D-Daten des zu fertigenden Werkstücks. In einem Programm zur Visualisierung dieser 3D-Daten analysiert die Arbeitsvorbereitung das Werkstück und prüft die technische Machbarkeit. Zur Planung der logistischen Abwicklung werden ERP-Systeme eingesetzt. In diese Anwendungssysteme können z. B. auch bereitgestellte Daten aus der Kalkulationsabteilung eingelesen werden. Ferner sind die Anwendungssysteme mit Bibliotheken oder vorgefertigten Prozessen ausgestattet, die von der Arbeitsvorbereitung übernommen und an die gegebenen Rahmenbedingungen angepasst werden können. Gibt der Kunde das Fertigungsverfahren nicht vor, ist es Aufgabe der Arbeitsvorbereitung, ein geeignetes Verfahren festzulegen. Zur Erstellung der Maschinendaten für komplexe Werkstücke wird in einigen Unternehmen eine Programmierabteilung eingebunden. Anschließend wird der Fertigungsablauf geplant, der Auftrag terminiert und damit der zeitliche und organisatorische Rahmen der Fertigung festgelegt. Liegen alle technischen und logistischen Daten vor, werden die gesammelten Auftragsunterlagen gedruckt und an die Fertigung weitergegeben.

In der Studie von Wohlrabe et al. werden die aktuellen Arbeitsprozesse der untersuchten Unternehmen im Werkzeugbau dargestellt. Analysiert wurden die Arbeitsprozesse in der Arbeitsvorbereitung bei gegebenen Produktionssystemen. Die Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems wurden nicht untersucht.

Thies (2023) berichtet über eine Studie, in der die Wahrnehmung der Veränderungen durch die Digitalisierung von Beschäftigten des „Industrial Engineering“ bei Volkswagen untersucht wurde. Sie beschreibt die Beschäftigten „als industrielle Fachkraft in der Planung, Gestaltung und Steuerung von Arbeitsprozessen der industriellen Produktion.“ (Thies, 2023, S. 2) Die Datenerhebung erfolgte durch eine Sektoranalyse der wissenschaftlichen Literatur und interner Dokumente von Volkswagen sowie durch eine qualitative Erhebung empirischer Daten. Im Rahmen der empirischen Erhebung wurden leitfadengestützte Interviews mit verschiedenen Beschäftigten unterschiedlicher Marken und Standorte des Volkswagenkonzerns durchgeführt. Interviewt wurden elf Beschäftigte aus dem „Industrial Engineering“, elf Beschäftigte mit betrieblicher Entscheidungsbefugnis und sechs Beschäftigte aus der betrieblichen Interessenvertretung. Ein Ergebnis der Sektoranalyse sind die Veränderungen von Wissen und Können im Rahmen der digitalen Transformation. Als zukünftig wichtig für die Beschäftigten im „Industrial Engineering“ werden das Verstehen und Gestalten von Prozessen, IT- und Softwarekenntnisse, Problemlösungskompetenz, die Analyse, Interpretation und Aufbereitung von Daten, analytische Fähigkeiten sowie persönliche und soziale Fähigkeiten (Offenheit für Neues, Flexibilität, Dienstleistungsorientierung, Kommunikationsfähigkeit sowie interdisziplinäre Zusammenarbeit) angesehen. Die Beschäftigten im „Industrial Engineering“ sind bei Volkswagen heute überwiegend beruflich qualifizierte Fachkräfte. Allerdings ist aufgrund der Digitalisierung ein Trend zur Akademisierung der Berufe zu beobachten. (Thies, 2023) Die Sichtweisen verschiedener Beschäftigtengruppen zu diesem Trend sind ein zentrales Ergebnis der empirischen Untersuchung:

Die Forderung nach Akademisierung der Berufsgruppe Industrial Engineering wird von den Initiator:Innen des Veränderungsprozesses [Beschäftigte mit betrieblicher Entscheidungsbefugnis] als Aufwertung der Rolle verstanden. Diese Aufwertung bezieht sich zum einen auf die Qualifizierungsanforderungen – was darauf hindeutet, dass akademische Qualifizierung höherwertiger als berufliche Qualifizierung angesehen wird – und zum anderen auf das Ansehen der Tätigkeit im Unternehmen. Damit einher geht eine Abwendung von BQ [beruflich qualifizierten Personen], deren inhaltlich-fachliches Wissen nicht mehr ausreicht um den neuen, komplexeren Anforderungen gerecht zu werden. So wächst die Nachfrage nach theoretisch-wissenschaftlichen Wissensbeständen. (Thies, 2023, S. 16)

Diese Ansicht vertreten die Beschäftigten mit betrieblicher Entscheidungsbefugnis. Die Beschäftigten, die selbst im Bereich „Industrial Engineering“ tätig sind, haben unterschiedliche Ansichten zu diesem Wandel:

Seitens der BQ [beruflich qualifizierten Personen] besteht in Bezug auf die Digitalisierung und die damit einhergehende Akademisierung Unverständnis. So wird ein Bedeutungsverlust des Erfahrungswissens und eine Abhängigkeit von digitalen Systemen befürchtet, was wiederum zu einer mangelnden Akzeptanz der Rolle führt. Seitens der AQ [akademisch qualifizierten Personen] wird die Rollenerweiterung als positiv für die Entwicklung des Unternehmens gesehen. Zudem wird dadurch eine Stärkung der Rolle erwartet, indem die Wertigkeit der Tätigkeit ansteigt. (Thies, 2023, S. 12)

In der Untersuchung von Thies (2023) wird mit den Berufen des „Industrial Engineering“ eine auch für diese Studie relevante Gruppe von Beschäftigten mit Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems betrachtet. Beispielsweise wird der Beruf REFA-Ingenieur/in „Industrial Engineering“ der Berufsuntergruppe „2730 – Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung“ zugeordnet (Tabelle 4, Kapitel 2.1.2). Die Untersuchung zeigt auch die Sicht der betroffenen Beschäftigten auf die digitale Transformation und bietet Anknüpfungspunkte für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Die Ansichten der Beschäftigten auf die Veränderungen durch die Digitalisierung und damit ihre Perspektive als Betroffene stehen im Mittelpunkt. Aufgaben und notwendiges Wissen werden aus der wissenschaftlichen Literatur abgeleitet. Die Sicht der Beschäftigten auf die Veränderungen als Gestaltende wird nicht betrachtet. Die Untersuchung zeigt zudem nur einen begrenzten Teil der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung.

Bisherige empirische Untersuchungen zeigen Ausschnitte der Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und liefern Hinweise und Anknüpfungspunkte für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Neben den Aufgaben der Beschäftigten mit gegebenen Produktionssystemen wurden auch Projekte zur Gestaltung von Produktionssystemen untersucht. Dennoch bleiben Fragen zur Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0 sowohl hinsichtlich der Perspektive als Betroffene als auch als Gestaltende offen. Bislang gibt es nur wenige Hinweise darauf, wie sich die Aufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können dieser Beschäftigten im Zuge der digitalen Transformation hin zu einer Industrie 4.0 verändern könnten. Vor allem aber scheint die Perspektive der Beschäftigten als Gestaltende einer Industrie 4.0 weitgehend unerforscht. So bleibt etwa offen, wie Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung bei der Konzeption und Umsetzung von Industrie-4.0-Projekten die Interessen der Mitarbeitenden in der Produktion berücksichtigen.

2.2 Die digitale Transformation in der Industrie

2.2.1 Die Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird zunächst skizziert, was Fachleute unter dem Begriff Industrie 4.0 verstehen. Anschließend werden Ansätze mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Zielsetzungen zur Gestaltung des Produktionssystems vorgestellt. Es wird die Rolle als Gestaltende der Transformation hin zu Industrie 4.0 betrachtet.

Industrie 4.0 fokussiert auf die Produktion intelligenter Produkte, Verfahren und Prozesse (Smart Production). Ein wichtiges Element von Industrie 4.0 ist die *intelligente Fabrik* (Smart Factory). Die Smart Factory beherrscht Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion. In der Smart Factory kommunizieren Menschen, Maschinen und Ressourcen so selbstverständlich wie in einem sozialen Netzwerk. *Intelligente Produkte* (Smart Products) verfügen über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und künftigen Einsatzes. Sie unterstützen aktiv den Fertigungsprozess („wann wurde ich

gefertigt, mit welchen Parametern muss ich bearbeitet werden, wohin soll ich ausgeliefert werden etc.“). (Kagermann et al., 2013, S. 23; Herv. i. O.)

Inwieweit ein Produkt smart oder intelligent ist, nur weil z. B. auf einem Speichermedium im Produkt selbst, in einer zentralen oder auch dezentralen Datenbank Informationen über den Herstellungsprozess und die zukünftige Nutzung gespeichert sind, bleibt m. E. fraglich. Dennoch verdeutlicht die Definition das Zukunftsbild, das sich verschiedene Wissenschaftsdisziplinen und auch die Praxis von Industrie 4.0 versprechen.

Ein Bündel an Schlüsseltechnologien soll dieses von Kagermann et al. (2013) skizzierte Zukunftsbild der industriellen Produktion Wirklichkeit werden lassen (Abbildung 10).

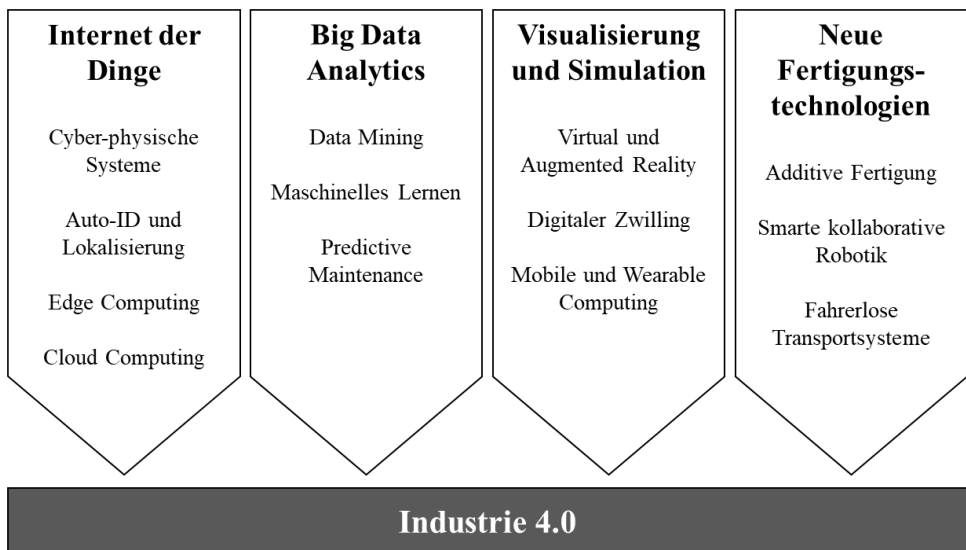


Abbildung 10: Schlüsseltechnologien für Industrie 4.0 (Quelle: Pistorius, 2020, S. 3)

Basistechnologien aus den Bereichen Internet der Dinge, Datenanalyse, Visualisierung und Simulation sowie neue Fertigungstechnologien bilden die Grundlage für die Vision von Industrie 4.0.

Schuh et al. (2020) beschreiben in der Studie „Industrie 4.0 Maturity Index“ verschiedene Entwicklungsstufen auf dem Weg zu diesem Zukunftsbild einer Industrie 4.0 (Abbildung 11). Die ersten beiden Entwicklungsstufen werden von Schuh et al. als Stufen der Digitalisierung bezeichnet. Der Einsatz von Technologien zur Sichtbarkeit, Transparenz, Prognosefähigkeit und Adaptivität wird als Entwicklungsstufen innerhalb von Industrie 4.0 verstanden. In der Stufe Computerisierung werden Informationstechnologien in einzelnen Anwendungen eingesetzt. Als Beispiel wird eine CNC-Drehmaschine genannt, die computergestützt arbeitet, deren Daten aber manuell eingegeben werden müssen. Auf dieser Stufe gibt es viele Maschinen und Anlagen

ohne Anbindung an die Informationstechnik. Auf der Stufe der Konnektivität werden verschiedene Insellösungen informationstechnisch vernetzt. Die Werkzeugmaschine aus dem vorherigen Beispiel wird an das IT-Netzwerk des Unternehmens angeschlossen und Programmdaten können über das Netzwerk übertragen werden. Eine vollständige Vernetzung aller Maschinen und Anlagen ist bisher nicht erreicht. Ferner werden verschiedene IT-Lösungen miteinander verknüpft, sodass Daten ausgetauscht werden können. In der Stufe Sichtbarkeit werden mithilfe von Sensoren verschiedene Daten über den gesamten Produktionsprozess gesammelt. Damit kann ein digitales Modell des Unternehmens – der sogenannte digitale Schatten des Unternehmens – erstellt werden. In der Stufe Transparenz wird dieser digitale Schatten des Unternehmens analysiert und daraus Erkenntnisse über Wirkungszusammenhänge abgeleitet. Auf der Stufe der Prognosefähigkeit besteht die Möglichkeit, verschiedene Zukunftsszenarien zu simulieren und hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit zu bewerten. Auf dieser Basis sollen frühzeitig Entscheidungen getroffen und geeignete Maßnahmen eingeleitet werden können. In der Stufe der Adaptierbarkeit werden Entscheidungen der Informationstechnologie überlassen. Dieses autonome Handeln der Systeme soll nicht für alle Entscheidungen umgesetzt werden, sondern nur dort, wo es die Komplexität zulässt und es unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten sinnvoll ist. Welche Stufe ein Unternehmen erreichen will, hängt von der Unternehmensstrategie ab. (S.17 f.)

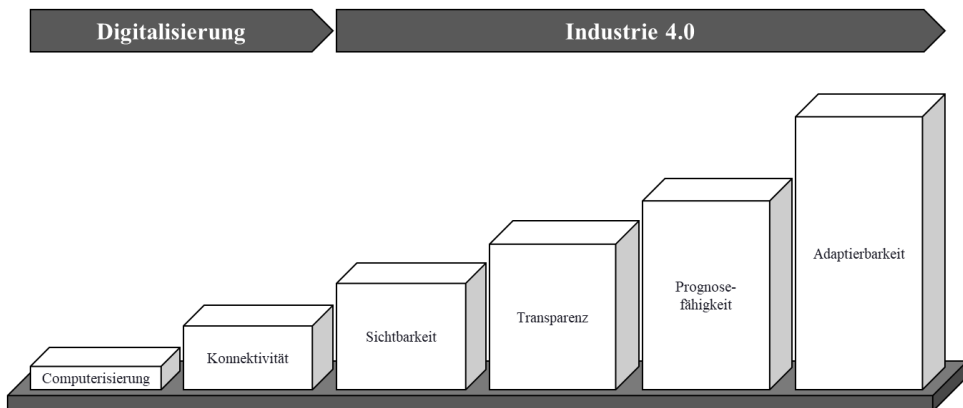


Abbildung 11: Stufen des Industrie-4.0-Entwicklungspaths (Quelle: Schuh et al., 2020, S.18)

Eine ähnliche Darstellung der Entwicklung hin zu einer Industrie 4.0 mit verschiedenen Stufen der Realisierung beschreiben Becker et al. (2023a). Im Vergleich zu der von Schuh et al. (2020) beschriebenen Systematik wählen sie jedoch eine leicht angepasste Einteilung und ergänzen vordergründig den Umgang der Fachkräfte mit den jeweiligen Stufen der Autonomie. In der ersten Stufe können Informationen an ein Objekt angebunden werden. Die Fachkräfte werden mit einer neuen Variante des Informationstransfers konfrontiert und müssen sich u. a. mit Änderungen in der Datenverarbeitung auseinandersetzen. Stufe zwei ist dadurch gekennzeichnet, dass die Objekte mit einem kompakten Computer und Software ausgerüstet sind. Die Fachkräfte müs-

sen diese Systeme an neue Aufgaben anpassen, die Systemeigenschaften verändern und den automatisierten Ablauf überwachen. Auf Stufe drei kommunizieren die Objekte mit anderen Objekten in regelmäßigen Abständen oder ausgelöst durch Zustandsänderungen in der Produktion. Ab dieser Stufe ändern die Objekte selbstständig die Art und Weise, wie das Produktionssystem organisiert ist. Die Aufgaben der Überwachung des Produktionssystems und der Fehlerdiagnose verändern sich. Es wird z. B. auch eine Fernwartung möglich. In der vierten Stufe verändert das System unter Nutzung der Produktionsdaten selbstständig die Produktionsprozesse. Beispielsweise kann durch die kontinuierliche Erfassung des Stromverbrauchs und den Zugriff auf die aktuellen Energiepreise der Verbrauch reguliert oder sogar Energie ins Netz eingespeist werden. Ebenso kann bei definiertem Verschleiß eines Werkzeuges automatisch ein neues Werkzeug bestellt werden. Diese Prozesse müssen von Fachkräften überwacht und bei Abweichungen eingegriffen werden. Stufe fünf wird als die eigentliche Realisierung der Vision von Industrie 4.0 beschrieben. Das Gesamtsystem einschließlich des Menschen reguliert sich selbst, soweit dies technisch möglich ist. Inwieweit in dieser Stufe noch Aufgaben für Fachkräfte verbleiben und wie sich die Rolle der Fachkräfte verändern wird, ist heute noch ungewiss und eine Gestaltungsaufgabe für Unternehmen und Gesellschaft. (Becker et al., 2023a)

Diese Ausführungen geben einen kurzen, exemplarischen Überblick zur Vision von Industrie 4.0. In der Literatur gibt es unterschiedliche Auffassungen über die Definition von Industrie 4.0 (bspw. Hirsch-Kreinsen, 2014; Bischoff et al., 2015, S. 1; Hermann et al., 2015, S. 11; Nierling et al., 2020). Ferner werden verschiedene Technologiebündel mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht (u. a. Obermaier, 2019, S. 20; Pistorius, 2020, S. 3). Die Definition der einzelnen Technologien ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Im Rahmen dieser Arbeit wird keine Definition von Industrie 4.0 gegeben und es wird auch nicht festgelegt, welche Technologien unter Industrie 4.0 fallen und welche nicht. Für diese Arbeit ist relevant, was die Forschungsteilnehmenden – also die Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung – unter dem Begriff Industrie 4.0 verstehen und welche Technologien und Anwendungen sie als relevant erachten.

Es ist zu beachten, dass sich Unternehmen und Produktionssysteme durch die Einführung neuer Technologien sehr unterschiedlich entwickeln können (Hirsch-Kreinsen et al., 2016, S. 7). In der wissenschaftlichen Diskussion um Industrie 4.0 wird gefordert, dass die Arbeit für die Unternehmen und Produktionssysteme der Zukunft aktiv gestaltet werden muss (u. a. Botthof & Hartmann, 2015, S. 161; Acatech, 2016, S. 4). Die Gestaltung von Produktionssystemen kann auf unterschiedliche Weise und mit verschiedenen Schwerpunkten erfolgen.

Es werden ein eher technikzentrierter, ein eher organisationszentrierter und ein eher menschenzentrierter Ansatz vorgestellt. An dieser Stelle ist es wichtig, auf Folgendes hinzuweisen: Die Endung „zentriert“ könnte andeuten, dass nur dieser eine Aspekt berücksichtigt wird. Es ist in der Praxis nicht möglich, bei der Gestaltung eines Produktionssystems nur einen Aspekt zu betrachten. Die verschiedenen Perspektiven Technik, Arbeitsorganisation und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden werden in gewissem Umfang bei jeder Gestaltungsmaßnahme berücksichtigt. Die Perspektiven

stehen in einer wechselseitigen Beziehung. Ferner ist die Berücksichtigung der technologischen und organisatorischen Möglichkeiten zur Gestaltung einer möglichst den Bedürfnissen des Menschen entsprechenden Arbeitssituation sogar erforderlich.

Als ein eher technikzentrierter Ansatz wird der „Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand“ von Anderl et al. (2015) vorgestellt. Ziel des Leitfadens ist es, mittelständischen Unternehmen Möglichkeiten zur Produkt- und Produktionsoptimierung durch Industrie 4.0 aufzuzeigen. Ein interdisziplinäres Projektteam, bestehend aus Mitarbeitenden aus den Bereichen Produktion, Informationstechnologie und Entwicklung, soll die Einführung von Industrie 4.0 mittels eines geführten Prozesses in die Praxis umsetzen. Der Einführungsprozess gliedert sich in die fünf Phasen Vorbereitung, Analyse, Kreativität, Bewertung und Einführung. Unternehmensinterne Details wie Produkte und deren Absatzmärkte sowie der Wertschöpfungsprozess müssen allen Teilnehmenden des Projektteams ausreichend bekannt sein. Ebenso müssen Grundkenntnisse über Konzepte und Technologien rund um Industrie 4.0 vorhanden sein. Mithilfe eines Industrie-4.0-Werkzeugkastens werden verschiedene Anwendungsebenen von Industrie 4.0 aufgezeigt. Die einzelnen Anwendungsebenen sind in jeweils fünf technologische Entwicklungsstufen unterteilt. Exemplarisch für die technologischen Entwicklungsstufen wird nachfolgend die Anwendungsebene der Mensch-Maschine-Schnittstellen dargestellt:

- Entwicklungsstufe 1: Kein Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine
- Entwicklungsstufe 2: Einsatz lokaler Anzeigergeräte
- Entwicklungsstufe 3: Zentrale/dezentrale Produktionsüberwachung/-steuerung
- Entwicklungsstufe 4: Einsatz mobiler Anzeigergeräte
- Entwicklungsstufe 5: Erweiterte und assistierte Realität

Aufgabe des Projektteams ist es, den Ist-Zustand des Unternehmens in den verschiedenen Anwendungsebenen des Werkzeugkastens zu ermitteln und einen Soll-Zustand zu definieren. Der Ist-Zustand kann auch der Soll-Zustand sein. Als Beispiel werden handelsübliche Schrauben angeführt, die auch in Zukunft keine Möglichkeiten zum Datenaustausch benötigen. Nicht alle Anwendungsebenen von Industrie 4.0 lassen sich in geeigneter Weise auf die einzelnen Produkte und Produktionsprozesse im Unternehmen übertragen. In einer Ideenfindungsphase werden Lösungen erarbeitet, um die nächste Entwicklungsstufe zu erreichen. Die erarbeiteten Ideen werden einem Kosten-Nutzen-Vergleich unterzogen, um die Konzepte mit dem höchsten Wertbeitrag zu identifizieren. Abschließend werden die einzelnen Konzepte zu Beginn der Einführungsphase dem Management vorgestellt und es wird entschieden, welche der Konzepte in konkrete Projekte überführt und umgesetzt werden.

Lean Management und die darin enthaltene Wertstrommethode werden als eher organisationszentrierter Ansatz zur Gestaltung von Produktionssystemen vorgestellt. Lean Management ist eine Unternehmensphilosophie, die mithilfe verschiedener Methoden und Werkzeuge umgesetzt werden soll. Die Stärke von Lean Management wird darin gesehen, dass es aus einer Reihe von Werkzeugen und Methoden besteht, die sich in der Praxis bereits bewährt haben. Ziel von Lean Management ist es, Prozesse

auf den Kundennutzen auszurichten und einen möglichst hohen Anteil wertschöpfender Tätigkeiten zu erreichen. Die kontinuierliche Verbesserung aller Prozesse im Unternehmen soll durch alle Mitarbeitenden in die Praxis umgesetzt werden. Neue Technologien werden vorab umfassend geprüft und nur dann eingesetzt, wenn sie eine Verbesserung gegenüber einem definierten Zielzustand bringen. (Gorecki & Pautsch, 2014)

Der Wertstrom ist der Fluss aller Wertobjekte entlang der Produktionsprozesskette, in dessen Verlauf durch Transformation und Kombination von Elementarfaktoren sowie Verarbeitung zielgerichteter Informationen für einen internen oder externen Kunden eine Leistung erbracht bzw. ein Produkt geschaffen und der Wert desselbigen dabei sukzessive erhöht wird. (Lugert & Winkler, 2019, S. 6)

Die Wertstrommethode besteht aus der Wertstromanalyse und dem Wertstromdesign. Die Wertstromanalyse wird verwendet, um vorhandene Wertströme zu beschreiben und zu untersuchen. Wertstromdesign ist die Vorgehensweise zur Gestaltung und Dokumentation eines idealen Wertstroms, auch auf Basis der Erkenntnisse einer vorangegangenen Wertstromanalyse. Betrachtungsgegenstand der Wertstrommethode ist der komplette Prozess vom Auftragseingang bis hin zur Auslieferung (Abbildung 12).

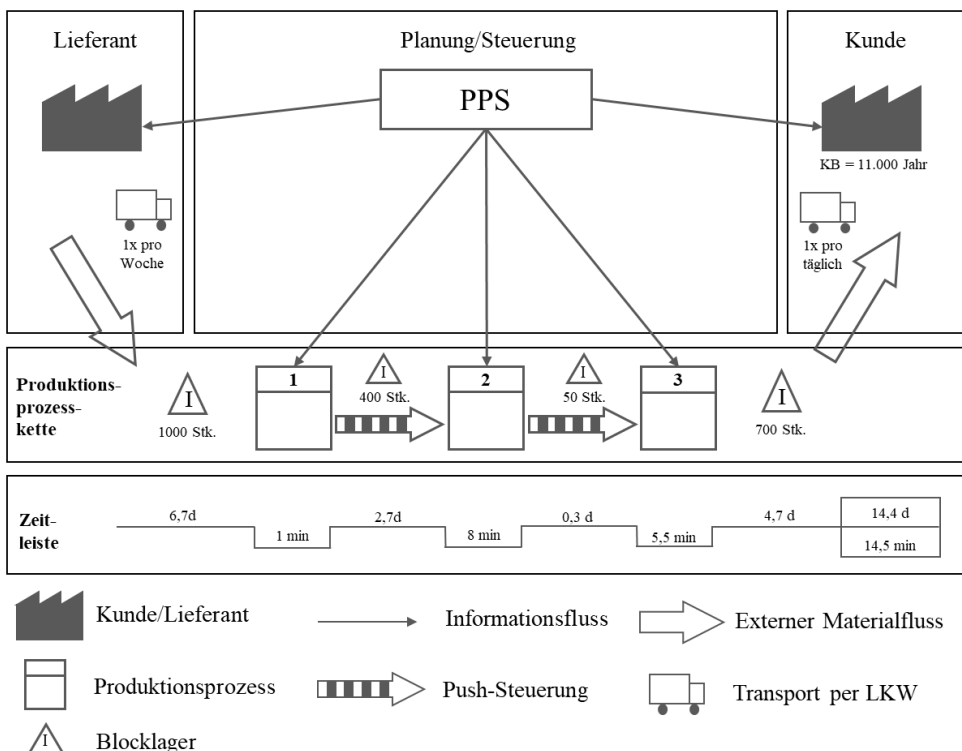


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Wertstrommethode (Quelle: Eigene Darstellung nach Lugert & Winkler, 2019, S. 7)

Die Prozesskette wird grafisch dargestellt und Einzelwerte zu Liege-, Prozess- und Durchlaufzeiten erfasst. Gegenstand sind weiter auch die Planungs- und Steuerungssystematiken und die Informationsflüsse. Bei der Wertstrommethode wird mit einer einheitlichen Symbolsprache gearbeitet. (Lugert & Winkler, 2019)

Als ein menschenzentrierter Ansatz wird das Konzept „Human Centred CIM Systems“ vorgestellt, das von Blumenstein & Fischer (1991) in der Broschüre „Aus- und Weiterbildung für die rechnergestützte Arbeitsplanung und -steuerung“ beschrieben wird. Ziel des Projektes war es, bei der Entwicklung und Einführung eines Computer Integrated Manufacturing (CIM) Systems neben den ingenieurwissenschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten auch die menschenbezogenen Aspekte zu berücksichtigen und in den Mittelpunkt zu stellen. In der deutschen Arbeitsgruppe wurde vor allem die Arbeitsorganisation als wesentlicher Ansatzpunkt für die Umsetzung der menschenbezogenen Aspekte gesehen. Als Form der Arbeitsorganisation in der Produktion wurde auf das Konzept der teilautonomen Inselfertigung zurückgegriffen. Bei der teilautonomen Inselfertigung werden Planungs-, Steuerungs- und Kontrolltätigkeiten der Produktionsprozesse auf die Werkstattebene zurückverlagert. Die Detailplanung und Ausführung bleibt den Mitarbeitenden der Insel überlassen. Blumenstein & Fischer haben ein Konzept für die Aus- und Weiterbildung von Auszubildenden und Fachkräften in den Berufsfeldern Metall- und Elektrotechnik im Kontext von CIM entwickelt. Die Teilnehmenden werden auch gefördert, Planungs- und Steuerungsaufgaben im Rahmen der Inselfertigung zu übernehmen. Ebenso werden im Rahmen der Weiterbildung eigene Bewertungskriterien zur Beurteilung von CIM-Systemen entwickelt. In einer anschließenden Diskussion reflektieren die Teilnehmenden auch über die Bedeutung der Arbeitsteilung und der Organisation der Facharbeit im Kontext der Inselfertigung.

Die Ausführungen skizzieren die unterschiedlichen Herangehensweisen zur Gestaltung des Produktionssystems. Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 wird häufig eine der drei Perspektiven Technik, Arbeitsgestaltung oder Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden als wesentlicher Faktor für die Entwicklung und Umsetzung angesehen. Die Perspektiven lassen sich jedoch nicht vollständig voneinander trennen. (Nierling et al., 2020, S. 178) Ein oft zitiertes Beispiel, wenn die Perspektiven getrennt betrachtet werden, ist das sogenannte Automatisierungsparadox.

Je mehr automatisiert wird, desto weniger sind die Beschäftigten mit Eingriffen in automatisierte Prozesse vertraut und desto schwieriger werden für sie die dann immer noch notwendigen Eingriffe im Fall von unvorhergesehenen (z. B. Störungs-)Situationen. (Fischer, 2022b, S. 54)

Hirsch-Kreinsen et al. (2018) führen hierzu auch Aussagen aus der betrieblichen Praxis an:

Mit Blick auf die erforderlichen Kontrollstrukturen vermutet ein Entwickler, „dass es auf Dauer nur funktioniert, wenn man den (sic!) 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 entschei-

det, wann ich arbeite, sondern ich entscheide. ... Und ich glaube, das ist normal, das sollte so ein Leitbild sein.“ (V2) (S. 184)

In der vorliegenden Arbeit wird die Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 aus einer alle drei Perspektiven umfassenden Position betrachtet.

Industrie 4.0 wurde skizziert und verschiedene Ansätze zur Gestaltung von Produktionssystemen vorgestellt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es unterschiedliche Auffassungen von Industrie 4.0 und den damit verbundenen Technologien, Anwendungen und Konzepten gibt. Ebenso gibt es unterschiedliche Ansätze und Schwerpunkte bei der Gestaltung des Produktionssystems. Dabei kann die Technik, die Arbeit oder auch der Mensch im Mittelpunkt stehen. In der Praxis stehen diese Perspektiven jedoch in einem wechselseitigen Zusammenhang und sollten bei der Gestaltung des Produktionssystems (auch nach dem Konzept von Industrie 4.0) in einer gemeinsamen Betrachtung berücksichtigt werden.

Im Folgenden werden Konzepte, Merkmale und empirische Untersuchungen zur Gestaltung von Arbeit im Kontext von Industrie 4.0 vorgestellt. Die Einführung neuer Technologien in das Produktionssystem hat Auswirkungen auf die Arbeit und das erforderliche Wissen und Können der Mitarbeitenden. Anhand von Beispielen aus der Instandhaltung und dem Einsatz von Leichtbaurobotern beschreiben Windelband & Dworschak (2018), wie der Einsatz von Technologien die Arbeit und die Anforderungen an die Mitarbeitenden verändern kann. In der Instandhaltung können durch die digitale Transformation immer mehr Daten gesammelt werden, die u. a. bessere Vorhersagen über den Ausfall einzelner Maschinenelemente ermöglichen. Dies könnte zu einer vom System automatisch geplanten und durch Datenbrillen geführten Arbeit in der Instandhaltung führen, bei der die Mitarbeitenden über ein geringeres Wissen verfügen müssen und ihr Handlungsspielraum enger und kontrollierbarer wird. Andererseits kann sich die Instandhaltung auch zu einer wissensbasierten Instandhaltung entwickeln. Die Mitarbeitenden können ihr Wissen einbringen und zur Verbesserung der Instandhaltung und Prozessoptimierung beitragen. Die Möglichkeiten der Sensorik, der Informationstechnik und der Mensch-Maschine-Schnittstellen können eingesetzt werden, um alle dafür notwendigen Informationen, z. B. Maschinen-, Produkt- oder Produktionsdaten, optimal aufzubereiten und den Mitarbeitenden zur Verfügung zu stellen. Auch beim Einsatz von Leichtbaurobotern gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese in die Produktion zu integrieren. So können Leichtbauroboter die eigentlichen Hauptaufgaben, wie das Schweißen, von den Mitarbeitenden in der Produktion übernehmen. Mitarbeitende übernehmen nur noch die Aufgaben, die Leichtbauroboter nicht übernehmen können. Die Programmierung der Leichtbauroboter erfolgt durch Fachleute außerhalb der Produktion. Die Leichtbauroboter werden für die Mitarbeitenden in der Produktion so zu undurchschaubaren Systemen. Als andere Möglichkeit beschreiben Windelband & Dworschak den Einsatz von Leichtbaurobotern zur Unterstützung. Leichtbauroboter können etwa für die Handhabung körperlich anstrengen-

der Arbeiten eingesetzt werden. Die Programmierung kann durch Einlernen² oder einfache Programmierverfahren direkt an die Mitarbeitenden in der Produktion übertragen werden. Auf diese Weise können die Arbeitsbedingungen in der Produktion verbessert und das Wissen und Können der Mitarbeitenden gestärkt werden. Wischmann & Hartmann (2018) vertreten eine ähnliche Auffassung und beschreiben grundsätzliche Vorgehensweisen bei der Einführung neuer Technologien in die Arbeitswelt. Eine Vorgehensweise stellt Automatisierung ins Zentrum. Es wird versucht, möglichst alle Prozesse zu automatisieren. Der Mensch soll die Aufgaben übernehmen, die (noch) nicht automatisiert werden können. Die andere Vorgehensweise ist der Einsatz von Technologie als Werkzeug. Der Einsatz von Technik soll menschliche Fähigkeiten unterstützen und verstärken. Wenn man die Technik nicht in den Vordergrund stellt, sondern sie als Werkzeug zur Unterstützung des Menschen betrachtet, wird für die Zukunft eine weniger ausgeprägte Arbeitsteilung und eine weniger polarisierte Qualifikationsstruktur erwartet. (S. 2) Die Einführung neuer Technologien kann je nach Art der Umsetzung unterschiedliche Auswirkungen auf die Arbeit und die Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden haben. Die Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems bringen daher eine große Verantwortung für die Zukunft mit sich.

Wie genau diese Gestaltung erfolgt, muss von den Beschäftigten in der jeweiligen Situation angemessen entschieden werden. Sie müssen bei der Gestaltung technischer Systeme einen Weg zwischen dem technisch Möglichen und gesellschaftlichen Anforderungen finden. (Fischer, 2022b, S. 52) Diese Entscheidung ist keineswegs einfach, da verschiedene Aspekte, die sich zum Teil auch widersprechen, zu berücksichtigen und gegeneinander abzuwägen sind:

Welche Funktionen sollen erfüllt werden und welche Bedürfnisse haben unterschiedliche Nutzer und Nutzerinnen? Was ist wenig störanfällig bzw. reparaturfreundlich? Was kostet die Ausstattung und was kann/will der Kunde oder die Kundin bezahlen? Was bringt dem eigenen Unternehmen den größten Gewinn? Wie können die Arbeiten unterschiedlicher Gewerke koordiniert werden, damit die Einrichtung nicht monatelang unbenutzbar bleibt? Wie müssen und können Sicherheitsaspekte von Arbeitenden und Nutzern berücksichtigt werden? Was ist besonders umweltverträglich und ressourcenschonend? Welche Lösung ist kreativ und auch ästhetisch ansprechend? Da dies sich partiell widersprechende Gesichtspunkte sind, gibt es nicht nur eine „richtige“ Lösung, sondern viele mehr oder weniger optimale. Berufliche Arbeitsaufgaben im gewerblich-technischen Bereich verweisen also auf Gestaltungsspielräume, in denen jeweils technische Möglichkeiten und gesellschaftliche Anforderungen an Technik subjektiv austariert werden. Selbstredend sind diese Gestaltungsspielräume, je nach betrieblichen Bedingungen, mehr oder weniger groß. (Fischer, 2023, S. 6)

Diese Abwägungen müssen auch die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bei der Gestaltung des Produktionssystems im Kontext von Industrie 4.0 treffen. Das im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt zu ent-

2 In der Praxis wird dies als Teach-in bezeichnet. Der Roboter wird dabei manuell oder über ein Handbediengerät in die gewünschte Position gebracht. Die Koordinaten der einzelnen Positionen auf der Strecke werden gespeichert. Dieses Verfahren ermöglicht die Erstellung einer Roboterbewegung ohne Programmierkenntnisse.

wickelnde Weiterbildungskonzept soll sie dabei unterstützen. Dabei sollen auch Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung gesetzt werden.

Was ist vor diesem Hintergrund bei der Gestaltung von Produktionssystemen zu beachten und welche empirischen Befunde liegen vor?

Relevante Merkmale und Begriffe bei der Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion oder Mensch-Technik-Interaktion sind u. a. die Ergonomie und die Gebrauchstauglichkeit der Systeme (Rödiger, 2018). Beide Merkmale sind auch im Rahmen einer menschenzentrierten Gestaltung dieser Systeme von Bedeutung. In der „DIN EN ISO 9241–11:2018–11: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ wird die menschenzentrierte Gestaltung wie folgt definiert:

Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, interaktive Systeme gebrauchstauglicher zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Arbeitswissenschaft/Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet. (DIN EN ISO 9241–11, S. 13)

Sowohl die Arbeits- und Technikforschung als auch die Arbeitswissenschaft/Ergonomie betrachten sowohl Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit als wesentliche Aspekte der Gestaltung technischer Systeme. Im Folgenden wird die Ergonomie im Hinblick auf körperliche und mentale Belastungen und die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion als das zentrale Element zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit technischer Systeme näher betrachtet.

Die Entwicklung zur Industrie 4.0 könnte dazu führen, dass die körperlichen Belastungen in der Produktion abnehmen. Gleichzeitig könnten die mentalen Belastungen der Mitarbeitenden zunehmen. (Baumhauer et al., 2019, S. 25) Über den Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen zur körperlichen Entlastung der Mitarbeitenden gibt es verschiedene Erfahrungsberichte. Bauer et al. (2016) berichten über verschiedene Anwendungen mit Leichtbaurobotern in der Montage, die u. a. die Belastung der Mitarbeitenden in der Produktion reduzieren. Beispielsweise werden einzelne Arbeitsschritte zwischen Mensch und Leichtbauroboter aufgeteilt. Die Mitarbeitenden übernehmen die komplexen oder filigranen Arbeitsschritte, der Leichtbauroboter den körperlich belastenden Arbeitsschritt. (S. 41f.) Im Hinblick auf die Reduzierung körperlicher Belastungen werden in verschiedenen Berichten auch fahrerlose Transportsysteme erwähnt (u. a. Kirks & Jost, 2020, S. 533; Kinne, 2022, S. 135). Es gibt auch Berichte über Anwendungen im Kontext von Industrie 4.0, die sich positiv auf die mentale Belastung der Mitarbeitenden in der Produktion auswirken könnten. Brandl et al. (2015) beschreiben ein mobiles Wissensmanagement. Die Kernidee des Konzeptes bezeichnen sie als „YouTube für die Industrie“. Mitarbeitende in der Produktion können ihr Wissen in Form von Videos, Bildern oder Sprachmemos mit mobilen Endgeräten wie einem Tablet speichern. Diese dokumentierten Erfahrungen können z. B. bei Fehlern oder bei der Einarbeitung von neuen Mitarbeitenden hilfreich sein. Zudem können die Inhalte von den Mitarbeitenden selbst hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit bewertet werden. Die Mitarbeitenden werden so zu Akteuren: Sie entscheiden

zunächst, welche Inhalte für andere aufgenommen werden, und die Gemeinschaft der Produktionsmitarbeitenden bewertet, welche Inhalte für ihre Arbeit wichtig sind.

Hinsichtlich der Entwicklung der mentalen Belastungen zeigen sich jedoch auch negative Tendenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Ein Beispiel hierfür findet sich in der Untersuchung von Minow (2021). In ihrer Dissertation untersuchte sie die Auswirkungen digitaler Assistenzsysteme auf die mentale Beanspruchung von Mitarbeitenden. Zusammenfassend stellt sie fest:

Während sich die subjektive Beanspruchung, die Stimmungslage und die visuelle Ermüdung in der Vorstudie nicht zwischen der Arbeit mit der Papierliste und der digitalen Liste unterscheidet, zeigt sich im virtuellen User-Test eine signifikant stärker erlebte geistige Anstrengung bei der Verwendung der Augmented Reality (AR)-Konturen als bei dem Pick-to-Light System. (Minow, 2021, S. 189)

Minow zeigt, dass unterschiedliche Assistenzsysteme auch unterschiedliche Auswirkungen auf die visuelle Ermüdung haben. In ihren Versuchen stellte sie fest, dass die mental erlebte Anstrengung beim Einsatz von erweiterter Realität höher ist als bei Verfahren, bei denen die zu greifenden Objekte mit einem Lichtsignal markiert werden. Eine übergreifende Darstellung der körperlichen und mentalen Belastungen liefert die Befragung des Bundesinstituts für Berufsbildung und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin aus dem Jahr 2018.

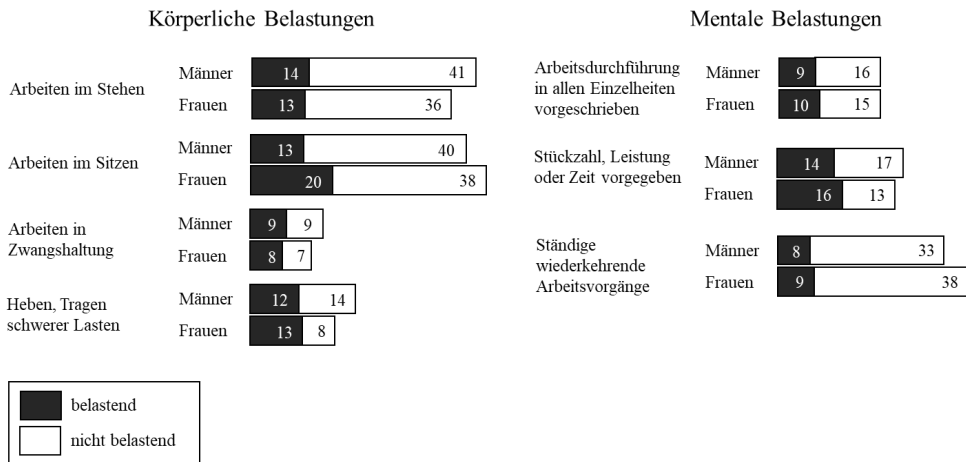


Abbildung 13: Einschätzungen zu körperlichen und mentalen Arbeitsbelastungen (Quelle: Brenscheidt et al., 2020, S. 24 f. mit Daten aus BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018)

Frauen arbeiten häufiger im Sitzen als Männer. Für 20 Prozent der Frauen gehört die Arbeit im Sitzen zu den körperlich belastendsten Anforderungen. Arbeit in Zwangshaltungen (z. B. in gebückter Haltung) wird von 18 Prozent der Männer und 15 Prozent der Frauen angegeben. Diese Arbeit wird von den wenigen Betroffenen als sehr belastend empfunden. Auch das Tragen schwerer Lasten wird als hohe Belastung an-

gegeben. Das Tragen schwerer Lasten betrifft 28 Prozent der befragten Männer und 21 Prozent der befragten Frauen. 25 Prozent der Befragten geben an, dass die Ausführung der Arbeit in allen Einzelheiten vorgeschrieben ist. Als sehr belastend empfinden dies 9 Prozent der Männer und 10 Prozent der Frauen. 31 Prozent der Männer und 29 Prozent der Frauen geben an, dass Stückzahl, Leistung oder Zeit vorgegeben sind. Bei den Männern empfindet dies knapp die Hälfte als belastend, bei den Frauen sogar mehr als die Hälfte. Fast die Hälfte der Frauen und 41 Prozent der Männer berichten von sich ständig wiederholenden Arbeitsabläufen. (Brenscheidt et al., 2020, S. 24f.)

Weiter geben Beschäftigte aller Bildungsniveaus an, dass Stress und Arbeitsdruck in den Jahren vor 2018 zugenommen haben (Abbildung 14).

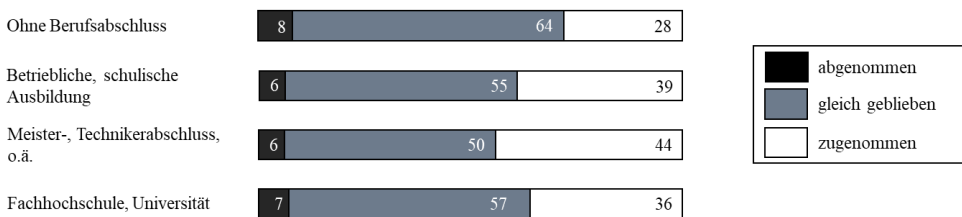


Abbildung 14: Veränderungen Stress und Arbeitsdruck (Quelle: Brenscheidt et al., 2020, S. 34, mit Daten aus BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018)

Auch diese übergreifende Darstellung stützt die Hinweise, dass mentale Belastungen heute eine Herausforderung darstellen. Dies gilt für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in zweifacher Hinsicht. Einerseits steigt die eigene mentale Belastung dieser Beschäftigten. Besonders ausgeprägt ist dies in den mittleren Qualifikationsebenen. So berichten 39 Prozent der Beschäftigten mit betrieblicher Ausbildung und 44 Prozent der Beschäftigten mit Meister- oder Technikerabschluss von mehr Stress und Arbeitsdruck (Brenscheidt et al., 2020, S. 34). Andererseits steigen auch die mentalen Belastungen der Mitarbeitenden in der Produktion. Gerlmaier & Latniak (2019) berichten über eine empirische Untersuchung, in der das Gefahren- und Gestaltungswissen von Arbeitsschutzakteuren, Führungskräften und Beschäftigten ermittelt wurde. Untersucht wurden fünf Unternehmen unterschiedlicher Größe aus der Elektro- und Metallindustrie. Das belastungsbezogene Gefahrenwissen und das arbeitsbezogene Gestaltungswissen wurden mit einem schriftlichen Erhebungsinstrument ermittelt. Die Befragten verfügen über ein Grundwissen über die Gefahren von Stress und mentalen Belastungen. Die Ergebnisse zeigen richtige Antworten auf das Stressquiz zwischen 45 Prozent und 80 Prozent. Umfassenderes Wissen ist demnach nur teilweise vorhanden. Die Ergebnisse für die Abfrage des arbeitsbezogenen Gestaltungswissens zeigen eine Quote richtiger Antworten zwischen 69 Prozent und 85 Prozent. Insgesamt kommen Gerlmaier & Latniak zu dem Ergebnis, dass das Wissen über gesundheitliche Gefährdungspotenziale bei den Beschäftigten der beteiligten Betriebe weiter ausgebaut werden sollte.

Durch den Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen kann sich die mentale und körperliche Belastung der Beschäftigten verändern. In den vergangenen Jahren ist eine

abnehmende Tendenz bei den körperlichen Belastungen und eine zunehmende Tendenz bei den mentalen Belastungen zu erkennen. Wichtig erscheint an dieser Stelle der Hinweis, dass bei der Reduzierung mentaler Belastungen immer auch die lernförderliche Gestaltung der Arbeitsbedingungen berücksichtigt werden sollte. Eine Reduzierung der mentalen Anforderungen auf ein Minimum würde zu einer möglichen Unterforderung und damit zu einem Schritt in Richtung eines digitalen Taylorismus (Nachtwey & Staab, 2016, S. 16) führen. Ebenso ist zu beachten, dass die ergonomische Gestaltung eines technischen Systems nicht zwangsläufig zu lernförderlichen Arbeitsbedingungen für die Mitarbeitenden führt. Es gilt, u. a. nicht nur die Bedienung des technischen Systems, sondern das Produktionssystem als Ganzes zu betrachten. (Becker, 2018) Das bedeutet, dass Technik, Organisation und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden sowie die Wechselbeziehungen berücksichtigt werden müssen. Für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung scheint es keine allgemeingültige Lösung zu geben, sondern vielmehr bedarf es einer bewussten Auseinandersetzung mit den spezifischen Gestaltungssituationen in der Praxis.

Eine Veränderung der Arbeitsorganisation ist ein möglicher Ansatz, um lernförderliche Arbeitsbedingungen aktiv zu beeinflussen. So haben z. B. Blumenstein & Fischer (1991) durch die Einführung des Prinzips der Inselfertigung in einem Projekt zum Computer Integrated Manufacturing (CIM) die Möglichkeit geschaffen, dass Mitarbeitende in der Produktion auch Aufgaben im Bereich der Produktionssteuerung übernehmen und dadurch ihr Arbeitsprozesswissen erweitern können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stellt sich die Frage, wie die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die körperlichen und mentalen Belastungen, aber auch die Lernförderlichkeit von Arbeitsbedingungen in der Produktion bei der Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Technologien berücksichtigen.

Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit eines technischen Systems ist es wichtig, dass diese nur durch die Nutzenden selbst beurteilt werden kann (Brödner & Oehlke, 2018, S. 565). Ein wesentlicher Aspekt bei der Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Technologien könnte daher die umfassende Einbindung der Mitarbeitenden aus der Produktion in die Gestaltungsprozesse sein. Genau dies wird bereits im Abschlussbericht „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ gefordert:

Das bietet Chancen für eine stärkere Eigenverantwortung und Selbstentfaltung der Arbeitnehmer, die durch einen sozio-technischen Gestaltungsansatz verwirklicht werden können. Dazu sollten eine partizipative Arbeitsgestaltung sowie lebensbegleitende Qualifizierungsmaßnahmen in den Blick genommen und Referenzprojekte mit Vorbildcharakter initiiert werden. (Kagermann et al., 2013, S. 6)

Nicht nur um die Gebrauchstauglichkeit eines technischen Systems zu gewährleisten, ist die Einbindung der Mitarbeitenden aus der Produktion wichtig. Auch im Hinblick auf die Arbeitsgestaltung ist dies erforderlich. Es stellt sich die Frage, wie Beschäftigte aus anderen Organisationseinheiten wissen können, wie die Mitarbeitenden in der Produktion in Zukunft arbeiten wollen (Fischer, 2022a)? Aber auch für die weitere

Umsetzung der Vision von Industrie 4.0 scheint die Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion wichtig zu sein. Denn die Mitarbeitenden in der Produktion können auch Ideen für den geeigneten Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen in Produktionssystemen beisteuern.

Pfeiffer et al. (2018) führten in einem Automobilwerk eine empirische Untersuchung mit Beschäftigten aus dem Engineering zur Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion durch. Im Fokus der Untersuchung stand die Beteiligung der Mitarbeitenden an der Gestaltung des Produktionssystems im Kontext von Industrie 4.0. Die Beschäftigten des Engineerings wurden nach ihren Arbeitsschwerpunkten in Automatisierung & IT, Industrial Engineering, Logistik & Material sowie Planung Karosseriebau und Planung Montage unterteilt. Aufgrund der Arbeitsschwerpunkte (z. B. Planung Karosseriebau, Industrial Engineering und Planung Montage) dürften viele dieser Beschäftigten auch den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung zuzuordnen sein. Die Datenerhebung erfolgte durch qualitative Interviews und einen quantitativen Online-Fragebogen. Die qualitative Untersuchung zeigt, dass in der Regel die unteren Führungskräfte aus der Produktion oder engagierte Mitarbeitende in den Prozess eingebunden werden. Wichtig erscheinen hauptsächlich Fragen der Handhabung oder in manchen Fällen auch der Störanfälligkeit der Systeme. Aus der quantitativen Erhebung geht hervor, dass die Erfahrungen der Mitarbeitenden in der Produktion insgesamt als wichtig und ihr Wissen und Können als notwendig für die Gestaltung des Produktionssystems erachtet werden. Das Wissen und Können der Mitarbeitenden aus der Produktion zu Industrie-4.0-Technologien wird nur selten berücksichtigt. Die Beschäftigten aus dem Engineering würden die Mitarbeitenden aus der Produktion gerne frühzeitig und umfassend in die Gestaltung der Produktionssysteme einbeziehen, aber oft fehlen die Zeit oder auch die organisatorischen Strukturen. Die Beteiligungsformen orientieren sich stark an den bisherigen Prozessen und könnten aus Sicht der Beschäftigten des Engineerings besser gestaltet werden. Pfeiffer et al. gehen davon aus, dass neue Beteiligungsformen die Zusammenarbeit zwischen den Beschäftigten des Engineerings und den Mitarbeitenden in der Produktion stärken können. Dazu bedarf es vor allem auch einer Funktion mit ausreichend Zeit und Freiraum, die diese Beteiligungsprozesse aktiv initiiert:

Was im aktuellen Diskurs zur Digitalisierung und zu Industrie 4.0 immer wieder betont und als Wunschbild diskutiert wird – von der Nutzung der Crowd bis zu Open Innovation, vom Einbezug späterer Nutzer/-innen in agile Prozesse oder im Design Thinking – all das könnte auch als Innovationsinitiator die Beteiligungsformen zwischen Engineering und Shopfloor revolutionieren. ... Die Bereitschaft für mehr Partizipation dieser Facharbeitsebene lässt sich empirisch im Engineering sehr wohl finden. Der Impuls für ein innovatives Aufbrechen der bisherigen Beteiligungsformate aber wird von dort eher nicht kommen – zumindest nicht, solange es dafür an ausreichend Zeit und (Frei-)Raum mangelt. (Pfeiffer et al., 2018, S. 125)

Eine unausweichliche Frage, die sich m. E. an dieser Stelle ungeachtet des Zeitmangels der Beschäftigten im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit und der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes stellt, ist folgende: Wie können die Beschäftigten in

der technischen Produktionsplanung und -steuerung bei der Wahrnehmung dieser Aufgabe unterstützt werden?

In diesem Kapitel wurden theoretische Grundlagen, gestaltungsrelevante Aspekte und empirische Untersuchungen zur Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 beschrieben. Insgesamt ist heute wenig darüber bekannt, wie Gestaltende bei der Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext Industrie 4.0 die Interessen der Mitarbeitenden in der Produktion berücksichtigen.

Offene Fragen sind u. a.:

Wie achten Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf körperliche und mentale Belastungen sowie auf eine lernförderliche Gestaltung der Arbeitsbedingungen in der Produktion?

Wie beziehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltung einer Industrie 4.0 mit ein?

2.2.2 Veränderung beruflicher Anforderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung

Im vorherigen Kapitel wurde die digitale Transformation in der Industrie und die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende näher betrachtet. Im Mittelpunkt dieses Kapitels stehen mögliche Veränderungen der Arbeits- und Qualifikationsanforderungen durch Industrie 4.0. Es wird die Perspektive der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene von Industrie 4.0 untersucht.

Rauner & Grollmann (2018) sprechen bereits im Vorwort des „Handbuchs Berufsbildungsforschung“ zwei wesentliche Aspekte des Wandels zu einer Industrie 4.0 an. Können neue Technologien berufliche Tätigkeiten ersetzen? Werden berufliche Kompetenzen und betriebliches Lernen durch die Umsetzung von Industrie 4.0 auf- oder abgewertet? (S. 8) Neben diesen und weiteren zu klärenden Fragen ist bereits heute erkennbar, dass sich die Aufgaben und Anforderungen an die Beschäftigten verändern werden (bspw. Kärcher, 2015, S. 57; bayme vbm, 2016, S. 5 f.; Acatech, 2016, S. 4).

Eine Aufgabe der Berufsbildungsforschung im Hinblick auf diese Veränderungen ist es, „aktuelle Bedarfe und Entwicklungen in den beruflichen Anforderungen zu identifizieren“ (Weiß, 2018, S. 88). Die Erfassung dieser Anforderungen aus der betrieblichen Praxis erfolgt häufig berufsübergreifend. So sind beispielsweise bei Ausbildungsberufen die Erhebungen häufig auf die beruflichen Fachrichtungen ausgerichtet (Herkner, 2018, S. 176). In Deutschland werden 16 berufliche Fachrichtungen unterschieden (Kultusministerkonferenz, 2018b). Gerds & Herkner (2018) berichten z. B. über Untersuchungen aus dem Bereich der Metalltechnik oder Jenewein (2018b) über den aktuellen Forschungsstand aus der beruflichen Fachrichtung Elektro- und Informationstechnik. Die beruflichen Fachrichtungen beziehen sich auf Ausbildungsberufe bzw. auf die Studienstrukturen für das Lehramt an berufsbildenden Schulen

(Herkner, 2018, S. 176). Wie in den wissenschaftlichen Grundlagen zu den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung dargestellt, haben nur sehr wenige Beschäftigte den für die Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung konzipierten Beruf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin erlernt. Vielmehr finden sich in dieser Berufsuntergruppe Beschäftigte mit unterschiedlichen beruflichen und akademischen Qualifikationen. (Kapitel 2.1.2)

Was lässt sich aus der wissenschaftlichen Literatur über die Veränderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0 ableiten?

Die tatsächliche Varianz der Kombinationen aus Technologieeinsatzvarianten und Organisationsformen dürfte die stärksten Auswirkungen auf den Anteil und die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten der mittleren Qualifikationsebene haben. Ein Teil der Tätigkeiten der Mittelqualifizierten, wie etwa bestimmte Kontroll- und Steuerungsaufgaben, werden möglicherweise vollständig substituiert oder automatisiert. (Windelband & Dworschak, 2018, S. 69)

Ein Teil der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gehört zu dieser mittleren Qualifikationsebene, für die diese Veränderungen erwartet werden. Gronau (2015) geht davon aus, dass durch die zunehmende Selbstorganisation des cyber-physischen Produktionssystems einige heutige Aufgaben der Produktionssteuerung nicht mehr vom Menschen ausgeführt werden müssen. Beispielsweise wird seiner Ansicht nach die Feinplanung der Aufträge nicht mehr notwendig sein. Diese Aufgabe soll das cyber-physische Produktionssystem selbstständig übernehmen können. Demgegenüber stehen neue Aufgabenschwerpunkte für die Beschäftigten wie Wartung und Störungsbeseitigung am Produktionssystem. (S. 19) Auch Gorecky et al. (2014) prognostizieren selbstorganisierende Produktionsprozesse. Der Mensch soll die übergeordnete Produktionsstrategie festlegen, die Umsetzung der Produktion überwachen und in Ausnahmefällen als kreativer Problemlöser eingreifen. (S. 526 f.) Auch Hirsch-Kreinsen (2015) erläutert die Veränderungen in der Fabrikorganisation und die sich möglicherweise ändernden Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung:

1. Die Selbstorganisation der Systeme und Veränderungen in der Arbeitsorganisation könnten dazu führen, dass Planungs- und Steuerungsaufgaben von der technischen Produktionsplanung und -steuerung in die operativen Bereiche verlagert werden.
2. Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung könnten vereinfacht oder substituiert werden.
3. Es könnten Aufgaben und neue Qualifikationsanforderungen hinzukommen. Etwa die kurzfristige Behebung von Störungen oder eine weitere Verzahnung mit Aufgaben der Informationstechnologie. (S. 92 f.)

Westkämper & Bauernhansl (2014) gehen noch einen Schritt weiter und fassen die Entwicklungen wie folgt zusammen: „Ein noch höherer Grad der Dezentralisierung sowie Informationen in Echtzeit, getrieben durch den Einsatz cyber-physischer Sys-

teme, bilden die Basis für eine massive Veränderung der Produktionsplanung und Steuerung“ (Westkämper & Bauernhansl, 2014, S. 21). In einer Studie von Lewalder et al. (2019) wurde die Ersetzbarkeit verschiedener Berufe im Zuge der Digitalisierung der Arbeitswelt untersucht. Dabei wurde untersucht, ob die Tätigkeit der Beschäftigten programmierbare oder kreative und interaktive Aufgaben umfasst. Die Berufshauptgruppe „27 Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“ liegt leicht unter dem Durchschnitt. In diesen Berufen liegt der durchschnittliche Anteil der Beschäftigten mit hoher Substituierbarkeit bei 20,6 Prozent, der Durchschnitt über alle untersuchten Branchen und Berufe liegt bei 26,53 Prozent. (S. 25)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Forschung in den Ingenieur- und Sozialwissenschaften einig ist: Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind im Zuge der digitalen Transformation in der Industrie mit umfassenden Veränderungen konfrontiert. Wie lange es dauern wird, bis eine Selbstorganisation der Systeme die Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wesentlich verändern wird, bleibt m. E. fraglich. Eine weitere Durchdringung mit Informationstechnologien oder eine Vereinfachung der Aufgaben erscheint mittelfristig m. E. schon wahrscheinlicher. Auch wenn in der technischen Produktionsplanung und -steuerung keine Berufe gänzlich verschwinden, werden sich die Aufgabenprofile der Beschäftigten verändern. Grundsätzlich scheinen vor allem Beschäftigte mit Aufgaben in der kurzfristigen Produktionsplanung und -steuerung von Veränderungen betroffen zu sein.

Auch übergreifende empirische Studien deuten auf Veränderungen im Arbeitsumfeld hin. Brenscheidt et al. (2020) berichten über die BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 (Kapitel 2.2.1, Abbildung 14). Fast die Hälfte der Beschäftigten mit Meister- oder Technikerabschluss, vergleichbarem oder höherem Abschluss berichtet von der Einführung neuer Software. Aber auch neue Fertigungs- oder Verfahrenstechnologien oder Maschinen und Anlagen werden in umfassender Weise in die Produktion integriert. (S. 32) Diese Ergebnisse verdeutlichen die Dynamik des Wandels in der industriellen Produktion. Wie genau sich diese Veränderungen auf die beruflichen Anforderungen der Beschäftigten in der Produktionsplanung und -steuerung auswirken, darüber geben diese ersten Prognosen und Befunde noch wenig Aufschluss.

Im Folgenden wird anhand ausgewählter Studien ein Überblick über die im Kontext von Industrie 4.0 zu erwartenden Veränderungen der Arbeitsanforderungen an Beschäftigte in der industriellen Produktion erarbeitet (Tabelle 7).

Tabelle 7: Ausgewählte Studien zur Aus- und Weiterbildung in Industrie 4.0 (Quelle: Eigene Darstellung³)

Autoren	Methodik	Bereich	Veränderungen von beruflichen Anforderungen
Pfeiffer, 2015	Sekundär-analyse	Industrielle Produktionsarbeit, System der dualen Aus- und Weiterbildung (branchen-übergreifend)	<i>Qualifikationsanforderungen:</i> Social Media und mobile Geräte, cyber-physische Systeme und das Internet der Dinge, Robotik und additive Verfahren, Wearables und Big Data; querliegende Kompetenzanforderungen wie inter- und transdisziplinäre Kollaboration oder Improvisationsfähigkeit
Acatech, 2016	Online-Umfrage, leitfadengestützte Expertenbefragung	Kleine und mittlere Unternehmen (branchen-übergreifend)	<i>Zukünftige Qualifizierungsbedarfe:</i> Datenauswertung und -analyse, Prozessmanagement und Prozess-Know-how, interdisziplinäres Denken und Handeln, breit angelegtes Wissen und Können im Bereich der Informationstechnologie
Pfeiffer et al., 2016	Sekundäranalyse, qualitative und quantitative Expertenbefragung	Aus- und Weiterbildung, gewerblich-technische Berufe, akademische Bildung der MINT-Bereiche (Maschinen- und Anlagenbau)	<i>Qualifikations- und Kompetenzanforderungen:</i> Fachliche Anforderungen: Web 2.0/mobile Geräte, Cyber-Physical-Systems/Internet of Things, additive Verfahren, Robotik, Wearables und Augmentation; <i>Querkompetenzen:</i> Datenschutz/Privacy, Umgang mit Big Data, interdisziplinäre Zusammenarbeit, Gestaltung von Innovation
Bughin et al., 2018	Qualitative und quantitative Expertenbefragung	Vergleich von 25 Fähigkeiten heute und im Jahr 2030 (branchen- und länderübergreifend)	<i>Qualifikationsbedarfe:</i> <i>Rückgang:</i> Körperliche und manuelle Fertigkeiten, grundlegende kognitive Fähigkeiten <i>Erhöhung:</i> Soziale und emotionale Fähigkeiten, technologische Fähigkeiten ⁴
Ahrens et al., 2018	Arbeitsprozessanalysen durch Fallstudien, teilnehmende Beobachtung und leitfadengestützte Interviews	Fachkräfte mit technischer Ausbildung (Hella Fahrzeugkomponenten GmbH), Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- oder Technikerprüfung (Bayer Pharmaceutical)	<i>Fachliche Herausforderungen und Kompetenzanforderungen:</i> Fachkräfte mit technischer Ausbildung (Hella Fahrzeugkomponenten GmbH): Störungsanalyse und -behebung an hochautomatisierten Anlagen Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- oder Technikerprüfung (Bayer Pharmaceutical): Entwicklung eines Anlagenverständnisses (Mechanik, Elektronik und IT), projektorientiertes Arbeiten
Baumhauer et al., 2019	Experteninterviews	Produktionsfacharbeit (Chemische Industrie)	<i>Qualifikations- und individuelle Entwicklungsbedarfe:</i> Allgemein: Antizipationsfähigkeit und Problemlösekompetenz zur Störungsanalyse und -behebung bei automatisierten Produktionsanlagen, spezifisches Prozesswissen, überfachliche Kompetenzen Neue Rolle der operativen Führung: Führungs- und Kommunikationskompetenzen, umfassendes Anlagen- und Prozesswissen

3 Die Darstellung der Untersuchungen erfolgt in chronologischer Reihenfolge. Um auch die Heterogenität der Ergebnisse zu verdeutlichen, wurden die Veränderungen beruflicher Anforderungen meist wörtlich aus den jeweiligen Untersuchungen übernommen.

4 Für die vorliegende Arbeit wurden nur die Ergebnisse aus dem Bereich Manufacturing einbezogen.

(Fortsetzung Tabelle 7)

Autoren	Methodik	Bereich	Veränderungen von beruflichen Anforderungen
Zinke, 2019	Berufescreening Fallbeispiele	12 verschiedene Ausbildungsberufe (branchenübergreifend)	<i>Kompetenzen – Zuwachs und aktuelle Relevanz:</i> Lernkompetenz, berufsspezifisches Wissen und Können, Prozess-/Systemverständnis, digitale Kompetenzen (digitale Technologien/IT-Kenntnisse, Softwarekenntnisse), Flexibilität/Spontaneität.
Suessenbach et al., 2021	Online-Befragung	Fachkräfte (Unternehmen und Behörden des öffentlichen Sektors)	<i>Kompetenzen für die Zukunft:</i> <i>Technologische Kompetenzen:</i> Data Analytics & KI, Softwareentwicklung, nutzerzentriertes Design, IT-Architektur, Hardware-/Robotikentwicklung, Quantencomputing; <i>Klassische Kompetenzen:</i> Lösungsfähigkeit, unternehmerisches Handeln & Eigeninitiative, Resilienz, Kreativität, interkulturelle Kommunikation; <i>Transformative Kompetenzen:</i> Dialog- und Konfliktfähigkeit, Urteilsfähigkeit, Innovationskompetenz, Veränderungsfähigkeit, Missionsorientierung; <i>Digitale Schlüsselkompetenzen:</i> Digital Literacy, Digital Learning, digitale Kollaboration, agiles Arbeiten, Digital Ethics

Pfeiffer (2015) berichtet in ihrem Beitrag „Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung“ über eine Untersuchung der Veränderungen von Wissen und Können und der Qualifizierung im Kontext von Industrie 4.0. Der Beitrag entstand im Rahmen eines gemeinsamen Projektes des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung und des Austrian Institute of Technology. Im Mittelpunkt der Studie steht das System der gewerblich-technischen Aus- und Weiterbildung in Deutschland und Österreich. Die Untersuchung basiert auf einer Sekundäranalyse mehrerer ausgewählter Statistiken und einer Analyse der Fachliteratur. Pfeiffer stellt fest, dass es zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit nur sehr übergreifende Studien gibt und keine Untersuchungen zu den Auswirkungen der Veränderungen durch Industrie 4.0 auf konkrete Tätigkeiten, Arbeitsplätze oder Qualifikationsniveaus vorliegen. Sie führt weiter aus, dass zwar einige Curricula und Berufsbilder in die Analysen einbezogen werden, insgesamt aber noch erheblicher Forschungsbedarf im Umfeld von Industrie 4.0 und Bildung besteht. Die Entwicklung von Wissen und Können auf dem Weg zur Industrie 4.0 bedarf einer differenzierten Betrachtung. Ein Bündel von Veränderungsoptionen wird vorgestellt. Ein erster Lösungsvorschlag ist die Definition von vier qualifikationsrelevanten Dimensionen von Industrie 4.0:

- Umgang mit Social Media und mobilen Geräten in der Produktion
- Vernetzung in der Produktion erfordert schnell wandelndes IT-Wissen
- Einführung neuer Produktionstechnologien wie Robotik und additive Verfahren
- Vernetzung des Menschen mit dem System durch Wearables

Neben diesen vier Dimensionen hält Pfeiffer auch die Förderung von fächerübergreifenden Fähigkeiten wie Kollaborationsfähigkeit, Improvisationsfähigkeit und den Ausbau von Wissen und Können im Bereich der Informationstechnologie für notwendig.

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind m. E. Teil des untersuchten Feldes, da der Zugang zu diesen Berufen in der Regel ebenfalls über das System der dualen Aus- und Weiterbildung erfolgt (Kapitel 2.1.2). Aufgrund der Breite des untersuchten Feldes kann die Studie m. E. nur allgemeine Veränderungstendenzen für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aufzeigen. Wie Pfeiffer zu Recht und sehr früh in der Diskussion um Industrie 4.0 anmerkt, ist es notwendig, die Untersuchungen auf konkrete Tätigkeiten, Arbeitsplätze oder Berufe einzugrenzen.

Acatech (2016) berichtet in ihrem Positionspapier „Kompetenzen für Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze“ über die Ergebnisse einer Unternehmensbefragung von Oktober 2015 bis Januar 2016. In der Befragung wurde der Umsetzungsstand von Industrie 4.0 in den Unternehmen ermittelt und die damit verbundenen Qualifizierungsbedarfe identifiziert. Die Untersuchung konzentrierte sich auf kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland. In den befragten Unternehmen besteht noch ein großes Potenzial für die Implementierung digitaler Technologien in die Arbeitsprozesse. Für die Erfüllung der Arbeitsaufgaben erscheinen in Zukunft, insbesondere umfassendes Prozess-Know-how, interdisziplinäres Denken und Handeln sowie breite IT-Kompetenzen relevant. Als Ansatzpunkte für die Förderung von Wissen und Können sollen sowohl bestehende Instrumente als auch neue Möglichkeiten genutzt werden. Neue Möglichkeiten könnten z. B. Lernfabriken oder virtuelle Simulationen sein. Vor allem die Menschen, die die Technologien einsetzen und nutzen, müssen ein umfassendes Verständnis entwickeln. Nur in sehr komplexen Fällen sollten entsprechende Aufgaben an Fachleute wie Data Scientists delegiert werden. Auch diese Studie lässt m. E. nur Trends des Wandels, aber keine direkten Rückschlüsse auf Veränderungen für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu. In der vorliegenden Studie werden keine konkreten Berufe oder Aufgaben untersucht, das Untersuchungsfeld erstreckt sich über alle Unternehmensebenen. „Dabei stehen alle Akteure im Unternehmen von der Geschäftsleitung, welche die strategischen Entscheidungen im Betrieb treffen, bis hin zu den operativ beschäftigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf dem Hallenboden im Fokus.“ (Acatech, 2016, S. 16)

Im Auftrag des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. haben Pfeiffer et al. (2016) die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Qualifikationsanforderungen im deutschen Maschinen- und Anlagenbau untersucht. Einen Überblick über das Forschungsprojekt haben sie in „Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025“ veröffentlicht. In dieser Studie wurden die Anforderungen an die berufliche Aus- und Weiterbildung in gewerblich-technischen Berufen und an die akademische Bildung in naturwissenschaftlich-technischen Bereichen untersucht. Ziel der Untersuchung war es, die aktuelle betriebliche Ausgangssituation zu bewerten und Entwicklungspotenziale bis zum Jahr 2025 aufzuzeigen. Dazu wurde zunächst eine Sekundäranalyse durchgeführt. Anschließend erfolgte eine qualitative Datenerhebung in vier Unternehmen mittels Einzelinterviews, Gruppendiskussionen und Betriebsbegehungen. Abschließend wurde eine quantitative Online-Befragung im Netzwerk des Maschinen- und An-

lagenbaus durchgeführt. Die Beschäftigten in den befragten Unternehmen sind formal hervorragend qualifiziert. Auch die informellen Fähigkeiten der Beschäftigten sind gut ausgeprägt. Die Unternehmen haben die Entwicklung zur Industrie 4.0 begonnen und sehen sich in einer vergleichsweise guten Ausgangsposition. Als wichtige Ansatzpunkte werden die weitere Vernetzung einzelner Maschinen mit dem Internet, das Web 2.0 und Robotik identifiziert. Die bestehenden Berufsbilder scheinen den Herausforderungen und Qualifikationsanforderungen weitgehend gerecht zu werden. Sie müssen nur geringfügig angepasst werden. Die Verknüpfung von Arbeit und Bildung wird zunehmen. Einzelne Aus- und Weiterbildungskonzepte wie der Meisterabschluss könnten an Bedeutung verlieren, aber das Bildungssystem wird als stabil und den Herausforderungen gewachsen eingeschätzt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf webbasierten Lernmodulen zur Unterstützung der Aus- und Weiterbildung. Unternehmen und Hochschulen müssen ihren Beitrag für eine zukunftsfähige Bildung im Kontext von Industrie 4.0 leisten. Die Verantwortung für das Lernen und die Nutzung vorhandener digitaler Lernangebote bleibt bei jedem Individuum selbst. Auch in dieser Studie wurde m. E. ein sehr weites Feld untersucht, aus dem sich nur schwer Aussagen über einzelne Tätigkeiten oder Berufe ableiten lassen. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen beruflich Qualifizierte aus dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau. Die Berufe der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurden vermutlich sogar weitgehend aus der Untersuchung ausgeschlossen, weil zum Befragungszeitpunkt zu wenig Wissen über Veränderungen außerhalb der Produktion vorlag. „Und auch die kaufmännischen Berufe sowie indirekte betriebliche Funktionsbereiche in Logistik, Planung etc. mussten ausgeklammert bleiben, hier ist der generelle Forschungsstand – insbesondere mit Blick auf den Maschinen- und Anlagenbau – noch wenig ausgereift.“ (Pfeiffer et al., 2016, S. 18)

Bughin et al. (2018) haben eine Untersuchung zu den bis 2030 erforderlichen Fähigkeiten durchgeführt und die Ergebnisse in „Skill shift: Automation and the future of the workforce“ veröffentlicht. Ziel der Untersuchung war es, Veränderungen in der Dauer der zeitlichen Anwendung einzelner Fähigkeiten zwischen heute und 2030 festzustellen. Zunächst wurden insgesamt 25 verschiedene Fähigkeiten definiert. Ermittelt wurde die Zeit, in der die Fähigkeiten heute im Arbeitsumfeld eingesetzt werden. Anschließend wurden die Veränderungen durch Automatisierung und die Nachfrage nach Fähigkeiten im Jahr 2030 prognostiziert. Im nächsten Schritt wurde eine quantitative Befragung von über 3000 Unternehmensvertretern aus Kanada, den USA, Frankreich, Deutschland, Italien, Spanien, Großbritannien und Nordirland durchgeführt. Abschließend wurden Interviews mit Unternehmensvertretern geführt, um die Unterschiede zwischen den aktuell benötigten Fähigkeiten und den im Jahr 2030 benötigten Fähigkeiten zu bestimmen. In allen Branchen besteht die größte Nachfrage nach IT-Grundkenntnissen und spezialisierten Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Technologien auf Expertenniveau. Die Arbeit wird zunehmend in funktionsübergreifenden Teams stattfinden und erfordert mehr soziale und persönliche Fähigkeiten. Ähnliches gilt für den Produktionssektor. Aber auch höhere kognitive Fähigkeiten wie Kreativität und komplexe Informationsverarbeitung werden in Zukunft immer wichtiger. Ein höherer Bedarf wird auch für soziale und emotionale Kompetenzen erwartet.

Insbesondere Anpassungsfähigkeit, fortgeschrittene Kommunikations- bzw. Verhandlungsfähigkeiten, Führung und Management scheinen an Bedeutung zu gewinnen. Die beteiligten Unternehmen gehen davon aus, dass der Wettbewerb um gut ausgebildete Fachkräfte zunehmen wird. Durch Automatisierung ersetzbare Tätigkeiten sehen die befragten Unternehmen vorwiegend im Bereich der weniger spezialisierten Einfacharbeit. Diese Studie wurde m. E. auf einem sehr hohen Abstraktionsniveau durchgeführt. Es wurden 3000 Vertreter aus verschiedenen Unternehmen und Ländern befragt. Dies lässt nur sehr allgemeine Tendenzen zu. Es lässt sich nicht eindeutig ableiten, welches Wissen und Können in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zukünftig wichtiger wird.

Im Projekt „Professio – Berufliche Professionalität im produzierenden Gewerbe“ haben Ahrens et al. (2018) untersucht, wie mediengestützte Lernformate die Verbindung von Arbeiten und Lernen unterstützen können. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden in der Studie „Herausforderungen und Chancen betrieblicher Weiterbildung in digitalisierten Arbeitswelten“ veröffentlicht. Als betriebliche Kooperationspartner standen die Hella Fahrzeugkomponenten GmbH und die Bayer AG – Pharmaceutical Division zur Verfügung. Bei der Hella Fahrzeugkomponenten GmbH wurde der Bereich der technischen Fachkräfte untersucht. In der Pharmaceutical Division der Bayer AG wurden Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- und Technikerprüfung und Personalverantwortung im Engineering untersucht. Die Arbeitsprozesse der Projektbeteiligten wurden analysiert, um Abläufe, Aufgaben, Organisationsstrukturen und Herausforderungen zu identifizieren. Die Untersuchung der Arbeitsprozesse erfolgte durch Fallstudien, teilnehmende Beobachtung und leitfadengestützte Interviews. Abschließend wurden die Ergebnisse in Facharbeiter-Experten-Workshops validiert. Beim Kooperationspartner Hella Fahrzeugkomponenten GmbH stellte sich vordergründig die Behebung von Anlagenstörungen als relevantes Handlungsfeld heraus. Die Herausforderung für die Beschäftigten besteht darin, ein übergreifendes Anlagenverständnis für mechanische, elektronische und informationstechnische Systeme zu entwickeln. Die Beschäftigten des Kooperationspartners Bayer AG sind mit der Problematik konfrontiert, dass neben dem Tagesgeschäft zunehmend projektorientiertes Arbeiten hinzukommt. Vor allem die methodischen und sozialen Kompetenzen müssen weiter entwickelt werden. Aber auch für diese Beschäftigten ist der Umgang mit komplexen automatisierten Anlagen eine relevante Herausforderung. Für die Problemlösung an diesen Anlagen ist ein umfassendes Anlagenverständnis (Mechanik, Elektronik und IT) erforderlich. In der Untersuchung von Ahrens et al. wurden einzelne Beschäftigungsgruppen und ihre Aufgaben und Herausforderungen untersucht. Ein Vorgehen auf dieser Abstraktionsebene erscheint m. E. geeignet, Handlungsoptionen für diese Beschäftigten und für die Unternehmen abzuleiten. Die Untersuchung von Ahrens et al. bietet nicht nur konzeptionell, sondern auch inhaltlich Anknüpfungspunkte für diese Untersuchung. Mit den Beschäftigten mit Meister- und Technikerprüfung aus dem Engineering der Bayer AG wurden Beschäftigte der mittleren Qualifikationsebene außerhalb der Produktion untersucht. Ferner stehen diese Beschäftigten vermutlich auch den Herausforderungen als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie gegenüber. Die dokumentier-

ten Befunde reichen jedoch nicht aus, um gezielt Einzelaspekte abzuleiten oder gar die Forschungslücke der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu schließen. Es ist anzunehmen, dass sich die Aufgaben und das Wissen und Können dieser Führungskräfte in der pharmazeutischen Industrie deutlich von denen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in der Metall- und Elektroindustrie unterscheiden.

In dem von der Hans-Böckler-Stiftung geförderten Forschungsprojekt „Lernort Betrieb 4.0“ wurden die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Betriebe und Unternehmen der chemischen Industrie untersucht. In dem Arbeitspapier „Produktionsfacharbeit in der chemischen Industrie: Auswirkungen der Digitalisierung aus Expertensicht“ berichten Baumhauer et al. (2019) exemplarisch über eine empirische Exploration des Untersuchungsfeldes. Dazu wurden fünf Experteninterviews mit Personen aus der Wissenschaft und der Sozialpartner der chemischen Industrie geführt. Ergänzend zu den Interviewfragen wurden zwei Zukunftsszenarien zur Mensch-Maschine-Kooperation vorgestellt und diskutiert. Die Experten sind sich einig, dass der Wandel zur Industrie 4.0 gestaltbar ist und gestaltet werden muss. Sie gehen von einer körperlichen Entlastung der Beschäftigten aus. Die mentalen Anforderungen hingegen werden ihrer Einschätzung nach steigen. In einer Industrie 4.0 wird eine wesentliche Tätigkeit von Fachkräften in der chemischen Industrie darin bestehen, Störungen an komplexen Anlagen beheben zu können. Dazu sind zunehmend theoretisch-analytische Fähigkeiten erforderlich. Durch die Zunahme kooperativer Arbeitsformen und die zunehmende Vernetzung der Anlagen scheint zukünftig, vorwiegend die Rolle der Teamleitung in der Produktion an Bedeutung zu gewinnen. Für diese Rolle müssen die sozialen und fachlichen Fähigkeiten weiter ausgebaut werden. Die Digitalisierung der Arbeitswelt bietet Möglichkeiten, Lernen in den Arbeitsprozess zu integrieren. Im Rahmen der Initiative „Berufsbildung 4.0“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) wurden Berufe im Hinblick auf die Auswirkungen der Digitalisierung untersucht. Die Ergebnisse wurden von Zinke (2019) in der übergreifenden Gesamtstudie „Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Branchen- und Berufscreening“ veröffentlicht. Die Studie gibt Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der Aus- und Weiterbildung und der notwendigen Rahmenbedingungen. Zwölf Ausbildungsberufe wurden durch Beobachtungen und Experteninterviews analysiert. Für jeden der Berufe wurden verschiedene Fallbeispiele untersucht, in denen die Beschäftigten mit Situationen und Aufgaben im Bereich der Digitalisierung in Kontakt kommen. Die Einzelstudien wurden zu dieser Gesamtstudie zusammengeführt. In allen Einzelstudien wurden Literatur-, Dokumenten- und Datenanalysen durchgeführt, um den aktuellen Stand der Forschung zu ermitteln. Ebenso wurde für jeden Beruf eine quantitative Online-Befragung durchgeführt, um die Ergebnisse der einzelnen Screenings und der Literaturanalyse zu verifizieren. Alle untersuchten Berufe sind von der Digitalisierung betroffen, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Die Umsetzung der Vision von Industrie 4.0 steht bei den meisten Tätigkeiten in diesen Berufen noch am Anfang. Tendenziell nehmen Routineaufgaben ab und komplexe Aufgaben zu. Die Digitalisierung verändert die Berufe überwiegend

langsam und schrittweise. Die Beschäftigten haben somit die Chance, sich mit den Veränderungen und mit ihrem Berufsbild weiterzuentwickeln. Dazu müssen sie sich kontinuierlich neue berufsspezifische Kompetenzen aneignen, um den veränderten Arbeitsaufgaben gerecht zu werden. Die Studie zeigt, dass die Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte steigen. Insbesondere Lernfähigkeit, berufsspezifisches Wissen und Können, Prozess-/Systemverständnis, digitale Kompetenzen (digitale Technologien/IT-Kenntnisse, Softwarekenntnisse) und Flexibilität scheinen in Zukunft noch wichtiger zu werden. Die betriebliche Ausbildung wird von einigen der befragten Unternehmen kurzfristig an sich verändernde Bedingungen angepasst. Eine Verschiebung der Aufgaben zwischen Fachkräften und An- und Ungelernten oder zwischen Fachkräften und Hochschulabsolventen konnte nicht festgestellt werden. In den Studien von Baumhauer et al. und Zinke wurden einzelne Ausbildungsberufe untersucht. Diese Analysen liefern m. E. wertvolle Erkenntnisse für die Gestaltung der Ausbildung heute und in Zukunft. Für die Fragestellung und den Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit lassen sich jedoch keine Ergebnisse ableiten. Es wurden keine Ausbildungsberufe untersucht, aus denen ein Großteil der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung hervorgehen, z. B. aus Ausbildungsberufen aus der Maschinen- und Fahrzeugtechnik. Aus den untersuchten Ausbildungsberufen lassen sich keine direkten Rückschlüsse auf die Erwerbsberufe der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ziehen.

Kirchherr et al. (2018) und Suessenbach et al. (2021) haben im Rahmen der Initiative „Future Skills“ 21 Kompetenzen identifiziert, die in Zukunft an Bedeutung gewinnen könnten. Die Ergebnisse basieren auf einer im Juli und August 2021 online durchgeführten Befragung von 377 Unternehmen und 123 Behörden in Deutschland. Die 21 Kompetenzen werden in die vier Kategorien technologische Kompetenzen, digitale Schlüsselkompetenzen, klassische Kompetenzen und transformative Kompetenzen unterteilt. Klassische Kompetenzen wie Lösungsfähigkeit, unternehmerisches Handeln und Eigeninitiative oder Resilienz werden im Jahr 2021 als am wichtigsten eingeschätzt. Auch zukünftig gewinnen diese klassischen Kompetenzen weiter an Bedeutung. Transformative Kompetenzen wie Dialog- und Konfliktfähigkeit, Urteilsfähigkeit, Innovationskompetenz und Veränderungsfähigkeit werden auch heute als wichtig erachtet. Digitale Schlüsselkompetenzen sind heute im Vergleich zu klassischen Kompetenzen und transformative Kompetenzen aktuell weniger relevant, werden aber zukünftig immer wichtiger. Technologische Skills werden erheblich an Bedeutung gewinnen. Als technologische Skills werden IT-Architektur, nutzerzentriertes Design, Data Analytics & KI, Softwareentwicklung, Hardwareentwicklung und Quantencomputing zusammengefasst. Auch in dieser Erhebung wurde ein sehr breites Feld untersucht. Neben Unternehmen aus allen Branchen wurden auch Behörden in die Untersuchung einbezogen. Wie in früheren, ähnlich breit angelegten Studien können m. E. auch aus den Untersuchungen von Kirchherr et al. und Suessenbach et al. nur Tendenzen abgeleitet werden, aber keine konkreten Aussagen zu einzelnen Aufgaben, Berufen oder Berufsgruppen, wie den Berufen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gemacht werden.

Zwischenfazit

In den ausgewählten Untersuchungen wurden Arbeits- und Qualifikationsanforderungen der Beschäftigten im Kontext von Industrie 4.0 betrachtet. Untersucht wurden Beschäftigtengruppen unterschiedlicher Größe und Zusammensetzung. So bezieht sich etwa die Untersuchung von Acatech (2016) auf Beschäftigte in kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland. In anderen Studien werden noch größere Beschäftigtengruppen betrachtet. Untersuchungen sind branchen- und länderübergreifend angelegt (Bughin et al., 2018) oder beziehen auch Behörden mit ein (Kirchherr et al., 2018; Suessenbach et al., 2021). In den Untersuchungen werden unterschiedliche Schlussfolgerungen hinsichtlich der zukünftigen Arbeitsanforderungen und der benötigten Qualifikationen gezogen. Generell scheint technologisches Wissen und Können wichtiger zu werden. Die Relevanz von Wissen und Können im Bereich der Informationstechnologie wird in den Studien mit unterschiedlichen Schwerpunkten am häufigsten genannt. Welches Wissen und Können genau benötigt wird, darüber gehen die Meinungen der Fachleute auseinander. Ebenso wird auch fachübergreifendes Wissen und Können als wichtig erachtet. Auch darüber, welche Aspekte heute wichtig sind oder in Zukunft wichtiger werden, gibt es unterschiedliche Sichtweisen und Ergebnisse. Die Aufgaben und Qualifikationsanforderungen sind je nach Beruf und den einzelnen Aufgaben der Beschäftigten in der Praxis sehr unterschiedlich. Dieser breite Ansatz zeigt allgemeine Tendenzen auf, lässt aber nur sehr abstrakte Aussagen über eine bestimmte Tätigkeit oder eine konkrete Berufsgruppe zu. Es konnten jedoch auch Studien gefunden werden, in denen die Anforderungen an enger gefasste Beschäftigtengruppen analysiert wurden. Ahrens et al. (2018) haben die Beschäftigungsgruppe auf einzelne Unternehmensbereiche beschränkt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können jedoch aufgrund des anderen Untersuchungsfeldes (Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- und Technikerprüfung und Personalverantwortung der pharmazeutischen Industrie und technische Fachkräfte der Automobilindustrie) nicht direkt auf die vorliegende Arbeit übertragen werden. Die Anforderungen an Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie dürften sich deutlich unterscheiden. Bei einer Beschränkung auf eine unternehmenstypische Beschäftigtengruppe stellt sich zudem die Frage, inwieweit die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Unternehmen übertragbar sind. Es gibt kaum Studien, in denen empirische Daten zu den Veränderungen der Aufgaben und des dafür notwendigen Wissens und Könnens im Kontext von Industrie 4.0 beschränkt auf Berufsgruppen oder einzelne Erwerbsberufe erhoben wurden. Auch Pfeiffer (2015) und Gerholz & Dormann (2017) weisen auf Forschungsbedarf in einem enger eingegrenzten Bereich hin. Gerholz & Dormann stellen fest, dass im Kontext von Industrie 4.0 zwar häufig übergreifende Kompetenzanforderungen formuliert werden, aber in keiner Studie eine spezifische Domäne oder ein Berufsfeld analysiert wird (S. 7). Diese Tendenz hat sich seit 2017 kaum verändert. Nach wie vor gibt es in diesem Kontext nur sehr wenige empirische Untersuchungen zu den Veränderungen in den Erwerbsberufen oder Berufsfeldern.

Anders verhält es sich bei Untersuchungen zu Veränderungen im Zusammenhang mit Ausbildungsberufen. Ausbildungsberufe beziehen sich auf eine konkrete Ausbildung mit festgelegten Ordnungsmitteln, welche Qualifikationen im Rahmen der Ausbildung erworben werden sollen. In einem Teil der Studien wurde eine Eingrenzung auf Ausbildungsberufe vorgenommen (u. a. Baumhauer et al., 2019). Aufgrund der Nähe zum Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit sind insbesondere die Veränderungen der beruflichen Anforderungen in den M+E-Ausbildungsberufen relevant. Diese Veränderungen wurden u. a. in drei Studien untersucht und die Ausbildungsberufe aufgrund dieser Erkenntnisse teilweise novelliert (Tabelle 8). Im Folgenden werden zunächst die beiden Studien betrachtet, die auf einen Veränderungsbedarf in den M+E-Berufen aufmerksam gemacht haben (bayme vbm, 2016; Zinke et al., 2017), bevor auf die Teilnovellierung der Berufe selbst eingegangen wird (Becker & Windelband, 2018; Müller, 2018). Anschließend wird die Evaluation der Teilnovellierung und die weitere Handlungsempfehlung betrachtet (Becker et al., 2022). Eine Verknüpfung mit den Berufen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erfolgt abschließend im Zwischenfazit.

Tabelle 8: Teilnovellierung der M+E Berufe (Quelle: Eigene Darstellung)

Autoren	Methodik	Bereich	Veränderungen von beruflichen Anforderungen
bayme vbm, 2016	Fallstudien, Expertenbefragung	Gewerblich technische Aus- und Weiterbildung (Metall- und Elektroindustrie in Bayern)	<i>Generische berufliche Handlungsfelder Industrie 4.0:</i> Simulation von cyber-physischen Produktionssystemen, Aufbau und Vernetzung von Produktionsanlagen, Sensor-, Aktor- und Prozessdaten in Produktionssystemen, Echtzeitdaten überwachen, analysieren und auswerten, Prozessüberwachung und Störungsbeseitigung, Betriebsdaten bewerten und Prozesse optimieren, vorausschauende Instandhaltung durch Nutzung verschiedener Daten, Instandhaltungs- und Reparaturaufgaben an vernetzten Anlagen, Störungssuche an den vernetzten Anlagen
Zinke et al., 2017	Interviews, Beobachtungen und Gruppendiskussionen	Fachkräfte mit Aufgaben zur Wartung und Instandhaltung von Produktionssystemen (Verschiedene Marken des Volkswagenkonzerns)	<i>Neue Positionen im Tätigkeitsprofil:</i> Produktionsnetzwerke (Profinet, Interbus) analysieren, diagnostizieren, überwachen, erweitern, ändern, parametrieren, IT-gestützte Fehlerdiagnosen an Systemen und Teilsystemen innerhalb von komplexen Automatisierungsanlagen durchführen, Funktionen und Bauteile identifizieren, zuordnen und überprüfen, Netzwerkstrukturen modellieren und skizzieren, IT-Hardware austauschen, erweitern und in Systeme integrieren, Visualisierungssysteme und -hilfen erstellen.
Becker et al., 2022	qualitative und quantitative Expertenbefragung	Gewerblich technische Aus- und Weiterbildung (Metall- und Elektroindustrie in Deutschland)	Aufgaben mit digitalisierten Werkzeugen erledigen, Produktionsanlagen über HMI bedienen, professioneller Umgang mit digitalisierten Medien, Bedienelementen und Arbeitsstrukturen, Aufgabenverschiebungen durch Verschmelzung und Vernetzung mechanischer, elektrotechnischer und informationstechnischer Anforderungen

In der Studie „Industrie 4.0 – Auswirkungen auf die Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie“ der bayerischen Metall- und Elektro-Arbeitgeberverbände bayme vbm (2016) wurde untersucht, wie sich die Anforderungen an Wissen und Können auf dem Weg zu Industrie 4.0 verändern. Zielgruppe der Untersuchung waren Beschäftigte im produktiven, gewerblich-technischen Bereich ohne akademische Ausbildung und Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- oder Technikerprüfung aus den Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie. Für diese Beschäftigten wurden mögliche Veränderungen durch Industrie 4.0 in der Produktion erarbeitet und die sich daraus ergebenden veränderten Anforderungen an Wissen und Können identifiziert. Die Studie wurde in vier Schritten durchgeführt. Zur Schaffung einer wissenschaftlichen Grundlage wurde zunächst eine Literaturanalyse durchgeführt. Der Literaturanalyse folgten Experteninterviews und Fallstudien in Unternehmen. Abschließend wurden die Ergebnisse in Expertenworkshops diskutiert. Die untersuchte Zielgruppe wird auf dem Weg zur Industrie 4.0 gute Beschäftigungschancen haben. Gänzlich neue Berufsbilder sind nicht erforderlich. Eine Überarbeitung der von Industrie 4.0 betroffenen Berufsbilder erscheint jedoch sinnvoll. Zusammenfassend wurde eine notwendige Anpassung der Ausbildung wie folgt gefordert:

D. h., es geht nicht nur um Veränderungen, um eine Anreicherung von Berufsbildern um Industrie 4.0-Inhalte, sondern es geht um deren Neuausrichtung mit einer Prozess- und Digitalisierungsperspektive, wobei die Vernetzung, die Digitalisierung der Prozesse und die Gestaltung intelligenter Arbeitsplätze im Mittelpunkt stehen müssen. Die aktuellen zukunfts offenen Berufsbilder erlauben zwar Ergänzungen, aber nicht einen Perspektivenwechsel. (bayme vbm, 2016, S. 4)

Es wurden die folgenden neun generischen Handlungsfelder erarbeitet, die bereits im Jahr 2016 durch Industrie 4.0 so beeinflusst werden, dass sich die Arbeitsanforderungen an die Beschäftigten verändern:

- Anlagenplanung
- Anlagenaufbau
- Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme
- Anlagenüberwachung
- Prozessmanagement
- Datenmanagement
- Instandhaltung
- Instandsetzung
- Störungssuche und Störungsbehebung

Diese Handlungsfelder wurden anschließend mit den Ordnungsmitteln der M+E-Berufe und zwei IT-Berufen verglichen. Dabei zeigte sich eine unterschiedliche Nähe der Berufe zu den Handlungsfeldern von Industrie 4.0 und damit eine unterschiedliche Dringlichkeit und Relevanz einer notwendigen Anpassung. (bayme vbm, 2016)

In einem gemeinsamen Projekt des BIBB und der Volkswagen Group Academy haben Zinke et al. (2017) die Berufe im Bereich der Wartung und Instandhaltung von

Produktionssystemen untersucht. Ziel des Projektes war es auch zu prüfen, ob aufgrund der Veränderungen durch Industrie 4.0 Handlungsbedarf für eine Novellierung der Ausbildungsberufe besteht. Es wurden die Arbeitsaufgaben und Tätigkeitsprofile in den Fachbereichen erfasst und mit den Profilen von Ausbildungsberufen verglichen. Daraus wurden Schlussfolgerungen für Veränderungen in der Ausbildung und in den Berufen abgeleitet. In der empirischen Untersuchung wurden folgende Ausbildungsberufe betrachtet:

- Mechatroniker/in
- Elektroniker/in für Betriebstechnik
- Elektroniker/in für Automatisierungstechnik
- Fachinformatiker/in für Systemintegration (Zinke et al., 2017, S. 22)

Zur Ermittlung der Arbeitsaufgaben und Tätigkeitsprofile wurden Hospitationen und leitfadengestützte Interviews mit Fach- und Führungskräften in Instandhaltungs- und Produktionsbereichen der fünf beteiligten Automobilhersteller (Volkswagen, Volkswagen Nutzfahrzeuge, Audi, Porsche und MAN) in Deutschland durchgeführt. Um Details zur Gestaltung der Ausbildung in der Praxis zu erheben, wurden Interviews und Gruppengespräche mit verschiedenen Verantwortlichen für die Berufsausbildung sowie Hospitationen in den Ausbildungsbereichen durchgeführt. Ergebnis dieser empirischen Erhebung ist u. a. das Tätigkeitsprofil für eine Instandhaltung 4.0. Die Ergebnisse wurden in Workshops mit Führungskräften des Volkswagenkonzerns und externen Fachleuten gemeinsam einer Evaluierung unterzogen. Das entwickelte Tätigkeitsprofil wurde anschließend von mehreren Fachleuten unabhängig voneinander mit den Berufsprofilen von Ausbildungsberufen (Mechatroniker/in, Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, Elektroniker/in für Automatisierungstechnik und Fachinformatiker/in für Systemintegration) verglichen. Überdies wurden Workshops durchgeführt, um die Erkenntnisse über das Tätigkeitsprofil und die Qualifikationsanforderungen weiter zu spezifizieren. Insgesamt wurden 15 Berufsbildpositionen identifiziert, die zukünftig für die Wartung und Instandhaltung von Produktionssystemen als relevant angesehen werden (Tabelle 9). Die Berufsbildpositionen sind entweder in den bestehenden Ordnungsmitteln der industriellen Metall- und Elektroberufe gänzlich neu, haben einen Anpassungsbedarf hinsichtlich informationstechnischer Aspekte oder sind in vergleichbarer Form bereits vorhanden.

Tabelle 9: Berufsbildpositionen einer Instandhaltung 4.0 (Quelle: Eigene Darstellung nach Zinke et al., 2017, S. 25)

Einordnung	Berufsbildpositionen
gänzlich neu	<ul style="list-style-type: none">• Produktionsnetzwerke (Profinet, Interbus) analysieren, diagnostizieren, überwachen, erweitern, ändern, parametrieren• IT-gestützte Fehlerdiagnosen an Systemen und Teilsystemen innerhalb von komplexen Automatisierungsanlagen durchführen (Funktionen und Bauteile identifizieren, zuordnen und überprüfen)• Netzwerkstrukturen modellieren und skizzieren• IT-Hardware austauschen, erweitern und in Systeme integrieren• Visualisierungssysteme und -hilfen erstellen

(Fortsetzung Tabelle 9)

Einordnung	Berufsbildpositionen
Anpassungsbedarf hinsichtlich informationstechnischer Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsanlagen (steuerungen) warten, instand halten, erweitern, testen und in Betrieb nehmen • Schnittstellen und Komponenten überprüfen • Betriebsdaten erfassen und verwalten • elektronische Bauteile (Sensoren/Aktoren/Antriebe) austauschen, verdrahten und integrieren • digitale Regelungstechniken anwenden • technische Informationssysteme nutzen • IT-gestützte Dokumentationssysteme nutzen (ändern/administrieren), strukturieren und verwalten, Daten archivieren
in vergleichbarer Form bereits enthalten	<ul style="list-style-type: none"> • mechanische Baugruppen montieren und demontieren • elektropneumatische, pneumatische und hydraulische Steuerungen aufbauen und prüfen • sich mit Dritten abstimmen, Hilfskräfte einweisen und anleiten.

Neben diesen Berufsbildpositionen werden auch überfachliche Fähigkeiten in Zukunft wichtig bleiben. So gewinnt z. B. die Selbstständigkeit an Bedeutung. Die Ausbildung in den untersuchten Berufen erfolgt bisher über einzelne fachspezifische Module hin zu einem Verständnis des Gesamtsystems. So wird das Wissen und Können z. B. in der Elektro- oder Metalltechnik isoliert vermittelt und erst am Ende der Ausbildung das Gesamtsystem betrachtet (z. B. die Problemlösung an einer Gesamtanlage). Hier wird für die Zukunft ein anderes Vorgehen empfohlen:

Ein Gegenentwurf dazu ist ein deduktiver Ansatz, der bereits an den Anfang der Ausbildung ein digitales Gesamtsystem stellt, das Modellcharakter für das berufliche Handeln hat. Systemzusammenhänge, Aufbau, Funktionsweisen, Störungen und Problemlösungen können hier exemplarisch gelehrt und gelernt sowie typische berufsbezogene Handlungsmuster zur Instandhaltung frühzeitig ausgeprägt werden. Vom System ausgehend lassen sich dann die Einzelkomponenten und Teilsysteme verstehen und innerhalb des Gesamtsystems nachvollziehen. Die informationstechnische Seite der Anlage rückt von Anfang an und stärker in das Zentrum des Lern- und später des Arbeitsprozesses. Durch die Informationstechnik, die z. B. Simulationen und die Nutzung mobiler Endgeräte ermöglicht, wird sich der/die Lernende verstärkt Kompetenzen aktiv erschließen. (Zinke et al., 2017, S. 50)

Es werden drei Vorschläge zur Neuordnung der Ausbildungsberufe vorgelegt:

- Neuer Ausbildungsberuf für das Tätigkeitsfeld Instandhaltung 4.0
- Novellierung der Berufe im Elektronikbereich und des/der Mechatronikers/ Mechatronikerin
- Zusatzqualifikationen (Zinke et al., 2017)

Im Jahr 2018 wurden die M+E-Berufe und der/die Mechatroniker/in teilnovelliert (u. a. Becker & Windelband, 2018; Müller, 2018). Die Teilnovellierung wurde auch aufgrund der Modernisierungserfordernisse für die M+E-Ausbildung (bayme vbm, 2016; Zinke et al., 2017) umgesetzt (Becker & Windelband, 2018, S. 15). Die im Rahmen der Studie

des bayme vbm erarbeiteten generischen Handlungsfelder bilden die Bezugspunkte dieser Überarbeitung (Spöttl, 2018, S.8). Der Vorschlag zur Teilnovellierung enthält neue Kernqualifikationen, geringfügige Anpassungen der Berufsbildpositionen und die Einführung kodifizierter Zusatzqualifikationen (Abbildung 15).

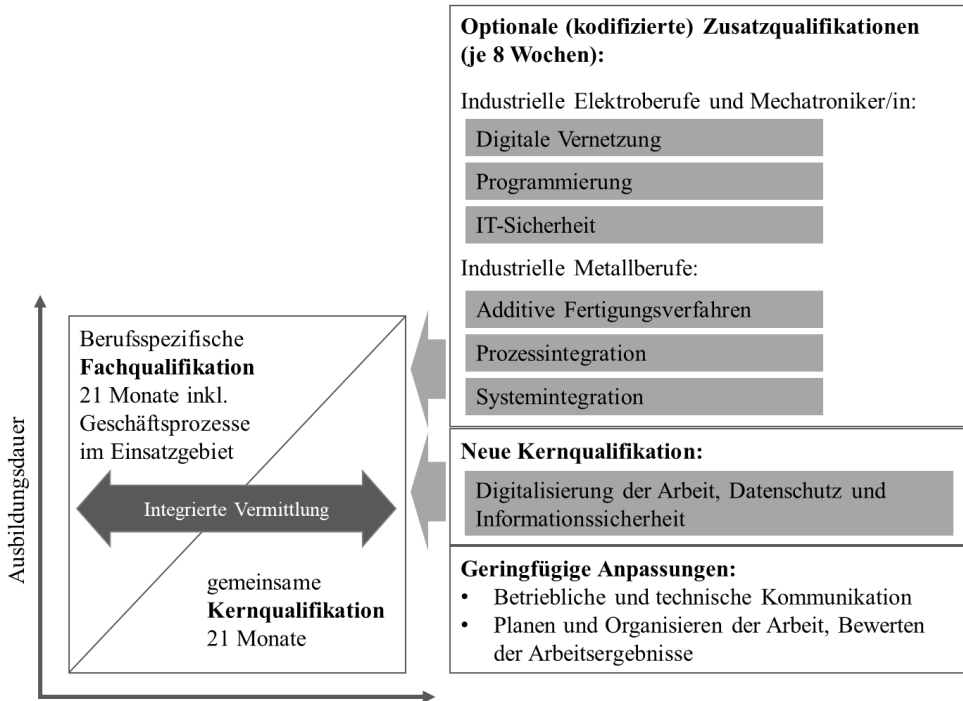


Abbildung 15: Vorschlag zur Teilnovellierung der M+E-Berufe (Quelle: Becker & Windelband, 2018)

Es wurde vorgeschlagen, die Ausbildung in den M+E-Berufen um die Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ zu erweitern. Ebenso wurden geringfügige Anpassungen der Berufsbildpositionen „Betriebliche und technische Kommunikation“ sowie „Planen und Organisieren von Arbeit, Bewerten der Arbeitsergebnisse“ vorgeschlagen, um den veränderten Qualifikationsanforderungen durch Industrie 4.0 gerecht zu werden. Zudem wurden kodifizierte Zusatzqualifikationen empfohlen, die eine Erweiterung des Ausbildungsberufsbildes ermöglichen (Becker & Windelband, 2018; Müller, 2018). Die Lösung und Umsetzung dieser Zusatzqualifikationen wird teilweise kritisch gesehen, u. a. unter den Aspekten der Zuordnung konkreter beruflicher Aufgaben und Arbeitsprozesse zu den Berufen und einer möglichen Fokussierung auf Unternehmen, die eine Vorreiterrolle in der Digitalisierung übernehmen (Becker & Windelband, 2018).

Becker et al. (2022) haben im Auftrag von Gesamtmetall evaluiert, wie diese Veränderungen in der Ausbildung der M+E-Berufe in der Praxis umgesetzt wurden, und sind der Frage nachgegangen, ob weiterer Entwicklungsbedarf besteht. Zur Erhebung

der empirischen Daten wurde ein Mixed-Method-Ansatz gewählt. Es wurde eine quantitative Unternehmensbefragung der Unternehmen in Deutschland durchgeführt. Diese wurde mit empirischen Fallanalysen, Experteninterviews und -workshops verknüpft. Im Fokus der Untersuchung standen Mitarbeitende in der Produktion und in der mittleren Beschäftigungsebene des produzierenden Gewerbes der Metall- und Elektroindustrie. 42 Prozent der Unternehmen haben in den vergangenen fünf Jahren ihre Ausbildungsinhalte an die Veränderungen durch die Digitalisierung angepasst. Die Anpassungen durch die Teilnovellierung der M+E-Berufe aus dem Jahr 2018 reichen nicht aus, um den veränderten Anforderungen durch Industrie 4.0 gerecht zu werden. Dies liegt auch an der Umsetzung der Neuordnungen in der Praxis. So ist etwa das Wissen um die Modernisierung der Ausbildung in den Betrieben noch ausbaufähig. Eine Empfehlung der Untersuchung ist eine erneute Novellierung der M+E-Berufe. Die verschiedenen M+E-Ausbildungsberufe sollen durch einen Ausbildungsberuf Industriemechatroniker/in nach folgendem Konzept ersetzt werden:

- Ausbildungsberuf mit gemeinsamen Kernqualifikationen und beruflich spezialisierenden Fachqualifikationen mit flexibler Ausrichtung auf Industriemechatronik sowie profilgebenden Handlungsfeldern wie Instandhaltung, Produktion, Fertigung und Konstruktion
- eine flexible, in Zeitrahmen gefasste Sequenzierung der Ausbildung in Form von Aufgaben in den beruflichen Handlungsfeldern
- Querschnittsqualifikation Elektro (Integration von Elektrofachkraft Industrie, optimierter Qualitätssicherung sowie Automatisierungs- und Vernetzungsaufgaben) und Aufgaben der Industriemechatronik im Berufsbild, IT bleibt eigenständiges Berufsfeld
- Prozessorientierung durch produktionsnahe Lernaufgaben – von einfachen zu komplexen Aufgaben mit Aufbau von Erfahrungswissen
- Leistungsschwächere haben durch Ausbildung an Aufgaben in beruflichen Handlungsfeldern verbesserte Chancen auf nachhaltige Beschäftigungsfähigkeit und Weiterbildung (Becker et al., 2022, S. 12)

Zwischenfazit zu den Untersuchungen und Entwicklungen der Ausbildung in den M+E-Berufen

Die Veränderungen in der Ausbildung der M+E-Berufe sind auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung von besonderer Bedeutung. Der Einstieg in diese Berufe erfolgt häufig auch über eine vorherige Ausbildung in der M+E-Industrie, an die sich teilweise eine weiterführende Qualifizierung anschließt (Kapitel 2.1.2). Auch wenn ein möglicher Trend zur Akademisierung die Zugänge zu den Berufen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verändern könnte (Thies, 2023), sind die Beschäftigten heute überwiegend beruflich qualifizierte Fachkräfte (Kapitel 2.1.2 und 2.1.3). Die Untersuchungen im Umfeld der M+E-Berufe verdeutlichen die Auswirkungen der digitalen Transformation in der Industrie auf die Ausbildung und zeigen gleichzeitig Nachholbedarf in der Praxis. Dies bestätigt umso mehr die Relevanz der vorliegenden Arbeit. Die notwendigen Anpassungen und Ent-

wicklungen müssen auch eine Weiterqualifizierung der bereits Beschäftigten mit abgeschlossener Erstausbildung nach sich ziehen. Für das Forschungsgebiet der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind diese Hinweise hilfreich und bieten Anknüpfungsmöglichkeiten. Grundlegende Veränderungen in der Erstausbildung können auch für Beschäftigte relevant sein, die bereits in diesen Berufen tätig sind. Eine direkte Übertragung einzelner Aspekte erscheint jedoch ohne aktuelle empirische Daten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung voreilig. Die Aufgaben und das dafür erforderliche Wissen und Können der Beschäftigten in den M+E-Berufen unterscheiden sich von denen der in dieser Studie betrachteten Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Ziel des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes ist es, den Fokus auf Beschäftigte mit Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems zu legen. Ein Teil der Beschäftigten findet den Zugang zu den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung über den Abschluss einer Ausbildung. Die Ausbildung bereitet jedoch nicht spezifisch auf die Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung oder der Gestaltung des Produktionssystems vor, sondern auf die Tätigkeit im Ausbildungsberuf. Diese Aufgaben dürften sich in gewissem Umfang überschneiden, sind aber keinesfalls vollständig deckungsgleich. Weiter haben Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nach ihrer Ausbildung teilweise eine Aufstiegsfortbildung absolviert oder steigen mit einem Hochschulabschluss in die Berufe der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein. Die Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bestehen u. a. darin, Produktionsmaschinen/-anlagen, Fertigungs- und Prüfmittel zu konzipieren und zu entwickeln, Arbeitsabläufe unter Einsatz ergonomischer Erkenntnisse menschengerecht zu gestalten, neue Formen der Arbeitsorganisation zu planen und einzuführen oder auch Qualifizierungsprozesse zu organisieren und zu fördern. (Kapitel 2.1) Dies wird in der Ausbildung nur eingeschränkt berücksichtigt. Die Berufsausbildung und auch die Arbeitsrealität in der technischen Produktionsplanung und -steuerung kann daher nicht mit den Ausbildungsberufen in der M+E-Industrie gleichgesetzt werden, sondern bedarf einer eigenständigen Betrachtung. Insgesamt können auch die Untersuchungen im Rahmen der Teilnovellierung der Ausbildung in der M+E-Industrie nur Tendenzen aufzeigen. Konkrete Erkenntnisse für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 lassen sich nicht unmittelbar ableiten.

Trotz der inzwischen teilweise erfolgten Eingrenzung z. B. auf Ausbildungsberufe fehlen empirische Daten zu einzelnen Aufgaben, Erwerbsberufen oder übergreifenden Berufsgruppen. Insbesondere außerhalb der Produktion fehlen noch wissenschaftlich fundierte Daten. Nach Einschätzung von Pfeiffer et al. aus dem Jahr 2016 hat sich die Forschung bis zu diesem Zeitpunkt auf technische und produktionsbezogene Bereiche konzentriert. Produktionsunterstützende Unternehmensfunktionen wie Logistik, Planung oder andere betriebswirtschaftliche Funktionen waren im Hinblick auf die Veränderungen der beruflichen Anforderungen im Rahmen von Industrie 4.0 noch wenig erforscht. (S. 18) Meines Erachtens zeigt sich auch heute noch ein ähn-

liches Bild. Diese produktionsunterstützenden Funktionen waren nur in einer der betrachteten Studien explizit Gegenstand der Untersuchung. Ahrens et al. (2018) untersuchten die Auswirkungen der Digitalisierung in der Bayer Pharmaceutical Division. Untersucht wurden die Veränderungen der Arbeitsaufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können von Führungskräften u. a. aus den Bereichen Instandhaltung, Logistik sowie Forschung und Entwicklung.

Im Vergleich der Studien fällt an dieser Stelle auf, dass empirische Untersuchungen zu Veränderungen der beruflichen Anforderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung durch Industrie 4.0 bislang ein Forschungsdesiderat darstellen.

Veränderungen der beruflichen Anforderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Zuge der digitalen Transformation sind bereits erkennbar. In einzelnen Berufen der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist ein Trend zur Akademisierung zu beobachten (Thies, 2023). Die aus der Literatur erarbeiteten Prognosen deuten vordergründig bei den kurzfristigen Aufgaben auf relevante Veränderungen hin. Beispielsweise wird erwartet, dass Software die Aufgaben der Auftragsplanung und -steuerung unterstützt oder sogar teilweise übernimmt. Mit den neuen technologischen Möglichkeiten ändern sich aber auch die beruflichen Anforderungen an die Beschäftigten bei der Gestaltung des Produktionssystems. Nach Hirsch-Kreinsen (2014) sind die Planungs- und Managementbereiche langfristig ebenso nachhaltig von Industrie 4.0 betroffen wie die Produktion selbst. Er geht sogar davon aus, dass eine Veränderung der Planungs- und Managementbereiche eine Voraussetzung für die Transformation zur Industrie 4.0 ist. (S. 21 f.)

Daher stellt sich die Frage: Welches Wissen und Können benötigen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0?

2.2.3 Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0

In der vorliegenden Arbeit wird ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt. Die Beschäftigten sollen als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 gefördert werden. In diesem Kapitel werden vorhandene Weiterbildungskonzepte im Kontext von Industrie 4.0 vorgestellt und untersucht, inwieweit sie Anknüpfungspunkte zur Lösung dieser Zielsetzung liefern.

Um das Weiterbildungskonzept der vorliegenden Arbeit einordnen zu können, wird der Begriff der Weiterbildung wie in Abbildung 16 dargestellt strukturiert. Es kann zwischen beruflicher, allgemeiner und politischer Weiterbildung unterschieden werden. Die allgemeine und die politische Weiterbildung können unter dem Begriff Erwachsenenbildung zusammengefasst werden. Die berufliche Weiterbildung kann in die Lernformen öffentlich geförderte, betriebliche und individuelle Weiterbildung unterschieden werden. (Bernien, 1997, S. 41 f.)

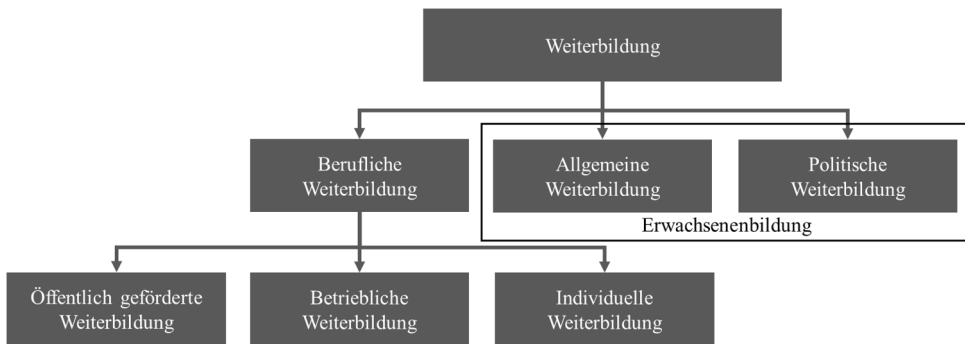


Abbildung 16: Strukturierung des Begriffs Weiterbildung (Quelle: Bernien, 1997, S. 41 f.)

In der vorliegenden Arbeit wird ein Weiterbildungskonzept für die betriebliche Weiterbildung entwickelt. Das Konzept ist als Leitfaden konzipiert und soll Beschäftigte und Unternehmen im Wandel zur Industrie 4.0 unterstützen.

Eine weitere wichtige Perspektive für die Einordnung von Weiterbildungsmaßnahmen ist der Deutsche Qualifikationsrahmen (DQR). Mithilfe des DQR kann das Niveau des Abschlusses einer Weiterbildungsmaßnahme eingeordnet werden (Tabelle 10). Ein Ziel des DQR ist es, das deutsche Qualifikationssystem transparenter zu machen und die Mobilität zwischen den europäischen Staaten zu fördern. Zu diesem Zweck wurde ein achtestufiges Klassifikationssystem entwickelt, das die Zuordnung verschiedener Qualifikationen zu unterschiedlichen Niveaus ermöglicht. (Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013)

Tabelle 10: Übersicht der zugeordneten Qualifikationen (Quelle: Eigene Darstellung nach Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013, S. 36)

Niveau	Qualifikation
1	<ul style="list-style-type: none"> Berufsausbildungsvorbereitung <ul style="list-style-type: none"> Berufsvorbereitende Bildungsmaßnahmen der Arbeitsagentur (BvB) Berufsvorbereitungsjahr
2	<ul style="list-style-type: none"> Berufsausbildungsvorbereitung <ul style="list-style-type: none"> Berufsvorbereitende Bildungsmaßnahmen der Arbeitsagentur (BvB) Berufsvorbereitungsjahr Einstiegsqualifizierung (EQ) Berufsfachschule (Berufliche Grundbildung)
3	<ul style="list-style-type: none"> Duale Berufsausbildung (2-jährige Ausbildungen) Berufsfachschule (Mittlerer Schulabschluss)
4	<ul style="list-style-type: none"> Duale Berufsausbildung (3- und 3½-jährige Ausbildungen) Berufsfachschule Berufsfachschule (vollqualifizierende Berufsausbildung)
5	<ul style="list-style-type: none"> IT-Spezialist/in Servicetechniker/in

(Fortsetzung Tabelle 10)

Niveau	Qualifikation
6	<ul style="list-style-type: none"> • Bachelor • Fachkaufmann/Fachkauffrau • Fachschule • Fachwirt/in • Meister/in • Operativer Professional (IT)
7	<ul style="list-style-type: none"> • Master • Strategischer Professional (IT)
8	<ul style="list-style-type: none"> • Promotion

Der Zugang zu den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung erfolgt über verschiedene Qualifikationsniveaus (Kapitel 2.1.2). Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Weiterbildungskonzept kann nicht den Anspruch erheben, an ein bestimmtes Qualifikationsniveau anzuschließen oder die Beschäftigten auf ein bestimmtes Niveau zu qualifizieren. Vielmehr geht es darum, die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf unterschiedlichen Qualifikationsniveaus als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 weiterzubilden.

Die Methodologie des DBR sieht vor, dass bestehende Konzepte zur Lösung der Problemstellung wesentliche theoretische Fixpunkte darstellen (Reinmann, 2017, S. 51). Welche Maßnahmen der beruflichen Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0 werden in der Praxis angeboten? Richter (2019) berichtet über die Ergebnisse einer Befragung zur Weiterbildung für Industrie 4.0 in den Jahren 2016 bis 2019. In den Unternehmen gibt es zahlreiche Weiterbildungslösungen für Industrie 4.0 und verschiedene Bildungsanbieter stellen entsprechende Angebote zur Verfügung. Es werden unterschiedliche innerbetriebliche Weiterbildungsmaßnahmen durchgeführt, z. B. bei der Einführung neuer Systeme oder Methodentrainings. Es wird von Maßnahmen zum Lernen am Arbeitsplatz und im Arbeitsprozess berichtet. Ebenso gibt es übergreifende Maßnahmen wie die Qualifizierung des Ausbildungspersonals oder Webinare zu aktuellen Veränderungen. Die Schwerpunkte der Weiterbildung werden von Richter in vier Kategorien zusammengefasst:

- Produktbezogene Maßnahmen zum Aufbau von Wissen und Können zu einer Maschine oder Anlage, einem Werkzeug oder einer bestimmten Technologie
- Maßnahmen zur Weiterbildung im Bereich der Informationstechnologie
- Förderung von querliegenden Kompetenzen wie Führungskompetenz
- Wissen und Können zur Anlageninstandhaltung, Prozessgestaltung und der Beherrschung komplexer Systeme und Anlagen (S. 293 f.)

Diese Ergebnisse werden auch von Becker et al. (2022) aufgegriffen und wie folgt erweitert:

Sofern die Ergebnisse die Bedarfe der Unternehmen an Weiterbildung widerspiegeln, lässt sich auch auf der Basis der aktuellen Ergebnisse die Annahme ableiten, dass die Unternehmen in Deutschland zunehmend aus der strategischen Planungsphase in die

Phase des tatsächlichen Einsatzes der neuen Technologien eintreten. Insbesondere der seit 2016 angestiegene Anteil von „technischen Seminaren“ lässt sich dahingehend interpretieren, dass Unternehmen die Beschäftigten auf der Shopfloor-Ebene auf die neuen Anforderungen der sich wandelnden Arbeitswelt vorbereiten. (Becker et al., 2022, S. 51f.)

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass für die Qualifizierung im Hinblick auf Industrie 4.0 unterschiedliche Inhalte vermittelt werden. Es werden auch unterschiedliche Methoden der Qualifizierung eingesetzt. Eine Ableitung einzelner Inhalte oder Methoden für das hier zu entwickelnde Weiterbildungskonzept erscheint an dieser Stelle nicht möglich.

Anknüpfend an diese übergreifende empirische Untersuchung zu Weiterbildungsmaßnahmen von Unternehmen im Kontext von Industrie 4.0 wird untersucht, welche wissenschaftlich entwickelten Weiterbildungskonzepte für den Wandel hin zu einer Industrie 4.0 bereits heute existieren. Eine exemplarische Auswahl der für dieses DBR-Projekt zu berücksichtigenden Konzepte ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Ausgewählte Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0 (Quelle: Eigene Darstellung)

Autoren	Zielgruppe	Wissen und Können	Lern- und Lehrformen
Acatech, 2016	Basismodell und Ergänzung je nach Anforderungen des Unternehmens	Fachwissen über Industrie 4.0 (Technik-, IT-, Prozess- und Methodenwissen usw.)	Geschäftsführung: Wissensnuggets, Projektleitung Industrie 4.0: Blended-Learning über mehrere Wochen, Führungskräfte: praxisnahe Präsenzworkshops, operativ Beschäftigte: Wissensnuggets über mobile Endgeräte
Ahrens et al. (2018)	(1) Technischen Fachkräfte (Hella Fahrzeugkomponenten GmbH), (2) Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- oder Technikerprüfung, mit Personalverantwortung im Engineering Bereich (Bayer Pharmaceutical Division)	(1) Lösung von Anlagenstörungen, (2) projektorientiertes Arbeiten	(1) Lernkonzept auf Basis von kurzen, videobasierten Mikro-Lern-Einheiten, (2) agiles Lernmodell mit abwechselnden Lern- und Arbeitsphasen
Baron et al., 2019; Fischer et al., 2019; Nierling et al., 2020	An- und Ungelernte, ältere Mitarbeitende und Fachkräfte aus der Metall- und Elektroindustrie in Baden-Württemberg	Ausbildung zur Lernprozessbegleitung 4.0, Arbeitsprozesswissen 4.0, Arbeiten mit virtuellen Räumen, Arbeiten mit Robotern, Fernwartung/Fernsteuerung, technische Assistenzsysteme, Nutzung mobiler Endgeräte	Klassische Schulungen (z. B. in einem typischen Schulungsraum), arbeitsplatznahes Lernen, Lernen mit digitalen Medien, beispielsweise mittels mobiler Endgeräte (Smartphones, Tablets etc.)
Teichmann et al., 2022	Individuell anpassbar auf die Kompetenzanforderungen des Betriebes und (Lern-)Interessen der Teilnehmenden	Individuell anpassbar, Beispielprojekt: „Technologien der Industrie 4.0“ und „Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit“	Lernfabrik (Modellfabrik)

(Fortsetzung Tabelle 11)

Autoren	Zielgruppe	Wissen und Können	Lern- und Lehrformen
Müller, 2023	Auszubildende aus den drei Erprobungsberufen (Industriekaufmann/ Industriekauffrau, Industriemechanik und Mechatronik), Fachkräfte mit Ausbildung in den drei Erprobungsberufen, Fachkräfte ohne Ausbildung in den drei Erprobungsberufen, Personen mit drohendem Studien-, Fachschul- oder Weiterbildungsabbruch	Digitale Transformation und schnittstellenübergreifende Kommunikation, kaufmännische Arbeit in der digitalen Industrie und technische Kommunikation (bildungsbereichsspezifisches Wahlmodul), technische Arbeit in der digitalen Industrie und kaufmännische Kommunikation (bildungsbereichsspezifisches Wahlmodul), Kooperation in industriellen Prozessen, Projektarbeit im eigenen Unternehmen	Präsenz- und Onlineunterricht

In diesem Kapitel werden Konzepte zur Förderung von Wissen und Können im Kontext einer Industrie 4.0 vorgestellt. Nachfolgend werden die Konzepte analysiert und daraufhin überprüft, inwieweit sie geeignet sind, die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 zu unterstützen.

Acatech (2016) berichtet in „Kompetenzen für Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze“ über eine empirische Untersuchung in kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland. Die Vorgehensweise der Untersuchung und die Ergebnisse zu den Veränderungen der beruflichen Anforderungen wurden in Kapitel 2.2.2 vorgestellt. Auf Basis der Ergebnisse wurde ein exemplarischer Ansatz zur Kompetenzentwicklung im Kontext von Industrie 4.0 entwickelt (Abbildung 17). Dazu werden die Mitarbeitenden in verschiedene Zielgruppen eingeteilt und die Wissensvermittlung darauf abgestimmt. Im Rahmen einer Einführungs- und Auffrischungsveranstaltung zu Industrie 4.0 werden alle Beschäftigten gleichermaßen in die Weiterbildung einbezogen. Führungskräften werden in kurzen Lerneinheiten die Grundlagen von Industrie 4.0 und die möglichen Vorteile für das Unternehmen vermittelt. Für die Mitarbeitenden in der Produktion werden ereignisbezogene Wissensbausteine bedarfsgerecht in den Arbeitsprozess integriert. Für die Projektleitung Industrie 4.0 wird ein Intensivtraining angeboten. Begleitend steht eine Wissensdatenbank zur Verfügung, und die Trainingsleitungen werden methodisch, strategisch und pädagogisch weitergebildet.

	Phase 1 Einführung	Phase 2 Erarbeitung	Phase 3 Vertiefung	Phase 4 Nachhaltigkeit
Geschäftsführung	Awareness	Kickoff Industrie 4.0	Erfahrungsaustausch	Fresh-up Industrie 4.0
Projektleitung Industrie 4.0			Intensivtraining	
Führungskräfte, Teamleitung, Schichtleitung			Sensibilisierung	
Operative Mitarbeitende			Ereignisbasiertes Training	
Online-Nachschlagewerk (Wissensdatenbank)				
Train-the-Trainer				

Abbildung 17: Ansatz für Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0 von Acatech (Quelle: Acatech, 2016, S. 39)

Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems können m. E. als Teil der Projektleitung Industrie 4.0 eingeordnet werden. Wie dieses Intensivtraining im Detail aussehen soll, wird nicht beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine generelle Lösung handelt, sondern um ein Basismodell, das an die Gegebenheiten des Unternehmens angepasst werden muss.

Ahrens et al. (2018) haben im Projekt „Professio – Berufliche Professionalität im produzierenden Gewerbe“ untersucht, wie mediengestützte Lernformate die Verbindung von Arbeiten und Lernen unterstützen können. Das Vorgehen der Studie und die Ergebnisse zum Wandel beruflicher Anforderungen wurden in Kapitel 2.2.2 dargestellt. Für die technischen Fachkräfte der Hella Fahrzeugkomponenten GmbH wurde ein Lernkonzept zur Entwicklung von Anlagenverständnis erarbeitet. Das Lernkonzept soll Wissen und Können zur Verknüpfung von mechanischen, elektrischen und informationstechnischen Systemen auf der Basis von kurzen, videobasierten Mikro-Lerneinheiten vermitteln. Die Lerneinheiten stehen den Mitarbeitenden direkt im Arbeitsprozess zur Verfügung. Ferner wird der Wissensstand anhand von Arbeits- und Lernaufgaben überprüft. Ein weiteres Lernkonzept wurde für Beschäftigte mit abgeschlossener Meister- oder Technikerprüfung mit Personalverantwortung im Engineering-Bereich der Bayer Pharmaceutical Division konzipiert. Es soll das Wissen und Können der Beschäftigten im Bereich des agilen Projektmanagements fördern. Zur Entwicklung von Methoden- und Sozialkompetenz im Rahmen der Projektarbeit wurde ein flexibles Lernmodell entwickelt. In wechselnden Lern- und Arbeitsphasen werden individuell vereinbarte Lernziele verfolgt. Dies geschieht arbeitsplatznah und in Phasen des eigenständigen und gemeinsamen Lernens. Beide Lernkonzepte werden durch eine Lernprozessbegleitung unterstützt. Im Ansatz von Ahrens et al. (2018) wurden spezifische aktuelle Herausforderungen aus zwei Unternehmen untersucht. Für diese beiden Herausforderungen wurden auf die Unternehmen zugeschnittene Lösungen als Weiterbildungskonzepte entwickelt. Die Herausforderungen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 lassen sich m. E. nicht auf einen dieser beiden Aspekte

reduzieren, sondern sind vielschichtiger (Kapitel 2.2.1). Dennoch bieten beide Lernkonzepte Anknüpfungspunkte für das Weiterbildungskonzept der vorliegenden Arbeit. Sowohl der Umgang mit mechanischen, elektrischen und informationstechnischen Systemen als auch Projektarbeit gehören zum Aufgabenspektrum der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Hinsichtlich ihrer besonderen Problemstellung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 stehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung jedoch vor anderen Herausforderungen. Deswegen scheint auch dieser Ansatz nur bedingt geeignet, um die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung umfassend zu fördern.

Im Projekt „Prospektive Weiterbildung für Industrie 4.0: Analyse- und Gestaltungsperspektiven“ wurde in sechs Unternehmen der baden-württembergischen Metall- und Elektroindustrie ein vorausschauendes Weiterbildungsprogramm für Industrie 4.0 eingeführt und erprobt. Das Projekt wurde vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert und vom Institut für Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wissenschaftlich begleitet. Der Themenkomplex Industrie 4.0 wurde wechselseitig aus den Perspektiven Technik, Arbeitsgestaltung und Bildung/Kompetenz betrachtet. Zielgruppe waren insbesondere An- und Ungelernte, ältere Mitarbeitende und Fachkräfte. Zur Erfassung der technischen Entwicklungen wurde eine Literaturanalyse durchgeführt und mit Experteninterviews aus den Unternehmen abgeglichen. Dabei wurde festgestellt, dass die Einführung von Technologien aus dem Umfeld von Industrie 4.0 unterschiedlich weit fortgeschritten ist. Eine vollständige Umsetzung der Vision von Industrie 4.0 konnte in keinem Unternehmen festgestellt werden. Umfassende neue Qualifikationsanforderungen konnten nicht identifiziert werden. Für die Perspektive Arbeit wurden Beobachtungsinterviews durchgeführt und die Beschäftigten zu ihren Veränderungswünschen befragt. Ergänzt wurden diese Informationen durch eine Befragung von Beschäftigten aus den Planungsbereichen und Personalverantwortlichen. Umfassende Maßnahmen der Unternehmen zur Umgestaltung der Arbeitsorganisation durch den Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen konnten nicht identifiziert werden. Für die kompetenzzentrierte Perspektive wurden Beobachtungsinterviews auf Basis der BAG-Analyse (Analyse beruflicher Arbeitsaufgaben) durchgeführt. Zusätzlich wurden Interviews mit Personalverantwortlichen geführt, um die Ergebnisse zu verifizieren. Es wird davon ausgegangen, dass die Kompetenzen von An- und Ungelernten und älteren Mitarbeitenden auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden. Die Heranführung der Menschen an die Technologien soll in kleinen Schritten erfolgen, damit auch diese Mitarbeitenden für Arbeitsplätze im Hochtechnologiebereich eingesetzt werden können. (Nierling et al., 2020) Als Ergebnis wurde ein Leitfaden mit einem Weiterbildungskonzept erstellt. Das Weiterbildungskonzept besteht aus sieben verschiedenen Modulen:

- Lernprozessbegleitung 4.0
- Arbeitsprozesswissen 4.0
- Arbeiten mit virtuellen Räumen

- Arbeiten mit Robotern
- Technische Assistenzsysteme
- Fernwartung und -steuerung
- Nutzung mobiler Endgeräte

Die Umsetzung des Konzeptes erfolgt in den Lehr- und Lernformen klassische Schulungen, arbeitsplatznahes Lernen und Lernen mit digitalen Medien. Die einzelnen Module können an Unternehmen und Zielgruppen angepasst werden. Ebenso ist es möglich, die Weiterbildungsmodule als kompakten Block von z. B. 3–4 Tagen durchzuführen oder in einzelne Abschnitte über mehrere Wochen aufzuteilen. (Baron et al., 2019)

Die einzelnen Module sind m. E. für viele Mitarbeitende in der Industrie hilfreich, um Grundlagen im Kontext von Industrie 4.0 und den Technologien zu erlernen. Auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung könnten die Module als Grundlage dienen. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 stehen aber vor anderen Herausforderungen. Aus diesen Gründen scheint auch dieses Weiterbildungskonzept zwar Anknüpfungspunkte zu liefern, aber keine ausreichende Lösung für die zweifache Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu sein.

Teichmann et al. (2022) beschreiben ein Weiterbildungskonzept im Kontext von Industrie 4.0, das auf dem Konzept einer Lernfabrik basiert. Die Lernfabrik besteht aus der physischen Nachbildung einer Produktion, die durch eine computergestützte Simulation ergänzt wird. Als Grundlage werden drei verschiedene Fabrikmodelle zur Umsetzung der Lernfabrik beschrieben:

- Herstellung eines liquiden Produktes mit Verpackung, Lagerhaltung und Kommissionierung
- Herstellung kundenspezifischer Seifenflaschen
- Ein Produktionssystem aus Werkzeugmaschinen (unterschiedlichen Alters und Automatisierungsgrades) und Montagearbeitsplätzen sowie deren Verknüpfung mit Industrierobotern und fahrerlosen Transportsystemen

Teichmann et al. beschreiben beispielhaft eine eintägige Schulung zu den Themen „Technologien der Industrie 4.0“ und „Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit“. Die eintägige Schulung wird durch Impulsvorträge, konkrete Lernszenarien, erfahrungsorientiertes Lernen in der Lernfabrik und Workshops umgesetzt. Dabei werden nicht nur rein technische Aspekte betrachtet, sondern beispielsweise in den Impulsvorträgen die Auswirkungen auf die Arbeit erläutert oder in den Workshops die Veränderungen der beruflichen Anforderungen thematisiert. Ein beispielhaft ausgeführtes Lernszenario ist „Potenziale mobiler IoT-Technologien in der Maschinenwartung“ (Abbildung 18). Die Teilnehmenden haben die Aufgabe, das System zu warten. Dazu muss mithilfe eines Tablets der Zustand der Anlage auf Auffälligkeiten überprüft werden. Im Fehlerfall werden die Teilnehmenden durch eine Meldung mit Feh-

lerbeschreibung auf dem Tablet informiert. Über das Tablet wird die Maschine ausgewählt und eine Fehlerbehebungsstrategie vorgeschlagen. Im Lernszenario ist eine Kühlerabdeckung defekt und muss ausgetauscht werden. Die Teilnehmenden können über das Tablet auch den Bedarf des Austauschteils an die von der Lernbegleitung übernommene Logistik übermitteln. Anschließend müssen die Teilnehmenden den defekten Kühlerdeckel austauschen. Der Austausch des defekten Teils wird durch Anweisungen auf einer AR-Brille unterstützt.

Bezeichnung	„Potenziale mobiler IoT- Technologien in der Maschinenwartung“		
Systematisierung	Digitalisierungsgrad der Organisation <ul style="list-style-type: none"> • Digitaler Einstieg 	Unternehmensbereich <ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung/Qualitätsmanagement 	Qualifizierungsniveau <ul style="list-style-type: none"> • Niveau 3
Konfiguration der Lernfabrik	<div> Technische Elemente <ul style="list-style-type: none"> • 2 Tablets • 1 AR-Brille • 2 Kühlabdeckungen </div> <div> Personalbedarf <ul style="list-style-type: none"> • 1 Lernbegleitung • 1 Technische Fachkraft </div> <div> Anzahl der Lernenden <ul style="list-style-type: none"> • 1 Person </div>	Konfiguration der Lernfabrik <ul style="list-style-type: none"> • Modifiziertes Lernszenario „Kniegelenk“ • 6 Stationäre Maschinen-Demonstratoren <ul style="list-style-type: none"> • Verpackung • Schleifmaschine 1 • Schleifmaschine 2 • Pulverbeschichtung • Versand • Qualitätssicherung • 3 Werkstück-Träger <ul style="list-style-type: none"> • „Kniegelenke“ 	

Abbildung 18: Lernszenario Potenziale mobiler IoT-Technologien in der Maschinenwartung von Teichmann et al. (Quelle: Teichmann et al., 2022, S. 191)

Weiterbildung in Lernfabriken ist m. E. eine vielversprechende Möglichkeit, Industrie 4.0-Technologien und Anwendungen kennenzulernen. Grundsätzlich scheint dies auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung relevant zu sein – hauptsächlich im Hinblick als Betroffene der digitalen Transformation hin zu einer Industrie 4.0. Für die Gestaltung einer Industrie 4.0 könnte es auch sinnvoll sein, einzelne Elemente dieser Lernfabriken zu konzipieren und in der Praxis zu erproben. Der Besuch und das Sammeln von Erfahrungen in einer Lernfabrik kann auch für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung hilfreich sein. Eine Lernfabrik kann jedoch nur Teilaspekte abbilden. Eine Lernfabrik stellt nur ein Modell und damit einen Ausschnitt der Realität dar. Weiter müssen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung das Produktionssystem selbst gestalten. Auch in dieser Hinsicht scheint ein bereits vorhandenes Modell kein zielgruppengerechtes Konzept zu bieten.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten „InnoVET-Projektes BIRD“ wurde eine Fortbildung zum/zur Berufsspezialist/in für Industrielle Transformation entwickelt. Mit dieser Fortbildung auf DQR-Stufe Fünf soll das Wissen und Können für Industrie 4.0 und Künstliche Intelligenz gefördert werden. Die Fortbildung wurde in einem agilen Prozess mit mehreren Stufen und unterschiedlichen Akteuren entwickelt. Der Forschungs- und Entwicklungsprozess

gliederte sich in zwei Phasen. Zunächst wurden bestehende Bildungsangebote auf den DQR-Niveaus vier und sechs sowie Weiterbildungsangebote zu Industrie 4.0 und Künstlicher Intelligenz analysiert. Anschließend wurden 25 Experteninterviews mit Verantwortlichen für die betriebliche Bildung oder Personalverantwortlichen geführt. Nach dieser ersten Phase wurden neben übergreifenden Ergebnissen ein Rahmenlehrplan, berufliche Handlungsfelder, ein Modulcurriculum und Rollenbilder für den/die Berufsspezialist/in für Industrielle Transformation entwickelt. Zu Beginn der Phase zwei wurden in neun Unternehmen vorausschauende Arbeitsprozessanalysen durchgeführt, um die Lernziele des entwickelten Rahmenplans bzw. Modulcurriculums zu überprüfen. Ferner wurde in je einem Unternehmensworkshop mit kaufmännischen und einem mit gewerblich-technischen Unternehmensvertretern das überarbeitete Modulcurriculum diskutiert. Abschließend wurden mit Unterstützung von Arbeitsmarkt- und Berufsinformationen ein kaufmännisches und ein gewerblich-technisches Berufsbild entwickelt. (Müller, 2023) Die Fortbildung zum/zur Berufsspezialist/in für Industrielle Transformation ist in fünf Module gegliedert:

- Digitale Transformation und schnittstellenübergreifende Kommunikation
- Kaufmännische Arbeit in der digitalen Industrie und technische Kommunikation (bildungsbereichsspezifisches Wahlmodul)
- Technische Arbeit in der digitalen Industrie und kaufmännische Kommunikation (bildungsbereichsspezifisches Wahlmodul)
- Kooperation in industriellen Prozessen
- Projektarbeit im eigenen Unternehmen

Die beiden Wahlmodule dienen der Fokussierung der Fortbildung auf den kaufmännischen oder gewerblich-technischen Bereich. Im Modul „Digitale Transformation und schnittstellenübergreifende Kommunikation“ sollen die Grundlagen von Industrie 4.0, betriebliche Prozesse, Datenaufbereitung und Projektmanagement gefördert werden. Das Modul „Kaufmännische Arbeit in der digitalen Industrie und technische Kommunikation“ enthält die Lernelemente Datenmanagement, Grundlagen Programmiersprachen, softwarebasierte Prozessautomatisierung, digitales Marketing und gewerblich-technische Grundlagen. Im Modul „Technische Arbeit in der digitalen Industrie und kaufmännische Kommunikation“ geht es darum, Systeme und Prozesse zu digitalisieren, SPS zu optimieren, Maschinendaten zu organisieren, kaufmännische Grundlagen und technisches Englisch zu erlernen und zu vertiefen. Das Modul „Kooperation in industriellen Prozessen“ enthält die Lernelemente Kommunikationsstrategien, interdisziplinäre Kooperation, Wissensmanagement, fachliche Führung und Selbstorganisation. Abschließend wird im Rahmen einer „industriespezifischen Projektarbeit“ die schriftliche Dokumentation einer betrieblichen Situation angefertigt. Die Fortbildung wird in einer Kombination aus Präsenz- und Onlineunterricht durchgeführt. (Hager & Müller, 2023)

Vier der fünf Weiterbildungskonzepte wurden auf der Grundlage einer empirischen Untersuchung entwickelt (Acatech, 2016; Ahrens et al., 2018; Nierling et al., 2020; Müller, 2023). Die beispielhaft dargestellten Weiterbildungskonzepte zeigen, dass zur

Förderung des Wissens und Könnens der Beschäftigten im Kontext von Industrie 4.0 verschiedene Lehr- und Lernformen eingesetzt werden. Der Aufbau dieses Wissens und Könnens muss nicht zwangsläufig über digitale Medien und Methoden erfolgen (Baron et al., 2019, S. 8). In allen Weiterbildungskonzepten werden verschiedene Lernformen kombiniert. Beispielsweise verwenden Teichmann et al. u. a. Impulsvorträge oder entdeckendes Lernen (S. 189). Baron et al. nennen als Methoden Gruppenarbeit und Präsentation, Projektarbeit, Vortrag oder auch eigenständiges Ausprobieren (S. 22). Auch die primären Zielgruppen unterscheiden sich in den Weiterbildungskonzepten. Acatech hat einen Ansatz entwickelt, der übergreifend verschiedene Funktionen in den Unternehmen adressiert. Das Weiterbildungskonzept von Baron et al. konzentriert sich auf An- und Ungelernte, ältere Mitarbeitende und Fachkräfte. Ahrens et al. haben ein Weiterbildungskonzept speziell für zwei Beschäftigtengruppen in zwei Unternehmen entwickelt. Der Ansatz von Teichmann et al. soll individuell an die Bedürfnisse der Beschäftigten und die Anforderungen der Unternehmen angepasst werden. Auf der inhaltlichen Ebene lassen sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen den Weiterbildungskonzepten feststellen. Module zur Förderung von Wissen und Können über einzelne Technologien im Kontext von Industrie 4.0 sind in allen Ansätzen enthalten. Die Besonderheiten der einzelnen Konzepte liegen in den Modulen außerhalb des technologischen Wissens und Könnens. So enthält der Ansatz von Teichmann et al. ein Modul zu den Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit. Die von Hager & Müller vorgestellte Fortbildung zum/zur Berufsspezialist/in stellt u. a. auch die Kooperation in den Mittelpunkt. Das Weiterbildungskonzept von Baron et al. enthält mit Arbeitsprozesswissen 4.0 ein Modul, das speziell auch das Wissen über komplexe betriebliche Prozesse und Strukturen in den Mittelpunkt stellt. In den Weiterbildungskonzepten von Baron et al. und Acatech wird auch konkret auf die Aus- und Weiterbildung von Trainingsleitung bzw. Lernprozessbegleitung hingewiesen. Es konnte jedoch kein wissenschaftlich erarbeitetes Weiterbildungskonzept identifiziert werden, das die Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie fördert.

Abschließend stellt sich die Frage, inwieweit die wissenschaftlichen Grundlagen und bestehenden Weiterbildungskonzepte zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage dieser Arbeit beitragen können:

„Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein?“

Das Weiterbildungskonzept soll an die aktuelle Praxis und die Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 anknüpfen und Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung setzen (Kapitel 1.3). Um in geeigneter Weise an die Praxis anknüpfen zu können, ist es erforderlich zu wissen, wie diese Praxis für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung konkret beschaffen ist. Die Beschäftigten sollen als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 gleichermaßen gefördert werden. Die

Aufgaben und betrieblichen Funktionen im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden in der Literatur unterschiedlich beschrieben (Kapitel 2.1.1). Bei den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung handelt es sich um Erwerbsberufe. Der Zugang zu diesen Berufen ist nicht klar definiert und erfolgt über verschiedene Wege der Aus- und Weiterbildung sowie über akademische Bildungsgänge (Kapitel 2.1.2). Empirische Untersuchungen liefern erste Erkenntnisse über die Arbeitspraxis der Beschäftigten. Sie liefern jedoch kein aktuelles Bild der Veränderungen durch Industrie 4.0 und lassen auch Fragen zur Rolle als Gestaltende von Industrie 4.0 unbeantwortet (Kapitel 2.1.3). Die Literatur zur Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 gibt Hinweise, worauf bei der Gestaltung von Produktionssystemen zu achten ist. Wie die Beschäftigten diese Hinweise in der Praxis umsetzen und welche grundsätzlichen Überlegungen sie zur Arbeit und zur Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden in der Produktion anstellen, kann nicht beantwortet werden (Kapitel 2.2.1). Wie sich die beruflichen Anforderungen an Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verändern, kann allein auf Basis der Literatur nicht abschließend geklärt werden. Bisherige Studien liefern Anknüpfungspunkte, können aber aufgrund der meist breit angelegten Untersuchungen nur grobe Tendenzen aufzeigen (Kapitel 2.2.2). Vorhandene Weiterbildungskonzepte im Kontext von Industrie 4.0 sind unterschiedlich konzipiert und bieten keine präzise Lösung für Beschäftigte als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 (Kapitel 2.2.3).

Für die Entwicklung eines auf die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und die zweifache Problemstellung – als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie – abgestimmten Weiterbildungskonzeptes sind diese Erkenntnisse nicht ausreichend. Ein wesentlicher Schritt ist daher, die Arbeitspraxis in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und damit auch die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten direkt aus der Praxis zu erheben.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Methodologisches Rahmenkonzept

3.1.1 Design-Based Research

Die wissenschaftliche Gemeinschaft der Berufsbildungsforschung ist sich einig, dass es nicht die eine Methode gibt, mit der alle Forschungsfragen im *Forschungsbereich* beantwortet werden können (Fischer, 2018, S. 721). Das Forschungsdesign und die Auswahl und Anpassung der Methoden müssen geeignet sein, die forschungsleitenden Fragen zu beantworten (Aufschnaiter & Vorholzer, 2019, S. 58). Faulstich-Wieland & Faulstich (2006) beschreiben diesen Zusammenhang treffend wie folgt: „Es gibt keine generell überlegene Methode, sondern immer nur konkret angemessene Vorgehensweisen, bezogen auf Erkenntnisinteressen und Gegenstandskonstitution“ (S. 251).

In diesem Kapitel wird die Gestaltung eines geeigneten Forschungsansatzes zur Beantwortung der Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit erläutert. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0. Dabei sollen wissenschaftliche Erkenntnisse zu dieser zweifachen Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sowie für die betriebliche Weiterbildung erarbeitet werden. Zunächst wurden die forschungsleitenden Fragen und die Zielsetzung der Arbeit sowie die wissenschaftliche Grundlage erarbeitet (Kapitel 1 und 2). Auf dieser Ausgangsbasis ist die Entscheidung, ob ein quantitatives oder qualitatives Design besser geeignet ist, die forschungsleitenden Fragen zu beantworten und die Ziele zu erreichen, eine der ersten Entscheidungen bei der Konzeption eines geeigneten Forschungsansatzes. Es kann zwischen quantitativer und qualitativer Forschung unterschieden werden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Quantitative und qualitative Forschung (Quelle: Eigene Darstellung nach Döring & Bortz, 2016, S. 15 f.; Herv. i. O.)

Quantitative Forschung	Qualitative Forschung
Quantitative Sozialforschung („quantitative social research“) steht in der wissenschaftstheoretischen Tradition der <i>Naturwissenschaften</i> . Sie bedient sich im Zuge eines sequenziell strukturierten Forschungsprozesses quantitativer, d. h. <i>strukturierter Methoden der Datenerhebung</i> (z. B.: standardisierte Fragebogenerhebungen, psychologische Testverfahren, physiologische Messungen), aus denen quantitative bzw. <i>numerische Daten</i> (Messwerte) resultieren, die statistischen Methoden der Datenanalyse unterzogen werden.	Qualitative Sozialforschung („qualitative social research“) steht in der wissenschaftstheoretischen Tradition der <i>Geisteswissenschaften</i> . Sie bedient sich im Zuge eines zirkulären bzw. iterativen Forschungsprozesses qualitativer, d. h. <i>unstrukturierter Methoden der Datenerhebung</i> (z. B. teilnehmende Feldbeobachtung, narratives Interview), aus denen qualitative bzw. <i>nicht numerische Daten</i> (d. h. Text-, Bild- und Videomaterial) resultieren, die <i>interpretativen Methoden der Datenanalyse</i> unterzogen werden.

Quantitative und qualitative Forschung unterscheiden sich u. a. in ihrer wissenschaftstheoretischen Verankerung und den verwendeten Methoden der Datenerhebung und -auswertung. Im Folgenden wird begründet, warum ein qualitativer Forschungsansatz vielversprechender als ein quantitativer Forschungsansatz ist, um „brauchbare“ berufswissenschaftliche Erkenntnisse für die Entwicklung und Schärfung des Weiterbildungskonzeptes zu gewinnen.

In der wissenschaftlichen Literatur konnten erste Hinweise und Anknüpfungspunkte zur Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung identifiziert werden. Um einen geeigneten empirischen Bezugsrahmen für das Weiterbildungskonzept zu haben, müssen Daten direkt aus der Praxis der Produktionsplanung und -steuerung erhoben werden. Dieser empirische Bezugsrahmen ist ein Qualitätsmerkmal für wissenschaftlich entwickelte Weiterbildungskonzepte und wird z. B. auch von Faulstich & Haberzeth (2018) gefordert:

Empirische Forschung für die „berufliche Weiterbildung“ ist immer noch desiderat. Oft werden zu schnell Programme und Modelle konstruiert und aufgelegt, ohne dass entsprechende kritische Empirie vorlaufen oder begleiten würde. (Faulstich & Haberzeth, 2018, S. 306)

Das Forschungsfeld der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 ist bisher wenig erforscht. Es gibt nur vereinzelte und aufgrund der beschleunigten technologischen Entwicklung wenig aktuelle Untersuchungen zu dieser Berufsuntergruppe, insbesondere im Hinblick auf die Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems. (Kapitel 2.1.3) Auch für die Berufe im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung liegen keine aktuellen empirischen Daten zu den Entwicklungen in Richtung Industrie 4.0 vor. Studien zur Aus- und Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0 liefern kaum Hinweise, die sich auf einzelne Erwerbsberufe oder Berufsgruppen beschränken. Vielmehr werden sehr breite Beschäftigungsgruppen analysiert. Dies liefert allgemeine Tendenzen, lässt aber kaum Rückschlüsse auf Veränderungen der Aufgaben und beruflichen Anforderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu. Auch aus Untersuchungen zu Veränderungen in Ausbildungsberufen lassen sich nur wenige Anknüpfungspunkte für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt ableiten. (Kapitel 2.2.2) Darüber hinaus bieten auch bestehende Weiterbildungskonzepte im Kontext von Industrie 4.0 keine ausreichende Förderung von Wissen und Können in Bezug auf die zweifache Problemstellung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. (Kapitel 2.2.3) Aufgrund des noch unerforschten Untersuchungsbereichs muss daher ein offener Ansatz gewählt werden, der Raum für die Entdeckung noch unbekannter Aspekte lässt. Nach Reinhardt (2012) sind quantitative Forschungsmethoden geeignet, um einzelne Sachverhalte anhand von Zahlen zu überprüfen. Für eine offene Betrachtung, die auch Unbekanntes zulässt, sind seiner Einschätzung nach eher qualitative Forschungsmethoden geeignet. (S. 232) Flick (1986) stimmt dem zu und beschreibt diesen Aspekt einer qualitativen Herangehensweise wie folgt: „Qualitative Verfahren sind aufgrund ihrer Offenheit ge-

genüber dem Forschungsgegenstand besser geeignet, das ‚Fremde‘, Unbekannte zu erforschen, das Teil jeder soziologischen Forschung ist“ (S. 202).

Um einen tatsächlichen Einblick in die Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu erhalten, muss auch die Perspektive dieser Menschen betrachtet werden. Weiter sind die individuellen Sichtweisen ebendieser Beschäftigten zu erfassen, um auch auf dieser Basis Impulse für eine menschenzentrierte Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 setzen zu können.

Im Kontext der Problemstellung der Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 ist es wichtig, auch die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten zu Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz sowie die Zusammenhänge zu erforschen. Prengel et al. (2013) beschreiben diese Exploration subjektiver Sichtweisen als zentrales Element qualitativer Forschung:

Qualitative Forschung sucht die Annäherung an komplexe Einzelfälle, sie interessiert sich für das Zusammenspiel von Makro-, Meso- und Mikroebene. Sie widmet sich den subjektiven und biographisch entstandenen Wirklichkeiten der Adressaten und Akteure pädagogischer Arbeit, den sozialen Interaktionen, den Konstruktionen von Sinn und Bedeutung im Leben von Einzelnen, den Gruppenprozessen und kollektiven Mustern. Es geht ihr darum Denken, Fühlen, Handeln oder Nicht-Handeln von Menschen zu verstehen. (Prengel et al., 2013, S. 34)

Aufgrund des noch wenig erforschten Untersuchungsbereichs und des Erkenntnisinteresses an den Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten erscheint die Wahl eines qualitativen Forschungsdesigns besser geeignet, um „brauchbare“ Erkenntnisse für die Erstellung und Schärfung des Weiterbildungskonzeptes zu gewinnen.

Gleichermaßen wichtig ist es, über das Forschungsdesign einen Rahmen zu schaffen, in dem ein wissenschaftlich fundiertes Weiterbildungskonzept entwickelt werden kann. Das Weiterbildungskonzept wird entwickelt, um Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 zu unterstützen. Wissenschaftliche Erkenntnisse zu den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung und zur digitalen Transformation in der Industrie bilden eine Grundlage für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes. Ferner ist die Anknüpfung an die aktuelle Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Hinblick auf Industrie 4.0 notwendig. Durch Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung soll die Praxis aber auch gezielt gestaltet werden. Es bedarf daher eines offenen Forschungsdesigns, das die wenigen vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse mit einer empirischen Datenerhebung verbindet und einen Rahmen für die Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes bietet. Weiter erscheint es wichtig, das Forschungsdesign so zu konzipieren, dass die Praxis aktiv an der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes mitwirken kann. Bei der Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Anwendungen ist die Einbeziehung der Mitarbeitenden in der Produktion (also der Nutzenden oder Betroffenen) von großer Bedeutung (bspw. Pfeiffer et al., 2018; Fischer, 2022b).

Entsprechend diesem Prinzip der Einbeziehung der Mitarbeitenden in der Produktion gilt dies auch für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Es müssen die Wünsche und Anforderungen der Nutzenden/Betroffenen berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit geht es weniger darum, Handlungsregeln zu rekonstruieren, sondern die Perspektive der Beschäftigten in den Mittelpunkt zu stellen. Daher ist es unabdingbar, die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in die Gestaltung des Weiterbildungskonzeptes einzubeziehen.

Forschungsansätze, die Forschung mit der Entwicklung eines Artefakts oder eines gezielten Eingriffs in die Praxis verbinden, werden auch als gestaltungsorientierte Forschung bezeichnet (u. a. Euler & Sloane, 2018; Fischer, 2018). Im „Handbuch Berufsbildungsforschung“ werden Design-Based Research (Euler & Sloane, 2018) und Modellversuchsforschung (Sloane & Fischer, 2018) als Ansätze zur gestaltungsorientierten Forschung genannt (Fischer, 2018). Euler & Sloane (2018) nennen als weiteren Ansatz einer gestaltungsorientierten Forschung die Aktionsforschung (S. 782). In der Modellversuchsforschung werden Teilfragen der Berufsbildung in der Praxis erprobt. Modellversuche sollen auch Projekte mit dem Anspruch eines Vorzeigbeispiels sein. Ein Modellversuch wird in der Regel durch ein Förderprogramm unterstützt. (Jablonka et al., 2017; Sloane & Fischer, 2018) Mit einem Modellversuch ist noch kein Verfahren der wissenschaftlichen Begleitung und damit der methodischen Konzeption im Detail verbunden. Die Modellversuchsforschung selbst gibt weniger einen Rahmen vor, wie die Erprobung genau ablaufen soll. In Verbindung mit Modellversuchen werden sowohl qualitative als auch quantitative Methoden eingesetzt. (Jablonka et al., 2017) Auch die Implementations- und Evaluationsforschung weist Bezüge zu diesen gestaltungsorientierten Forschungsansätzen auf, „weil erarbeitete Interventionen bzw. unterschiedliche Reifegrade derselben immer auch im Feld erprobt und somit implementiert und dahingehend untersucht werden, auf welche Hindernisse die Realisierung einer Intervention trifft“ (Reinmann, 2017, S. 52). Es soll und muss noch einen Schritt früher angesetzt werden. In dieser Arbeit geht es weniger darum, ein fertiges Weiterbildungskonzept zu erproben und zu schärfen, sondern vielmehr darum, die Anforderungen aus Literatur und Praxis zu erfassen und einen ersten Prototyp zu entwickeln. Es liegen zu wenige wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Praxis vor, um aus diesen Sekundärdaten ein bedarfsgerechtes Weiterbildungskonzept zu entwickeln. (Kapitel 2.1) Diese Intervention gilt es erst passgenau und wissenschaftlich fundiert zusammen mit der Praxis zu erarbeiten. Ein Modellversuch erscheint aus den gleichen Gründen weniger geeignet. Im Rahmen der Aktionsforschung erforschen und entwickeln Forschende einzelne Teilaspekte aus und für ihr eigenes praktisches Handlungsfeld:

Über einen längeren Zeitraum betreiben Praktikerinnen und Praktiker am Ort ihrer Praxis Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu ihrer Fragestellung, wobei sie immer wieder Reflexions- und Aktionskomponenten in Beziehung bringen. ... Auf die eigene Praxis zurückblickend versuchen sie, eine Erklärung der abgelaufenen Situation, eine „praktische Theorie“, zu entwickeln. Von jeder praktischen Theorie kann man auch nach vorne

schauen und Ideen für nachfolgende Handlungen entwickeln. Der Kreislauf von Aktion und Reflexion endet nicht damit, dass neue Ideen für das praktische Handeln formuliert wurden. Praktikerinnen und Praktiker stehen in der Regel unter Handlungsdruck und werden daher diese Aktionsideen in die Tat umsetzen müssen. (Altrichter et al., 2018, S. 13 f.)

Ein gewisser Bezug zur Aktionsforschung ist in der vorliegenden Arbeit nicht zu übersehen. Der Forscher selbst ist zum Zeitpunkt dieses Forschungs- und Entwicklungsprojektes seit mehreren Jahren mit Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems betraut. Der Forscher ist also ein Praktiker im Forschungsbereich und forscht und entwickelt seinen Arbeitsbereich.

Auch das Paradigma des Design-Based Research bietet einen methodologischen Rahmen, um Praxis zu gestalten und gleichzeitig wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen. Für die Gestaltung von DBR-Projekten werden in der wissenschaftlichen Literatur verschiedene Ansätze beschrieben. Eine Gemeinsamkeit der Ansätze ist die Entwicklung der Problemlösung in mehreren Zyklen. Dadurch wird eine schrittweise Annäherung an eine problem- und zielgruppengerechte Lösung ermöglicht. Einer solchen iterativen Entwicklung praktischer Lösungen geht in der Regel eine wissenschaftliche Literaturrecherche und eine empirische Untersuchung der Praxis voraus. (Euler, 2014, S. 19; Reinmann, 2017, S. 51)

Reinmann (2017) identifiziert wesentliche Unterschiede zwischen DBR und Aktionsforschung im Mitwirken der Akteure aus der Praxis und dem Einbezug wissenschaftlicher Literatur. Im Rahmen von DBR werden Personen aus der Praxis nicht wie in der Aktionsforschung selbst zu Forschenden, sondern bringen ihr Erfahrungswissen an relevanten Stellen in den Prozess ein. Dies kann z. B. zur Verfeinerung der Fragestellung oder zur Gestaltung und Schärfung der Intervention sein. Darüber hinaus werden in DBR-Projekten vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Literatur gezielt integriert und gleichbedeutend mit praktischen Ansätzen betrachtet. (S. 51) Für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt ist die Einbeziehung verschiedener Akteure aus einem eng umgrenzten Praxisfeld wichtig. Die Ergebnisse sind nicht auf den speziellen Unternehmensbereich des Forschers zu beschränken. Ebenso erscheint es schwierig, mehrere Forschende mit umfangreicher praktischer Erfahrung aus dieser Berufsgruppe für Forschungsaufgaben in der Berufsbildung zu gewinnen.

Die Einbettung in den methodologischen Rahmen des „Design-Based Research“ erscheint als eine vielversprechende Möglichkeit, die zentrale Forschungsfrage der Arbeit zu beantworten. Ziel des Forschungsansatzes des DBR ist es, den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn mit der Entwicklung innovativer Lösungen für praktische Problemstellungen zu verbinden (Euler, 2014, S. 16). Dieses Ziel wird auch in der vorliegenden Arbeit verfolgt. Mit dem Weiterbildungskonzept wird eine neuartige Lösung für die zweifache praktische Problemstellung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt. Gleichzeitig werden wissenschaftliche Erkenntnisse für die Berufsbildungsforschung erarbeitet. Dies erfolgt zum einen durch die Erfassung der Arbeitspraxis in den Berufen der technischen Produktionspla-

nung und -steuerung. Zum anderen werden Gestaltungsprinzipien für Weiterbildungskonzepte für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt und verfeinert. Design-Based Research scheint einen geeigneten methodologischen Rahmen für die Umsetzung dieser Ziele zu bieten. „DBR-Modelle gehen in der Regel davon aus, dass bestehende Probleme in der Praxis den Ausgangspunkt der Forschung bilden, zu dessen Lösung eine Intervention entwickelt wird, die dann erprobt, evaluiert und sukzessive verbessert wird.“ (Reinmann, 2017, S. 51)

Der Ablauf dieser Untersuchung orientiert sich an den von Euler (2014) beschriebenen Forschungs- und Entwicklungszyklen (S. 20). Der gesamte Prozess und die einzelnen Phasen werden detailliert beschrieben, z. B. auch welche Fragen in welcher Phase des Prozesses beantwortet werden müssen (Euler & Sloane, 2018, 2014). Diese enge Anlehnung an den Ansatz von Euler dient auch der Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Forschungsprozesses. Euler schlägt als grundsätzlichen Ablauf eines DBR-Projektes ein Modell mit sechs verschiedenen Phasen vor (Abbildung 19).

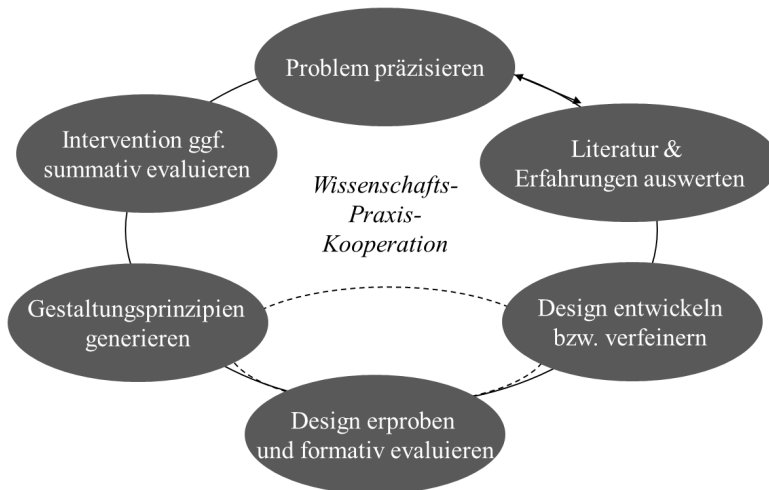


Abbildung 19: Forschungs- und Entwicklungszyklen im Rahmen des DBR (Quelle: Eigene Darstellung nach Euler, 2014, S. 20)

Ausgangspunkt für ein DBR-Projekt ist die Identifikation einer bedeutsamen praktischen Problemstellung, deren Lösung einen innovativen Ansatz erfordert (Euler & Sloane, 2018, S. 782). Ziel der Phase „Problem präzisieren“ ist es, eine bedeutsame Herausforderung zu identifizieren und zu beschreiben. Projektziele, der Rahmen des Entwicklungsprozesses und die Anforderungen an die Innovation werden in dieser Phase im Detail festgelegt. Die Beschreibung muss sowohl aus der Sicht der Wissenschaft als auch der Praxis erfolgen und beide Seiten, d. h. den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und den praktischen Nutzen, berücksichtigen. Die Phase „Literatur und Erfahrungen auswerten“ dient der Durchführung einer empirischen Untersuchung und der Auswertung der Literatur. Unter anderem geht es auch darum, die Pro-

blemstellung weiter einzugrenzen und die relevanten Personen in der Praxis zu identifizieren. In dieser Phase werden auch die Erfahrungen aus der Praxis gesammelt und ausgewertet. Im nächsten Schritt des Forschungs- und Entwicklungszyklus „Design entwickeln und verfeinern“ wird zunächst ein Prototyp für einen begrenzten Kontext entwickelt. Die Einbeziehung der Praxis ist in dieser Phase von großer Bedeutung. Sie haben das Wissen und das Gespür, wo die entscheidenden Besonderheiten für die praktische Umsetzung liegen. Für das Gütekriterium der Nachvollziehbarkeit ist in dieser Phase auch die Dokumentation des Wissenserwerbs von besonderer Bedeutung. Es folgt die Phase „Design erproben und formativ evaluieren“. Ziel dieser Phase ist es einerseits, die Anwendbarkeit der Entwürfe in realen Praxisumgebungen zu untersuchen. Während der Umsetzung werden weitere Verbesserungen erarbeitet. Gegenstand des Schrittes „Gestaltungsprinzipien generieren“ ist die Überprüfung der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse. Es werden Gestaltungsprinzipien für eine Intervention in einem bestimmten Anwendungsfeld entwickelt. Die Phasen „Design entwickeln und verfeinern“, „Design erproben und formativ evaluieren“ und „Gestaltungsprinzipien generieren“ können mehrfach durchlaufen werden. Die Lösung soll so schrittweise verbessert werden. Am Ende steht die Phase „Intervention und ggf. summativ evaluieren“. Wenn die entwickelte Lösung einen gewissen Reifegrad erreicht hat, wird sie an einer größeren Zielgruppe getestet und evaluiert. Das Ergebnis sind verfeinerte Gestaltungsprinzipien für ein abgegrenztes Handlungsfeld. (Euler, 2014, S. 25 f.)

Nach der Ansicht von Reinmann (2017) liegt die Besonderheit des Forschungsansatzes weniger in der Methode als vielmehr in der Lösung eines bildungspraktischen Problems und der gleichzeitigen Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse (S. 50). Eine ähnliche Position vertritt Euler (2014). Während der Entwicklung der Problemlösung werden die Ergebnisse sowie die Gestaltungsprinzipien fortlaufend dokumentiert. Es werden Hypothesen formuliert, die während des Prozesses überprüft werden können. Erweisen sie sich als falsch, werden sie nicht verworfen, sondern den neuen Erkenntnissen angepasst. (S. 20) Mit dem vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt können somit in zweifacher Hinsicht neue Erkenntnisse für die Berufsbildungsforschung gewonnen werden. Zum einen liefert die empirische Erfassung der Arbeitspraxis in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung einen bislang weitgehend unbekannten Einblick in die aktuelle Praxis dieser Berufsuntergruppe. Zum anderen werden im Rahmen der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes wissenschaftliche Erkenntnisse und Theorien für die betriebliche Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erarbeitet. Ausgehend von den Gestaltungsprinzipien für diesen kleinen Ausschnitt aus der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung wird geprüft, inwieweit die Ergebnisse verallgemeinert werden können.

Das Weiterbildungskonzept wird entwickelt, um Akteure der betrieblichen Bildung und Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bei der Lösung einer aktuellen praktischen Problemstellung zu unterstützen. Einerseits werden auch für die Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung

weitreichende Veränderungen prognostiziert (Spath, 2013, S. 105). Zum anderen haben die Beschäftigten selbst eine aktive Rolle bei der Gestaltung von Industrie 4.0. Eine zentrale Aufgabe der Beschäftigten ist die Gestaltung und Optimierung der Produktionssysteme (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 410). In dieser Rolle können sie die Produktionssysteme auf dem Weg zur Industrie 4.0 mitgestalten und haben damit auch Einfluss auf die menschliche Arbeit in der Produktion der Zukunft. Sie stehen damit nicht nur vor der Herausforderung, sich auf neue Aufgaben einzustellen, sondern haben auch die anspruchsvolle Aufgabe, auf die Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion zu achten. Nach Euler & Sloane (2018) geht es beim DBR-Ansatz weniger um die Beschreibung der aktuellen Realität, sondern vielmehr um die Entwicklung innovativer Lösungen für die Praxis (S. 782).

Der DBR-Ansatz bietet einen geeigneten Rahmen zur Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Mit diesem methodologischen Rahmenkonzept können wissenschaftliche Erkenntnisse und gleichzeitig Erfahrungen aus der Praxis in das Weiterbildungskonzept einfließen. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung können umfassend eingebunden und zu Mitgestaltenden des Weiterbildungskonzeptes werden.

3.1.2 Forschungsdesign

In diesem Kapitel werden die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis sowie der Forschungs- und Entwicklungsprozess beschrieben. Ferner werden die der Arbeit zugrunde liegenden Bewertungs- und Qualitätskriterien erläutert und die Aktivitäten zur Einhaltung dieser Kriterien beschrieben.

Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis

Nach Euler (2014) müssen Fachleute aus der Praxis mit umfangreichem Erfahrungswissen in verschiedenen Phasen des Forschungs- und Entwicklungsprozesses einbezogen werden. Dies ermöglicht einen anderen Zugang zur Praxis als die „distanzierte Forschung“. Die Klärung dieser Zusammenarbeit zwischen Praxis und Wissenschaft ist für den Erfolg von DBR-Projekten von großer Bedeutung. (S. 18 f.) Ziel der Arbeit ist die Erstellung eines Weiterbildungskonzeptes für Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie. Der zentrale Fokus liegt dabei auf den Aufgaben der Gestaltung von Produktionssystemen. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind überwiegend in Industriebetrieben tätig. Nicht alle Beschäftigten dieser Berufsuntergruppe haben Erfahrung mit der Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. Bei diesem Untersuchungsfeld handelt es sich um einen begrenzten Personenkreis mit Schlüsselinformationen über die Gestaltung einer Industrie 4.0. Die Auswahl der Forschungsteilnehmenden dem Zufall oder einer Wahrscheinlichkeit zu überlassen, erscheint daher wenig sinnvoll. Die Auswahl der Forschungsteilnehmenden erfolgte nach dem von Marshall (1996) als „Judgement Sample“ beschriebenen Verfahren. Bei dieser Vorgehensweise wählt der Forschende

aktiv die für die Beantwortung der Fragestellung am besten geeigneten Forschungsteilnehmenden aus. (S. 523) Forschungsteilnehmende mit Schlüsselinformationen müssen gezielt identifiziert und kontaktiert werden. Die Forschungsteilnehmenden werden durch zwei Merkmale eingegrenzt:

- Die Forschungsteilnehmenden müssen Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung nach der Klassifikation der Bundesagentur für Arbeit (2021a, 2021b) sein.
- Die Forschungsteilnehmenden müssen selbst bereits an Projekten zur Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Anwendungen mitgearbeitet oder diese Projekte geleitet haben.

Einschätzungen zur Beantwortung dieser Fragen wurden nicht vom Forschenden, sondern von den Forschungsteilnehmenden selbst vorgenommen. Aufgrund dieser begrenzten Anzahl an potenziellen Forschungsteilnehmenden mit Schlüsselinformationen mussten verschiedene Rekrutierungswege gewählt werden. Die Kontakte des Promotionsbetreuers zum „Forschungsinstitut Betriebliche Bildung“ in Nürnberg wurden zur Gewinnung potenzieller Forschungsteilnehmender herangezogen. Ebenso wurden Vertreter von Unternehmen mit Projekten auf der Landkarte „Anwendungsbeispiele Industrie 4.0“ der Plattform Industrie 4.0 (www.plattform-i40.de) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz kontaktiert. Auch wurde das Netzwerk des Forschenden als Quelle für potenzielle Forschungsteilnehmende genutzt.

Innerhalb dieser Abgrenzung wurde eine Variation vorgenommen. Die Auswahl der Forschungsteilnehmenden erfolgt aus verschiedenen Werken und Unternehmen mit unterschiedlichem Technisierungsgrad und Organisationsstruktur. Um die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Untersuchung und der Ergebnisse zu gewährleisten, werden im Folgenden Merkmale zur Zusammensetzung der Forschungsteilnehmenden dargestellt. Die Forschungsteilnehmenden waren zum Zeitpunkt der ersten Kontaktaufnahme in vier verschiedenen Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie⁵ und an insgesamt sechs verschiedenen Standorten beschäftigt. In einem Unternehmen wurden Beschäftigte an drei verschiedenen Standorten einbezogen. Im Rahmen der Interviews wurden in einem Kurzfragebogen Merkmale der von den Forschungsteilnehmenden gestalteten Produktionssysteme erfasst. Die Auflagengröße⁶ wurde entweder beim Ausfüllen des Kurzfragebogens thematisiert und dokumentiert oder in den Interviews angesprochen. Die an dieser Arbeit beteiligten Forschungsteilnehmenden gestalten Produktionssysteme mit unterschiedlichen Produkten und unterschiedlichen Auflagengrößen. Einige der Forschungsteilnehmenden gaben auch mehrere Produkte oder unterschiedliche Auflagengrößen an:

5 Die Verortung des Untersuchungsfeldes in diesen Wirtschaftszweigen erscheint geeignet, einen fortgeschrittenen Umsetzungsstand von Industrie 4.0 abzubilden. Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie kann nach Einschätzung des Zentralverbands der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie im gesamtwirtschaftlichen Vergleich als führend in der Anwendung digitaler Technologien angesehen werden. (ZVEI – Verband der Elektro- und Digitalindustrie, 2016, S. 4)

6 Produktionssysteme können u. a. nach der Auflagengröße unterschieden werden. Die Unterscheidung nach der Auflagengröße bezieht sich auf die Anzahl der Produkte, die nach einem Rüstvorgang produziert werden. Es wird zwischen Einzelfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung unterschieden. (Günther & Tempelmeier, 2020, S. 10)

- Einzelproduktion: Schaltschränke
- Serienproduktion: HMI-Bedien- und Beobachtungsgeräte, industrielle Panels und Flachbaugruppen
- Massenproduktion: Aluminiumstrukturbauteile, Autokarosserien, Hochvoltspeicher, elektromechanische Komponenten für Pkws, elektronische Steuerungen, FI-Schalter, Komponenten für automatikbetriebene Abgaseinrichtungen, Elektronik, Leistungselektronik, elektronische Steuergeräte, Leistungsschalter, Brandschutzschalter, Hochdruckpumpen, elektronische Flachbaugruppen

Die Forschungsteilnehmenden hatten zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 1 und 15 Jahren Berufserfahrung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Der Durchschnitt lag bei 7,63 Jahren. Zwei der Forschungsteilnehmenden haben einen Meister- oder Technikerabschluss. Acht der Forschungsteilnehmenden haben einen Hochschulabschluss. Eine Person hat promoviert. Hinsichtlich der Qualifikation können die Forschungsteilnehmenden den DQR-Niveaus 6, 7 und 8 zugeordnet werden (Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013, S. 36). Nach der Klassifikation der Berufe 2010 der Bundesagentur für Arbeit (2021a) sind Beschäftigte mit diesen Qualifikationen dem Anforderungsniveau 3: Komplexe Spezialistentätigkeiten und dem Anforderungsniveau 4: Hochkomplexe Tätigkeiten zugeordnet (S. 26 f.).

Neben der Nachvollziehbarkeit und Transparenz aufseiten der Forschungsteilnehmenden ist dies auch für die Rolle und die subjektiven Merkmale des Forschers zu beschreiben. Döring & Bortz (2016) weisen darauf hin, dass subjektive Eigenschaften der Forschenden, die die Art und Qualität der Daten beeinflussen können, umfassend dokumentiert und kritisch reflektiert werden müssen (S. 111). Der Forscher war selbst bereits an mehreren Projekten zur Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Technologien beteiligt. Eines der beteiligten Unternehmen ist der Arbeitgeber des Forschers. Mit drei Personen hat der Forscher persönlich in einer Organisationseinheit zusammengearbeitet. In der Untersuchung und den problemzentrierten Interviews geht es weniger um die Überprüfung von Theorien, sondern um die Erkundung von Erfahrungen und individuellen Sichtweisen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit dem Fokus auf die Gestaltung der Produktionssysteme auf dem Weg zu Industrie 4.0. Um zu vermeiden, dass die Ergebnisse durch das Vorwissen des Forschenden eingeschränkt werden, muss Transparenz geschaffen und reflektiert werden. Es muss reflektiert werden, wie dieses Vorwissen die Ergebnisse beeinflussen könnte (Reinders, 2012, S. 34). Der Forscher hat im eigenen Arbeitsumfeld praktische Erfahrungen mit der Vernetzung und Digitalisierung von Produktionsprozessen, mit Robotik und fahrerlosen Transportsystemen gesammelt. Die Betrachtung der Technologien und Anwendungen darf sich keinesfalls auf die dem Forscher bekannten Bereiche beschränken. Dennoch können diese Anwendungen von Industrie 4.0 auch einen Schwerpunkt der heutigen Anwendungen in der Praxis darstellen. Aus diesen Gründen wird darauf geachtet, dass den Forschungsteilnehmenden in den Interviews ein großer Spielraum bei der Auswahl der Projekte eingeräumt wird. Was ein

geeignetes Industrie-4.0-Projekt ist, darf nicht vom Forscher beeinflusst werden, sondern muss von den Forschungsteilnehmenden selbst definiert werden. Der Forscher greift in den Interviews gezielt ein, um die Ausführungen zu den Projekten zu erweitern oder einzelne Aspekte im Umfeld der Problemstellung zu vertiefen. In bisherigen wissenschaftlichen Qualifikationsarbeiten hat sich der Forscher mit technischen und organisatorischen Themenkomplexen im Kontext von Industrie 4.0 beschäftigt. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Erkenntnisse für den Bereich der Berufsbildungswissenschaft gewonnen werden. Es ist daher darauf zu achten, dass in den Gesprächen nicht zu viel Raum für rein technische und organisatorische Elemente gegeben wird, sondern die Kommunikation immer wieder auf die Problemstellung der Arbeit fokussiert wird. Der Forscher vermutet, dass bei der Einführung neuer Technologien meist die technischen Aspekte im Vordergrund stehen.

Forschungs- und Entwicklungsprozess

Die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes erfolgt in Anlehnung an die von Euler (2014) beschriebenen Forschungs- und Entwicklungszyklen (S. 20). Einzelne Elemente dieses Vorgehens werden bis zur Erstellung eines ersten Prototyps des Weiterbildungskonzeptes genutzt. Eine iterative Erprobung und Evaluation des Weiterbildungskonzeptes wird im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet. Dieser für Wissenschaft und Praxis wichtige Schritt kann aufgrund der nicht ausreichenden Anzahl und zeitlichen Verfügbarkeit der Forschungsteilnehmenden nicht durchgeführt werden. Ebenso stehen keine Mittel zur Verfügung, um externe Fachleute für die technischen Inhalte der einzelnen Module zu gewinnen oder Softwarelizenzen zu erwerben.

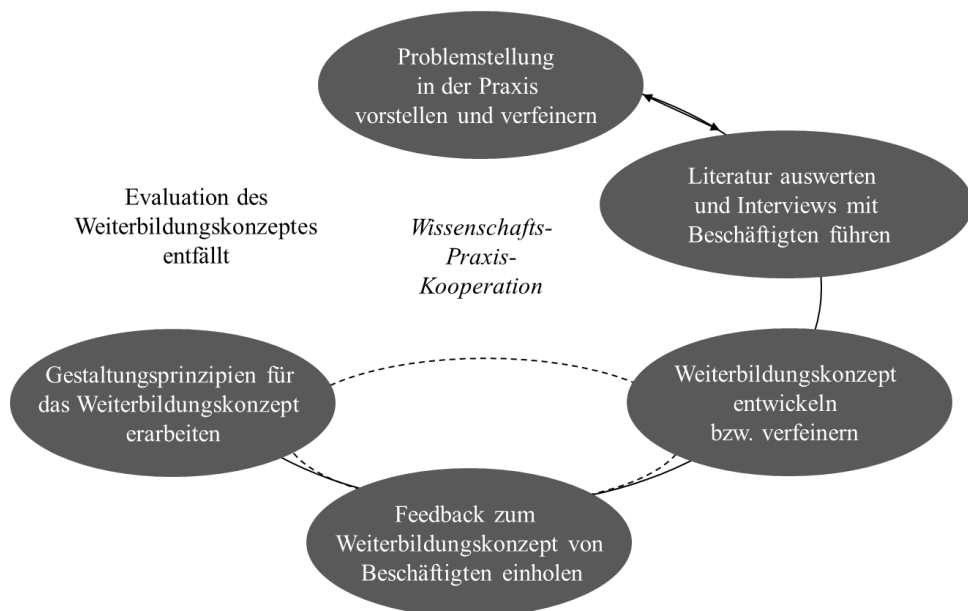


Abbildung 20: Forschungsdesign der Arbeit (Quelle: Eigene Darstellung nach Euler, 2014, S. 20)

In einem ersten Schritt wird eine gemeinsame Problemstellung von Wissenschaft und Praxis herausgearbeitet und formuliert. Dies ist die Basis für ein langfristiges gemeinsames Handeln und die Akzeptanz des Forschungsvorhabens (Dilger & Euler, 2018, S. 8). Nach Euler (2014) ist es wichtig, dass die Beschreibung der Problemstellung aus der Perspektive von Wissenschaft und Praxis erfolgt. Relevante wissenschaftliche Theorien und Rahmenbedingungen sowie das Erfahrungswissen der Praxis müssen gleichermaßen in Design-Based-Research-Projekte einfließen (S. 25). In der Praxis finden sich unterschiedliche Ansätze, wie diese Problemstellung gemeinsam erarbeitet werden kann:

In einem Extrem geht der Impuls für die Problembestimmung und -präzisierung von der Wissenschaft aus. Die Forschenden sehen mögliche Problemfelder und beschreiben diese aus ihrer Perspektive. Um die Idee in ein DBR-Projekt zu überführen, wäre im nächsten Schritt die Praxis für das Projekt zu sensibilisieren, zu überzeugen und für eine Kooperation zu gewinnen. Sie muss die Ausgangsidee prinzipiell teilen und sich auf eine gemeinsame Präzisierung einlassen. Im anderen Extrem tritt die Bildungspraxis mit „ihrem“ Problem an die Wissenschaft heran und wirbt um Unterstützung. In diesem Fall ist es die Wissenschaft, die den „Auftrag“ in seinem Problemgehalt auf sein Potential für ein DBR-Projekt prüfen muss. (Dilger & Euler, 2018, S. 7)

Für dieses Projekt wurde eine erste Problembeschreibung durch Recherche und Aufbereitung der wissenschaftlichen Literatur und der Erfahrungen aus der Berufspraxis des Forschers in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entwickelt (Tabelle 13).

Während der Suche nach Forschungsteilnehmenden wurde die Problemstellung mit potenziellen Forschungsteilnehmenden, Führungskräften aus dem Produktionsumfeld und Verantwortlichen für die berufliche Bildung aus verschiedenen Unternehmen diskutiert. Die Problemstellung wurde erläutert und die Relevanz für die Praxis diskutiert. Für diesen ersten Termin waren 30 Minuten vorgesehen. In den ersten 15 Minuten wurde der aktuelle Stand der Problemstellung durch den Forscher vorgestellt. Die zweiten 15 Minuten waren der Diskussion und Schärfung der Problemstellung gewidmet. Die Problemstellung wird auch in der Praxis als wichtig erachtet. Weiter wurden Informationen zum grundsätzlichen Ablauf der Interviews und zu den thematischen Schwerpunkten gegeben. Potenzielle Forschungsteilnehmende wurden um eine Selbsteinschätzung gebeten, ob sie sich der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung zuordnen würden und ob sie selbst schon an Projekten zur Gestaltung des Produktionssystems mit Industrie-4.0-Anwendungen mitgearbeitet haben. Wurden beide Fragen bejaht, wurde ein Termin für ein Interview vereinbart. Die Termine zur Kontaktaufnahme, Erläuterung und Diskussion der Problemstellung wurden im Zeitraum Februar 2021 bis September 2021 durchgeführt. Eine Person äußerte den Wunsch, die Kommunikation in englischer Sprache zu führen. Deswegen wurden die Erläuterung und Diskussion der Problemstellung sowie dieses Interview in englischer Sprache durchgeführt. Der Leitfaden und der Kurzfragebogen wurden in die englische Sprache übersetzt. Im Anschluss an dieses Kennenlerngespräch wurden einige der potenziellen Forschungsteilnehmenden gefragt,

ob sie weitere Personen kennen, die für die Untersuchung infrage kämen und denen das Projekt vorgestellt werden dürfte.

Tabelle 13: Problembeschreibung des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes (Quelle: Eigene Darstellung)

Problembeschreibung des DBR-Projektes
<p>Die Arbeit in der industriellen Produktion verändert sich im Wandel zu einer Industrie 4.0. Darüber, dass Industrie 4.0 gestaltbar ist, sind sich die Experten einig; über das Wie gibt es unterschiedliche Vorstellungen. Hier die richtigen Weichen zu stellen, scheint eine wichtige und zugleich herausfordernde Aufgabe für die menschliche Arbeit in der Produktion der Zukunft zu sein. Eine in diesem Zusammenhang interessante Berufsgruppe ist die technische Produktionsplanung und -steuerung. Einerseits werden auch für die Aufgaben dieser Beschäftigten weitreichende Veränderungen prognostiziert. Andererseits nehmen sie selbst auch eine aktive Rolle zur Gestaltung einer Industrie 4.0 ein. Eine zentrale Aufgabe der Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist die Neuplanung und Anpassung der Produktionsinfrastruktur. Dadurch können sie einen Beitrag zur Gestaltung der Produktionssysteme auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 leisten und haben Einfluss auf die menschliche Arbeit der Zukunft. Sie stehen daher nicht nur vor der Herausforderung, sich an neue Aufgaben anzupassen, sondern haben auch die anspruchsvolle Aufgabe, auf die Arbeitsbedingungen der Menschen in der Produktion zu achten. Ein Weiterbildungskonzept für die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung könnte einen Beitrag zur Lösung dieser zweifachen Problemstellung liefern. Die sich hieraus ergebende zentrale Fragestellung lautet: Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein? Untersuchungen zu Arbeitsaufgaben, Anforderungen oder Herausforderungen der Beschäftigten im Wandel zu einer Industrie 4.0 wurden bisher nur sehr fachübergreifend durchgeführt. Die Berufsgruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurde nicht im Detail betrachtet. Vorhandene empirische Untersuchungen in der Berufsgruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung können keinen aktuellen Stand abbilden oder gar eine Prognose auf die Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 wagen. Eine empirische Ermittlung der Arbeitsaufgaben, Anforderungen oder Herausforderungen im Kontext einer Industrie 4.0 ist im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung bisher ein Forschungsdesiderat. Daher soll zunächst die Arbeitspraxis dieser Beschäftigten im Hinblick auf eine Industrie 4.0 untersucht werden. Es sollen Interviews mit den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur konkreten Problemstellung „Wie Sie als Betroffene und Gestalter den Wandel zu einer Industrie 4.0 bewältigen“ geführt werden. Das hier gewählte „problemzentrierte Interview“ bietet dabei den notwendigen Raum für die Interviews, auf gänzlich neue Aspekte in ihrer Tätigkeit aufmerksam zu machen und zugleich auch dem Interviewten den Ermessensspielraum, durch gezielte Kommunikation besonders relevante Themen weiter zu ergründen. In den Interviews sollen die Befragten dazu angeregt werden, über Projekte zur Gestaltung der Infrastruktur des Produktionssystems im Kontext von Industrie 4.0 zu berichten, über Erfolge ebenso wie über Schwierigkeiten. Um ein aussagekräftiges Bild aus der Arbeitspraxis der Beschäftigten zu erhalten, sollen Mitarbeitende aus verschiedenen Unternehmen interviewt werden. Die einzelnen Unternehmen sollten sich selbst als Vorreiter in der Umsetzung von Industrie 4.0 betrachten. Insbesondere sollen Personen befragt werden, die selbst schon in Projekten zur Neuplanung oder Anpassung der Produktionsinfrastruktur im Kontext von Industrie 4.0 mitgewirkt haben. Ziel ist es, aus den Interviews unter anderem Informationen zu Arbeitsaufgaben, Anforderungen und Herausforderungen der Beschäftigten zu gewinnen. Im Anschluss soll in Anlehnung an das Paradigma des „Design-Based Research“ ein Weiterbildungskonzept für die technische Produktionsplanung und -steuerung konstruiert werden. Das Konzept soll die Beschäftigten unterstützen, den beiden Rollen als Betroffene und Gestalter einer Industrie 4.0 gerecht zu werden. Mit der Erfassung der Arbeitspraxis in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung wäre diese Arbeit eine Bereicherung für die Berufsbildungsforschung. Weiter hätte ein derartiges Weiterbildungskonzept nicht nur für die Beschäftigten und deren Weiterbildung praktische Relevanz, durch eine optimierte Gestaltung der Produktionsumgebung könnte auch ein wirtschaftlicher Nutzen für die Unternehmen erzielt werden.</p>

In der zweiten Phase des Forschungs- und Entwicklungszyklus werden vorhandene Forschungsergebnisse und Erfahrungswissen aus der Praxis erschlossen (Dilger & Euler, 2018, S. 8). In Kapitel 2.1 wurde die wissenschaftliche Grundlage im Umfeld der

Berufsuntergruppe erarbeitet. Die Aufgaben der betrieblichen Funktionen zur Gestaltung des Produktionssystems wurden aus der Literatur ermittelt. Weiter wurden die Berufe und die unterschiedlichen Zugänge zu den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung dargestellt. Empirische Untersuchungen im Umfeld der technischen Produktionsplanung und der Gestaltung von Produktionssystemen wurden vorgestellt. Zur Arbeitspraxis in Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung liegen keine aktuellen empirischen Erhebungen vor. Auch zu den individuellen Erfahrungen und Sichtweisen dieser Beschäftigten bei der Gestaltung von Produktionssystemen mit Industrie-4.0-Anwendungen konnten keine Erhebungen aus der Praxis gefunden werden. Im Kapitel 2.2 wurde die wissenschaftliche Grundlage zum Wandel hin zu einer Industrie 4.0 im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung erarbeitet. Es wurden Ansätze zur Gestaltung des Produktionssystems aus verschiedenen Perspektiven vorgestellt. Weiter wurden Chancen und Herausforderungen in Bezug auf die Gestaltung von Arbeit in einer Industrie 4.0 diskutiert. Empirische Untersuchungen zu den Veränderungen beruflicher Anforderungen sind meist übergreifend und nicht auf einzelne Berufe und Tätigkeiten fokussiert. Es konnte keine empirische Untersuchung zu Veränderungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gefunden werden. Es wurden verschiedene Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0 vorgestellt. Einzelne Inhalte scheinen auch für die technische Produktionsplanung und -steuerung relevant. Es konnte kein Weiterbildungskonzept gefunden werden, das eine umfassende Förderung der Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 ermöglicht. Das Erfahrungswissen der Praxis wurde in problemzentrierten Interviews mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung erhoben. Zentrale Problemstellung der Interviews war die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0. In den Interviews wurden die Arbeitsaufgaben, Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten im Kontext von Industrie-4.0-Projekten thematisiert. Dabei wurden auch die Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz in den Mittelpunkt gestellt. Die Auswertung der Interviews erfolgte nach dem Verfahren der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse. Die Hauptkategorien wurden deduktiv aus dem Interviewleitfaden abgeleitet. Unterkategorien wurden aus dem Material gebildet. Aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen und den Erfahrungen aus der Praxis wurde im Anschluss der Prototyp eines Weiterbildungskonzeptes entwickelt. Das Weiterbildungskonzept knüpft an die Arbeitspraxis und die Veränderungen durch Industrie 4.0 an. Weiter wurden die Wünsche der Beschäftigten in die technische Produktionsplanung und -steuerung einbezogen und gestalterische Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung gesetzt. Das Weiterbildungskonzept ist als Leitfaden für die Praxis konzipiert. In diesem Leitfaden werden verschiedene Weiterbildungsmodulare vorgestellt und eine mögliche Realisierung vorgestellt. Ziel ist es, die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 zu fördern. Nach Reinmann (2020) ist bei komplexen Designgegenständen noch zu klären, ob das gesamte Konstrukt zum Designgegenstand gemacht oder ob mit den einzelnen Elementen eine andere Strategie verfolgt

wird (S. 12). In dieser Arbeit wurde die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes als Ganzes als Designgegenstand betrachtet. Der Prototyp des Weiterbildungskonzeptes wurde den Forschungsteilnehmern mit der Bitte um Feedback zurückgegeben. Auf der Grundlage des Feedbacks der Praxis wurden die Gestaltungsprinzipien und der Prototyp des Weiterbildungskonzeptes weiter verfeinert.

Bewertungs- und Gütekriterien

Das Forschungsdesign dieser Arbeit kann als qualitativer Forschungsansatz betrachtet werden, der sich aus mehreren einzelnen Komponenten zusammensetzt. Den methodologischen Rahmen der Arbeit bildet der Ansatz des DBR. Die Erfahrungen aus der Praxis werden mittels problemzentrierter Interviews erhoben. Die Auswertung der Daten erfolgt durch eine strukturierte Inhaltsanalyse. Im Folgenden werden wissenschaftliche Bewertungs- und Gütekriterien für qualitative Studien im Allgemeinen sowie spezifische Bewertungs- und Gütekriterien für die einzelnen Komponenten betrachtet.

Nach Steinke (2010) lassen sich drei Grundpositionen zur Bewertung qualitativer Forschung unterscheiden:

- Quantitative Kriterien für qualitative Forschung
- Eigene Kriterien für qualitative Forschung
- Postmoderne Ablehnung von Kriterien

Steinke erläutert, dass die Bewertung qualitativer Forschungsarbeiten eine eigene Vorgehensweise erfordert und schlägt einen Katalog von Kernkriterien vor (Tabelle 14). Diese breit angelegten Kernkriterien dienen als Rahmen und müssen an die Spezifika der jeweiligen Untersuchung (Fragestellung, Gegenstand und Methodik) angepasst werden.

Tabelle 14: Kernkriterien zur Beurteilung der Qualität qualitativer Studien (Quelle: Eigene Darstellung nach Steinke, 2010, S. 324 f.)

Kernkriterien	Erläuterung und Umsetzungsvorschläge
Intersubjektive Nachvollziehbarkeit	Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit und Möglichkeit zur Bewertung des gesamten Forschungsprozesses. Drei Möglichkeiten der Umsetzung: <ul style="list-style-type: none"> • Dokumentation des Forschungsprozesses • Interpretation in Gruppen • Anwendung kodifizierter Verfahren⁷
Indikation des Forschungsprozesses	Angemessenheit des gesamten Forschungsprozesses an den Untersuchungsgegenstand. Hierzu gibt es sechs wesentliche Aspekte zu beachten: <ul style="list-style-type: none"> • Indikation des qualitativen Vorgehens • Indikation der Methodenwahl • Indikation der Samplingstrategie • Indikation der methodischen Einzelentscheidungen im Kontext der gesamten Untersuchung • Angabe der Bewertungskriterien

⁷ Es werden wissenschaftlich anerkannte Methoden verwendet, die systematisch, umfassend und nachvollziehbar aufbereitet sind und wenig Interpretationsspielraum lassen.

(Fortsetzung Tabelle 14)

Kernkriterien	Erläuterung und Umsetzungsvorschläge
Empirische Verankerung	Bildung und Überprüfung von Hypothesen und Theorien sollte empirisch begründet sein. Hierzu gibt es fünf verschiedene Möglichkeiten: <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung kodifizierter Methoden • Textbelege für die entwickelte Theorie • Analytische Induktion • Prognosen ableiten und prüfen • Kommunikative Validierung
Limitation	Prüfung der Verallgemeinerbarkeit der entwickelten Theorie <ul style="list-style-type: none"> • Fallkontrastierung • Explizite Suche nach abweichenden, negativen und extremen Fällen
Kohärenz	Konsistenz der in der Untersuchung entwickelten Theorie <ul style="list-style-type: none"> • Ausarbeitung Kohärenz der entwickelten Theorie • Darstellung von Widersprüchen und offenen Fragen
Relevanz	Pragmatischen Nutzen der Theorie darlegen <ul style="list-style-type: none"> • Relevanz der Fragestellung • Beitrag der entwickelten Theorie
Reflektierte Subjektivität	Rolle des Forschenden als Subjekt (Forschungsinteressen, Vorannahmen, biografischer Hintergrund usw.) und als Teil der sozialen Welt wird reflektiert in die Entwicklung der Theorie einbezogen. <ul style="list-style-type: none"> • Begleitung des Forschungsprozesses durch Selbstbeobachtung • Reflexion persönlicher Voraussetzungen • Vertrauensbeziehung zwischen Forschenden und Informant als Voraussetzung für die Erhebung von kultur- und gegenstandsangemessene Daten • Reflexion während des Feldeinstiegs

Nach Döring & Bortz (2016) kann diese Checkliste auch für die Planung und Durchführung qualitativ hochwertiger Studien verwendet werden. Dabei sollten die einzelnen Kriterien nicht einfach abgearbeitet, sondern für die jeweilige Arbeit ausgewählt, angepasst oder erweitert werden. (S. 111)

Neben diesen allgemeinen Gütekriterien qualitativer Forschung lassen sich in der Literatur auch methodenspezifische Kriterien identifizieren. Die Gütekriterien für den methodologischen Rahmen des DBR, das problemzentrierte Interview als Methode der Datenerhebung und die inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse als Methode der Datenauswertung, sind daher grundsätzlich auch für diese Studie relevant. Für wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen des DBR sind insbesondere die Gütekriterien Praxisrelevanz und intersubjektive Nachvollziehbarkeit von Bedeutung. Nach Reinmann (2005) gehören auch Neuartigkeit, Nützlichkeit und Nachhaltigkeit der Intervention zu den Qualitätskriterien von Design-Based-Research-Projekten (S. 63). Euler (2014) nennt die Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit der Wissensgenese während der schrittweisen Entwicklung der Lösung als wichtige Aufgabe der Forschenden (S. 27). Auch Sandoval (2014) hält es für unabdingbar, Vermutungen, Hypothesen und erste Theorien während des Forschungs- und Entwicklungsprozesses transparent zu dokumentieren.

Helfferrich (2011) beschreibt verschiedene Möglichkeiten der methodischen Kontrolle als Gütekriterien für qualitative Interviews:

- Methodische Kontrolle über Offenheit
- Methodische Kontrolle über Reflektivität
- Methodische Kontrolle über intersubjektive Nachvollziehbarkeit

Weiter ist aus ihrer Sicht die Reflektivität in der Erhebungssituation ein relevantes Gütekriterium. Es gilt zu fragen: Welche expliziten und impliziten Vorannahmen und Erwartungen, aber auch Befürchtungen und Bewältigungstendenzen bringen sowohl Interviewende als auch Interviewte in die Erhebungssituation ein? (S. 156–157)

Kuckartz (2018) schlägt für die Gütekriterien der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse die Unterscheidung zwischen interner und externer Studiengüte vor. Die Kriterien der internen Studiengüte beziehen sich auf die Auswertung der Daten selbst. Die Fragen der Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit, die unter der externen Studienqualität zusammengefasst werden, beziehen sich auf das gesamte Studiendesign. (S. 203) Da nur die für die Datenauswertung und die inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse spezifischen Kriterien berücksichtigt werden sollen, werden als zusätzliche Gütekriterien für die Datenauswertung nur die Kriterien der internen Studienqualität herangezogen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Checkliste interne Studiengüte (Quelle: Eigene Darstellung nach Kuckartz, 2018, S. 205)

Datenerfassung und Transkription
<ul style="list-style-type: none"> • Wurden die Daten fixiert z. B. bei Interviews in Form von Audio- oder Videoaufnahme? • Wurde eine interviewbegleitende Dokumentation (Postskriptum) erstellt, in der die Interviewsituation und Besonderheiten festgehalten wurden? • Wann wurde das Postskriptum erstellt? • Wurde eine vollständige Transkription des Interviews vorgenommen? • Wurden Transkriptionsregeln benutzt und werden diese offengelegt? • Wie sah der Transkriptionsprozess konkret aus? • Wer hat transkribiert? Die Forschenden selbst? • Wurde Transkriptionssoftware benutzt? • Wurden die Daten anonymisiert? In welcher Weise? • Ist das synchrone Arbeiten mit Audioaufnahme und Transkription möglich? • Wurden die Transkriptionsregeln eingehalten und entspricht die verschriftlichte Fassung dem Gesagten?
Durchführung
<ul style="list-style-type: none"> • Ist die gewählte inhaltsanalytische Methode der Fragestellung angemessen? • Wird die Wahl der Methode begründet? Wenn ja, wie? • Wurde das jeweilige Verfahren in sich richtig angewendet? • Wurde die Inhaltsanalyse computergestützt durchgeführt? • Wurde das Material oder Teile desselben durch mehrere Codierende unabhängig voneinander bearbeitet? • Wie wurde die Übereinstimmung der Codierenden ermittelt? Welches Vorgehen wurde bei Nicht-Übereinstimmung gewählt? • Ist das Kategoriensystem in sich konsistent? • Sind die Kategorien und Subkategorien gut ausgearbeitet? • Wie präzise und ausführlich sind die Kategoriendefinitionen? • Gibt es konkrete Beispiele (Zitate) als Illustration für die Bedeutung der Kategorien? • Wurden alle erhobenen Daten bei der qualitativen Inhaltsanalyse berücksichtigt? • Wie oft wurde das Material bis zur endgültigen Codierung durchlaufen?

(Fortsetzung Tabelle 15)

- Ist Auditierbarkeit, d. h. unter anderem Nachvollziehbarkeit der Codierung, gegeben?
- Wurden auch abweichende Fälle berücksichtigt? Wird auf Ausnahmefälle und Extremfälle hingewiesen und werden diese analysiert?
- Wurden im Verlauf der Inhaltsanalyse Memos geschrieben? Wann? Wie sahen beispielhafte Memos aus?
- Wurde mit Originalzitate gearbeitet und nach welchen Kriterien wurden diese ausgewählt? Wurden nur Techniken selektiver Plausibilisierung angewendet oder auch auf Gegenbeispiele und Widersprüche hingewiesen?
- Sind die Schlussfolgerungen jeweils in den Daten begründet?
- Was wurde wie und in welcher Form dokumentiert und archiviert?

Im Folgenden werden, wie von Döring & Bortz (2016) empfohlen, die von Steinke (2010) vorgeschlagenen Kernkriterien herangezogen und um methodenspezifische Kriterien erweitert. Die Aktivitäten zur Einhaltung und Umsetzung der Kriterien werden beschrieben.

Die intersubjektive Nachvollziehbarkeit der Arbeit wird durch eine umfassende Dokumentation des Forschungsprozesses und die Anwendung anerkannter Methoden, die systematisch, umfassend und nachvollziehbar aufbereitet sind, gewährleistet. Der Forschungsprozess ist detailliert dokumentiert. Die Auswahl der Methoden und ihre Umsetzung werden ausführlich begründet und beschrieben. Das Forschungsdesign dieser Studie ist eng an die folgenden Methoden angelehnt:

- Design-Based Research (Euler, 2014; Euler & Sloane, 2018)
- Problemzentriertes Interview (Witzel, 1985; Kühn & Witzel, 2000; Witzel, 2000)
- Inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018)

Die einzelnen Verfahren wurden von den Autoren systematisch aufbereitet, umfassend und nachvollziehbar beschrieben. Damit stehen klare und umsetzbare Leitlinien für diese Studie zur Verfügung. Die Vorannahmen und die subjektive Rolle des Forschers sind dargelegt. Die Entwicklung des Leitfadens und die Vorgehensweise bei den problemzentrierten Interviews werden begründet und beschrieben. Das genaue Vorgehen bei der strukturierenden Inhaltsanalyse wird erläutert. Unter anderem wird die Art der Kategorienbildung begründet und Beispiele für Ober- und Unterkategorien beschrieben. Die Transkriptionsregeln werden ebenfalls offengelegt. Die Dokumentation des Erkenntnisgewinns bei der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes erfolgt durch die Offenlegung der Gestaltungsprinzipien vor der Entwicklung des Konzeptes. Weiter werden die Rückmeldungen der Forschungsteilnehmenden und die darauf basierenden Anpassungen der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes erfasst. Die Gestaltungsprinzipien werden nachvollziehbar und umfassend dokumentiert und ein Bezug zu wissenschaftlicher Literatur und empirischen Ergebnissen hergestellt.

Die Angemessenheit des Forschungsprozesses in Bezug auf den Gegenstand wird ausführlich begründet. Die Wahl eines qualitativen oder quantitativen Vorgehens wird begründet. Gründe der Entscheidung für den methodologischen Rahmen und die einzelnen Methoden werden ebenfalls erläutert. Die Auswahl der Forschungsteilnehmenden wird dargestellt und erläutert. Des Weiteren wird die Abstimmung der

einzelnen Methoden aufeinander begründet. Schließlich werden in diesem Kapitel auch die Bewertungskriterien und ihre Angemessenheit in Bezug auf Gegenstand, Methode und Fragestellung dargestellt.

Die empirische Verankerung der Arbeit wird durch eine systematische Auswertung mit dem Verfahren der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) gewährleistet. Weiter werden direkte Textbelege aus den Interviews zitiert. Mit den aus der wissenschaftlichen Literatur und den Ergebnissen der empirischen Untersuchung gewonnenen ersten Gestaltungsprinzipien wird ein Weiterbildungskonzept erstellt. Dieses Weiterbildungskonzept wird anschließend mit den Forschungsteilnehmenden aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung kommunikativ validiert. Dadurch werden die Gestaltungsprinzipien geschärft.

Am Ende der Arbeit wird in der Limitation diskutiert, inwieweit die Ergebnisse verallgemeinert werden können. Dabei wird Bezug genommen auf die Ergebnisse der empirischen Untersuchung zur Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und auf deren zweifache Problemstellung als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie. Darüber hinaus wird eine mögliche Verallgemeinerung des Weiterbildungskonzeptes und der Gestaltungsprinzipien diskutiert und die Einschätzung des Forschers dazu begründet.

Das Kriterium der Relevanz bezieht sich u. a. auf das Weiterbildungskonzept und die Gestaltungsprinzipien. Ein praktischer Nutzen des Weiterbildungskonzeptes wird für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (bessere Berufschancen), für die Beschäftigten in der Produktion (Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung) und für die Unternehmen (Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Gestaltung der Produktion nach ganzheitlichen Kriterien) gesehen. Die Gestaltungsprinzipien bieten den Verantwortlichen in der beruflichen Bildung Ansatzpunkte für die Entwicklung eigener, unternehmensspezifischer Weiterbildungskonzepte.

Die reflektierte Subjektivität wird durch verschiedene Elemente zur Reflexion gewährleistet. Nach jedem Gespräch wird ein Gesprächsprotokollbogen ausgefüllt. Dies dient u. a. der Reflexion der Interviewsituation. Darüber hinaus werden einige der interviewten Personen auch nach Abschluss der Interviewsituation informell nach ihrer Meinung zur Verbesserung der Interviewsituation befragt. Dabei geht es vor allem um die subjektive Wahrnehmung der interviewten Personen. Ziel ist es, eine vertrauensvolle Atmosphäre zu schaffen, in der die Forschungsteilnehmenden ihre subjektiven Meinungen und Ansichten frei und ehrlich äußern können. Nach Abschluss der Studie wird auch reflektiert, inwieweit das Forschungsdesign zur Beantwortung der Forschungsfrage geeignet war. Darüber hinaus werden die Chancen und Herausforderungen beschrieben, die sich aus der Situation des Forschers als Teil des Feldes ergeben.

Die beschriebenen Gütekriterien erscheinen für diese Untersuchung angemessen. Es wurden sowohl allgemeine Kriterien für qualitative Studien als auch methodenspezifische Kriterien berücksichtigt. Der Untersuchungsgegenstand und die forschungsleitenden Fragen stellen m. E. in dieser Untersuchung keine zusätzlichen Anforderungen an die Bewertungs- und Gütekriterien. Die Betrachtung aus der Perspektive einer qualitativen Studie erscheint insgesamt angemessen.

3.2 Datenerhebung

3.2.1 Problemzentriertes Interview

In der gestaltungsorientierten Berufsbildung beziehen sich Berufsbildungskonzepte auf die betriebliche Arbeitspraxis. Die beruflichen Arbeitsaufgaben der Beschäftigten einer bestimmten Berufsgruppe bilden häufig die Grundlage für die Entwicklung von Berufsbildungskonzepten. (Reinhold et al., 2003, S. 1)

Worin die beruflichen Handlungssituationen der Fachkräfte bestehen, welches Wissen und Können sie in diesen Handlungssituationen aufbringen müssen und tatsächlich aufbringen, das ist in der Berufs- und Wirtschaftspädagogik in weiten Teilen (gemessen an 16 Berufsfeldern und ca. 340 Ausbildungsberufen) unbekannt. (Fischer, 2014, S. 3)

Auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung lassen sich in der Literatur keine einheitlichen Hinweise zu den Arbeitsaufgaben finden. Bisherige empirische Untersuchungen geben erste Hinweise auf die Arbeitspraxis in der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung. (Kapitel 2.1.3) Vor allem im Hinblick auf die digitale Transformation in der Industrie und die Problemstellung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 bleiben Fragen offen (Kapitel 2). Für die Entwicklung eines an die Praxis anschließenden Weiterbildungskonzeptes reicht es daher nicht aus, sich auf die bisherigen Erkenntnisse in diesem Untersuchungsbereich zu stützen. Eine alleinige Betrachtung der Arbeitspraxis in der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung erscheint ebenfalls nicht ausreichend. Um auch die Rolle der Beschäftigten bei der Gestaltung von Industrie 4.0 zu verstehen, ist es notwendig, mehr über die Erfahrungen, Überlegungen oder subjektiven Sichtweisen der Beschäftigten zu Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz sowie deren Schnittstellen zu erfahren. Ebenso lässt sich aus der Theorie nicht ableiten, was die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung selbst wünschen und benötigen. Die Problemstellung – wie die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende mit dem Wandel zu einer Industrie 4.0 umgehen – muss empirisch erhoben werden. Die Erhebung von Daten direkt aus der Praxis wird auch im methodischen Rahmen des DBR vorgeschlagen:

Allerdings wird der Methodenbegriff im Kontext von DBR in hohem Maße mit empirischen Methoden zur Erhebung und Auswertung von Daten verbunden. Es gibt für diese verschiedene Ordnungssysteme, die im Kern ausreichend Übereinstimmung aufweisen, um methodische Standards bestimmen zu können: für den Einsatz von Methoden zur Erhebung etwa von Beobachtungs-, Befragungs- oder anderen Daten sowie zu deren numerischer, visueller oder verbaler Auswertung. (Reinmann, 2020, S. 8)

Im Mittelpunkt der Arbeit steht ein Ausschnitt aus der Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Insbesondere werden die Erfahrungen und Überlegungen dieser Beschäftigten zur Gestaltung der Produktions-

systeme im Hinblick auf die digitale Transformation in der Industrie untersucht. Wie auch die Untersuchungen von Frenz et al. (2016) zeigen, handelt es sich dabei meist um Projektarbeit (S. 37). Sollen Daten über derart umfangreiche und vielschichtige Aktivitäten gewonnen werden, bietet sich eine Erhebung mittels qualitativer Interviews an. „Insbesondere ausführliche Schilderungen komplexer Zusammenhänge oder zeitlich lang ausgedehnter Prozesse erhält man von den Menschen nicht schriftlich, sondern nur mündlich im Zuge qualitativer Interviews.“ (Döring & Bortz, 2016, S. 357)

Es gibt verschiedene Varianten qualitativer Interviews, die sich beispielsweise in der Strukturierung der Interviewsituation unterscheiden (Döring & Bortz, 2016, S. 361). Auch Helfferich (2011) listet Varianten qualitativer Interviews auf. Sie vergleicht Interviews anhand verschiedener Kriterien miteinander (Tabelle 16).

Tabelle 16: Übersicht Interviewformen (Quelle: Eigene Darstellung nach Helfferich, 2011, S. 45)

	Forschungs- gegenstand	Dialog	„Aufdeckend“ arbeiten	Flexibilität	Fremdheits- annahme
Narratives Interview	Textorientiertes Sinnverstehen	Monologisch	Nein	Flexibel: Keine Vorgaben	Ja
Episodisches Interview	Kombination	Kombination	möglich	Leitfaden, flexibel	Teils
Fokussiertes oder semistrukturiertes Interview	Kombination	Kombination	möglich	Flexibel	Teils
Problemzentriertes Interview	Problemorien- tiertes Sinn- verstehen	Dialogisch – „gemeinsame Arbeit“	Ja	Flexibel, even- tuell Leitfaden	Vorwissen einbringen
Ero-episches oder ethnografisches Interview	Rekonstruktion und Deskription von Kulturen	Dialogisch – alltagskom- munikativ	möglich	Flexibel: Keine Vorgaben	Ja

In dieser Arbeit wird eine Variante dieser qualitativen Interviews verwendet, das problemzentrierte Interview nach Andreas Witzel (u. a. Witzel, 1985; Kühn & Witzel, 2000; Witzel, 2000). Das Ziel dieser Interviewtechnik ist es, „tatsächliche Probleme der Individuen systematisch zu eruieren“ (Witzel, 1985). Es werden Interviews mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu der konkreten Problemstellung geführt, wie sie als Betroffene und Gestaltende mit dem Wandel zu einer Industrie 4.0 umgehen. In den Interviews werden die interviewten Personen ermutigt, offen über Projekte zur Gestaltung des Produktionssystems im Kontext von Industrie 4.0 zu berichten.

Hinsichtlich der Strukturierung der Interviewsituation nimmt das problemzentrierte Interview eine besondere Stellung ein. Das problemzentrierte Interview „zielt auf richtige Balance zwischen zu starker und zu geringer Strukturierung“ (Döring & Bortz, 2016, S. 377) der Interviewsituation ab. Ein Ziel von strukturell eher offenen und weniger durch einen strikten Leitfaden strukturierten Interviews ist es, den interview-

ten Personen Raum für eine möglichst breite Darstellung des Themenfeldes zu geben und dadurch bisher unbekannte Aspekte aufzudecken (Hopf, 2009, S. 354). Bei problemzentrierten Interviews können durch gezieltes Nachfragen des Interviewenden zu bereits angesprochenen Themen weitere Aspekte erschlossen werden. Der Interviewende versucht bereits während des Interviews, die Sichtweise der interviewten Personen zu erfassen und lenkt den Fokus des Interviews immer wieder auf die spezifische Problemstellung. (Kühn & Witzel, 2000, 5) Durch eine Balance zwischen Offenheit für neue Aspekte und Fokussierung auf die Problemstellung wird das Ziel verfolgt, aussagekräftige Daten zum Untersuchungsgegenstand zu erhalten. Einerseits haben die interviewten Personen einen großen Freiraum, auf vollkommen neue Aspekte und Herausforderungen in ihrer Tätigkeit aufmerksam zu machen und z. B. auch ihre Vorstellungen von zukünftigen Aufgaben oder technologischen Neuerungen zu erläutern. Andererseits bietet die Methode dem Forschenden durch gezielte Kommunikationsstrategien auch den Spielraum, einzelne Aspekte zu vertiefen und so ein besseres Verständnis für die Erfahrungen und Sichtweisen der interviewten Personen zu entwickeln.

Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden bei der Gestaltung des Weiterbildungskonzeptes umfassend einbezogen. Es ist selbstverständlich auch wichtig, die Beschäftigten selbst zu fragen, welche Weiterbildungsmaßnahmen sie für die Ausübung ihrer Tätigkeit im Rahmen der digitalen Transformation in der Industrie benötigen. Die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis ist auch ein wesentliches Merkmal der dieser Untersuchung übergeordneten methodologischen Grundposition des DBR (Euler, 2014, S. 18). Helfferich (2011) bezeichnet die Art der Interviewtechnik bzw. den Dialog im problemzentrierten Interview auch als „gemeinsame Arbeit“ (S. 45).

Beim problemzentrierten Interview wird gerade durch die von Witzel als spezifische Sondierung bezeichnete Kommunikationsstrategie nicht nur das Gesagte zusammengefaßt (sic!) und mit einem neuen Erzählanstoß versehen, sondern den Befragten wird – zurückgespiegelt und kommentiert – eine erste, vorläufige Interpretation angeboten. Damit erhalten die Befragten Einblick in die (Nicht-)Verstehensleistungen der Forschenden, in ihre Fragestellung(en) und inhaltliche Orientierung, und – damit einhergehend – die Möglichkeit, den expliziten und impliziten Unterstellungen die eigene Sichtweise entgegenzusetzen. (Mey, 1999, S. 146 f.)

Die interviewten Personen werden nicht als reines Untersuchungsobjekt betrachtet, sondern als Mitakteure in die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes einbezogen. Es findet also bereits in den Interviews keine vollständig einseitige Befragung anhand eines Fragenkatalogs statt, sondern eine „gemeinsame Arbeit“ an den forschungsleitenden Fragen.

Ein weiterer Aspekt lässt sich für die Datenerhebung mit der Methode des problemzentrierten Interviews anführen. Bereits während der Interviews findet ein Erkenntnisgewinn durch ein induktiv-deduktives Wechselverhältnis statt. Durch die Frageideen des Forschenden und die Rückmeldungen der Forschungsteilnehmenden können weitere Aspekte zu den bereits angesprochenen Themen erschlossen werden.

(Kühn & Witzel, 2000, 5) Das Wissen des Forschers wird nicht ausgeschlossen, sondern aktiv einbezogen, z. B. bei der Formulierung und Gestaltung der Fragen in der Interviewsituation. Der Forscher versucht, die Äußerungen der interviewten Personen während der Interviews zu verstehen und die Kommunikation durch Nachfragen auf die Problemstellung zu fokussieren. (Witzel, 2000, 2) Da der Forscher selbst eng mit der praktischen Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung vertraut ist, stellt das problemzentrierte Interview auch bezogen auf diesen Aspekt eine vielversprechende Erhebungsmethode für diese Arbeit dar.

Für die Erhebung aussagekräftiger Daten bei qualitativen Interviews ist vor allem auch eine vertrauensvolle Atmosphäre wichtig (Döring & Bortz, 2016, S. 364). „Die Ablehnung einzelner Fragen sowie verfälschte Antworten durch die Befragungspersonen sollen bei qualitativen Interviews durch eine individuell zugeschnittene, flexible und entspannte Interviewsituation vermieden werden“ (Döring & Bortz, 2016, S. 163). Es geht nicht darum, sozial erwünschte Antworten zu produzieren, sondern z. B. auch negative Erfahrungen oder kritische Sichtweisen einzelner Personen zu ermöglichen. In den Interviews könnten auch unerwünschte Themen angesprochen werden, die den institutionellen Erwartungen widersprechen. Zudem ist das Untersuchungsfeld noch weitgehend unerforscht. Für die Interviews sind vor allem auch Themen rund um die Problemstellung interessant, die eigentlich nicht als Frage vorab formuliert werden können. Um den Forschungsteilnehmenden zu ermöglichen, auch diese Themen anzusprechen, ist es notwendig, eine vertrauensvolle Gesprächssituation zu schaffen. Dies fördert die Entfaltung der Sichtweisen der Interviewten und schafft die notwendigen Rahmenbedingungen für die „gemeinsame Arbeit“ an noch unbekannten oder sensiblen Aspekten.

Die Kommunikationsstrategien des problemzentrierten Interviews zielen auch genau darauf ab, Vertrauen zwischen dem Forscher und den interviewten Personen aufzubauen. Die Erinnerungsfähigkeit und Reflexion der interviewten Personen wird angeregt und eine Gesprächsatmosphäre geschaffen, in der tiefere Einblicke in ihre Problemsicht gewonnen werden können. (Witzel, 2000, 2) Das problemzentrierte Interview eignet sich als flexible Erhebungsmethode, die sich im Rahmen der Wissenschaftlichkeit und unter Berücksichtigung der forschungsleitenden Fragen an die Erzählstränge der interviewten Personen anzupassen versucht:

Es gibt also kein starres, festes Ablaufschema der Fragen, statt dessen soll in einer möglichst natürlichen Umgebungssituation ein Gespräch je nach Interesse und sprachlicher Kompetenz der Befragten eher narrativ oder dialogisch geführt werden, in dem sich der Interviewer in seinem Frageverhalten am Gedankengang und „roten Faden“ des Befragten orientiert. (Kühn & Witzel, 2000, 4)

Aufgrund der Erhebung von Erfahrungen und individueller Sichtweisen zu Aufgaben und komplexen Projekten erscheint eine Variante qualitativer Interviews geeignet. Die Variante des problemzentrierten Interviews ermöglicht durch den Grad der Strukturierung die Exploration unbekannter Aspekte, ohne den Fokus auf die Problemstellung zu verlieren. Die „gemeinsame Arbeit“ mit den Forschungsteilnehmenden an der Pro-

blemstellung ermöglicht den Beschäftigten frühzeitig, das Weiterbildungskonzept mitzugestalten. Sie sind nicht Forschungsobjekte, sondern Akteure der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes. Durch die Nähe des Forschers zum Untersuchungsfeld und diese Möglichkeit des „gemeinsamen Arbeitens“ in den problemzentrierten Interviews wird eine Kommunikation auf Augenhöhe ermöglicht. Bereits in den Interviews können durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis Erkenntnisse für das Weiterbildungskonzept gewonnen werden. Die für die Ergebnisse dieser Arbeit wichtige vertrauensvolle Atmosphäre wird auch dadurch gefördert, dass in den problemzentrierten Interviews dem roten Faden der Forschungsteilnehmenden gefolgt wird. Das problemzentrierte Interview bietet daher eine vielversprechende Möglichkeit, im Rahmen dieser Studie „brauchbare“ Daten für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes zu erheben.

3.2.2 Planen und Durchführen der Interviews

Witzel (1985) empfiehlt als orientierende Elemente eines problemzentrierten Interviews die Verwendung eines Kurzfragebogens, eines Leitfadens, die Dokumentation mit einer Audioaufzeichnung und die Anfertigung eines Interviewprotokollbogens (S. 236). Ein Kritikpunkt an Untersuchungen mit problemzentrierten Interviews ist, dass in der praktischen Umsetzung der Interviewmethode formale und inhaltliche Kriterien häufig nicht eingehalten werden:

Denn erst wenn die genannten vier Elemente (Kurzfragebogen, Aufzeichnung, Leitfaden und Postscript) miteinander kombiniert werden und die drei Grundprinzipien (Problem-, Gegenstands- und Prozessorientierung) zur Anwendung kommen, kann von einem problemzentrierten Interview (im Sinne Witzels) gesprochen werden. (Misoch, 2015, S. 76)

In dieser Arbeit wurden die Interviews durch einen Kurzfragebogen, eine Audioaufzeichnung, einen Leitfaden und einen Interviewprotokollbogen unterstützt. Ebenso erfolgte eine Orientierung an den drei Grundprinzipien (Problem-, Gegenstands- und Prozessorientierung). Die genaue Umsetzung der Grundprinzipien ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Umsetzung der Grundprinzipien des problemzentrierten Interviews (Quelle: Eigene Darstellung)

Grundprinzipien	Ansatz zur Umsetzung
Problemorientierung: Orientierung an einem gesellschaftlich relevanten Problem (Witzel, 2000, 4)	Die Interviews werden zur zweifachen Problemstellung in der technischen Produktionsplanung geführt. Die Beschäftigten sind Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie.
Gegenstandsorientierung: Flexible Methode, die an den Gegenstand angepasst werden kann und muss (Witzel, 2000, 4)	Einbettung in den methodologischen Rahmen des DBR, Auswertung mit der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse, Durchführung als Einzelinterview mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung, Fokus auf die Aufgaben der Beschäftigten und ihre individuellen Erfahrungen und Sichtweisen in Bezug auf Industrie-4.0-Projekte, Berücksichtigung der Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Beschäftigten.

(Fortsetzung Tabelle 17)

Grundprinzipien	Ansatz zur Umsetzung
Prozessorientierung: Interview und wissenschaftliche Erkenntnis als Prozess (Witzel, 2000, S. 4)	Es liegt in der Verantwortung des Forschers, den notwendigen Freiraum für vollkommen neue Aspekte zu gewährleisten, das Gespräch aber auch auf die Problemstellung zurückzuführen. Aufgrund der praktischen Erfahrungen des Forschers und der erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen (Kapitel 2) können für die Problemstellung relevante Erzählstränge der interviewten Personen verfolgt und gleichzeitig Offenheit für gänzlich neue Aspekte geschaffen werden. Um von den interviewten Personen unverfälschte Berichte über ihre Erfahrungen und Einblicke in ihre Sichtweisen zu erhalten, muss eine vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre geschaffen werden.

Der Ablauf der Interviews wurde in die Phasen Informationsphase, Einstiegsphase, Hauptteil und Schlussphase gegliedert (Misoch, 2015, S. 68). Der Interviewleitfaden wurde entsprechend strukturiert (Anhang).

Zu Beginn der Interviews erläuterte der Forscher die Zielsetzung des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes, den geplanten Ablauf der Interviews sowie die organisatorischen Rahmenbedingungen. Diese Basisinformationen wurden den Forschungsteilnehmenden bereits im Kennenlerngespräch zur Vorstellung und Diskussion der Problemstellung geschildert. Anschließend wurde erläutert, dass das Forschungsinteresse in den individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der interviewten Personen mit Industrie-4.0-Projekten liegt. Des Weiteren wurde den Forschungsteilnehmenden ermöglicht, Fragen zur Problemstellung, zum Ablauf oder zu anderen für sie relevanten Themen zu stellen.

Nach Beantwortung eventueller Fragen wurde der Kurzfragebogen ausgefüllt. Der Kurzfragebogen wurde der Person vorgelegt und gemeinsam ausgefüllt. Mit dem Kurzfragebogen wurden Grunddaten zu Beruf und Biografie erhoben und dazu folgende Fragen gestellt:

- Seit wie vielen Jahren sind Sie u. a. in der Gestaltung des Produktionssystems tätig?
- Welche Produkte werden in Ihrem Bereich produziert?
- Wie würden Sie Ihre Berufsbezeichnung benennen?
- Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss (Auswahloptionen nach Bundesagentur für Arbeit)?

Ein Zweck der Erfassung dieser Kriterien ist die Bestimmung der Grenzen der Untersuchung durch die Einschränkungen in Bezug auf die Auswahl der Forschungsteilnehmenden. Diese vermutlich einfach zu beantwortenden Fragen und das gemeinsame Ausfüllen des Kurzfragebogens dienten auch dazu, einen ersten Gesprächseinstieg zu schaffen und die Weichen für eine vertrauensvolle Atmosphäre zu stellen.

Der nächste Schritt war die Einführungsphase. Um mit der ungewohnten Situation eines Interviews „warmzuwerden“, empfiehlt Reinders (2012) sachliche und allgemeine Einstiegsfragen, die die Personen zum Erzählen anregen sollen (S. 133 f.). Nach Witzel (2000) sollte am Anfang der Interviews eine offene Einstiegsfrage stehen, die

„für den Interviewten ‚wie eine leere Seite‘ wirkt, die er in eigenen Worten und mit den ihm eigenen Gestaltungsmitteln füllen kann“ (13). Diesen Empfehlungen wurde auch in der vorliegenden Arbeit gefolgt. Zunächst wurde die Arbeitspraxis in der technischen Produktionsplanung erkundet. Es wird vermutet, dass es den Personen leichter fällt, über ihre Aufgaben zu sprechen als über die im weiteren Verlauf ebenfalls wichtigen Überlegungen zur Gestaltung von Arbeit in der Produktion oder über das eigene Wissen und Können. Berichte über die Arbeitsaufgaben sollten zu einem angenehmen Einstieg in die Interviews beitragen und weitere Rahmenbedingungen für eine vertrauensvolle und offene Atmosphäre schaffen.

Gesprächseinleitung 1: Erzählen Sie mir doch von Ihrem Alltag in der technischen Planung. Schildern Sie bitte einen ganz normalen Arbeitstag ...

Zu Beginn berichteten die Personen über ihren Tagesablauf. Ziel war es, Daten über die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu erhalten. Aufgabe des Forschers war es, den Erzählsträngen zu folgen und sie durch immanente Fragen aufrechtzuerhalten. Gleichzeitig wurden durch exmanente Fragen weitere, der Problemstellung und dem Erzählfluss entsprechende Themen eingebracht (Witzel, 1985, S. 237). Der Forscher stellte gezielte Fragen zu einzelnen Aufgaben, um diese später nachvollziehen zu können. Ebenso war es notwendig, das Spektrum zu erweitern und z. B. nach weiteren Aufgaben zu fragen.

Ziel der Interviews war es, Erfahrungsberichte und subjektive Sichtweisen der Beschäftigten über die Gestaltung des Produktionssystems im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie zu erhalten. Dazu sollte ein breit angelegter und von den interviewten Personen strukturierter Bericht zu Industrie-4.0-Projekten angestoßen werden, der dann im weiteren Verlauf des Interviews auf einzelne Aspekte der zweifachen Problemstellung fokussiert werden sollte. Zu Beginn des Hauptteils wurde eine zweite Einstiegsfrage gestellt, um die Forschungsteilnehmenden zu Erzählungen zu diesem neuen Themenkomplex anzuregen.

Gesprächseinleitung 2: Sie haben schon bei Industrie-4.0-Projekten mitgewirkt. Bei welchen Projekten waren Sie beteiligt? Schildern Sie bitte eines dieser Projekte, bei dem Sie mitgewirkt haben, genauer ...

Im Mittelpunkt der Interviews standen die Ausführungen zu den Industrie-4.0-Projekten. Auch der Interviewleitfaden wurde so aufgebaut, dass ein „gemeinsames Arbeiten“ (Helfferich, 2011, S. 45) an der Frage – Beschäftigte als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 – möglich war. Um dies zu erreichen, wurde den Forschungsteilnehmenden ein großer Freiraum zur Entfaltung ihrer Sichtweisen eingeräumt. Der Forscher nutzte vorhandenes Wissen über die Arbeitspraxis und die wissenschaftlichen Grundlagen, um die Ausführungen nachzuvollziehen und zu verstehen. Ebenso war es Aufgabe des Forschenden, das Interview durch Nachfragen an geeigneten Stellen auf die Problemstellung zu fokussieren (Witzel, 2000, S. 2). Es wurden Fragen zu den Aspekten als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 gestellt. Aus-

gehend von den drei Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz, die für die Gestaltung des Produktionssystems von Bedeutung sind (Nierling et al., 2020), wurde auch der Leitfaden für die Interviews entwickelt. Ziel war es auch, Zusammenhänge zwischen den einzelnen Perspektiven zu identifizieren. Beispielsweise wurden die interviewten Personen in Bezug auf die Perspektive Bildung in der Rolle als Betroffene gefragt: „Wie haben Sie den Umgang mit Industrie 4.0 (oder einer im Interview thematisierten Industrie-4.0-Anwendung) gelernt?“ Bisher ist wenig darüber bekannt, welches Wissen und Können Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung für ihre Arbeit und die Gestaltung einer Industrie 4.0 benötigen und wie sie sich dieses Wissen und Können aneignen (Kapitel 2.2.2). Auch über die Rolle als Gestaltende der Arbeit ist nur sehr wenig bekannt. Für das Ziel dieser Arbeit ist u. a. die Sicht der Beschäftigten auf die Arbeitsbedingungen in der Produktion von Interesse; wesentliche Elemente sind dabei u. a. die Ergonomie und die Einbindung der Mitarbeitenden in die Gestaltungsprozesse (Kapitel 2.2.1). Aus der Perspektive der Arbeitsgestaltung und der Rolle als Gestaltende wurde die Frage gestellt: „Welche Erfahrungen haben Sie mit dem Thema Ergonomie in der Produktion gemacht?“ Mit der Frage „Welche Technologie würden Sie gerne einmal in der Produktion ausprobieren?“ wurde die technische Perspektive in den Mittelpunkt gestellt und untersucht, welche Technologien die Beschäftigten als wichtig für die Zukunft erachten. In der Literatur gibt es Ansätze zur Definition verschiedener Entwicklungsstufen von Industrie 4.0 (Kapitel 2.2.1). Die Frage soll in Verbindung mit der Eingangsfrage zu Industrie 4.0 auch dazu dienen, zu erkennen, an welchen Entwicklungsstufen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung beteiligt sind. Abschließend wurde die Sichtweise der interviewten Personen noch einmal bewusst in den Mittelpunkt gerückt und die eigenen Wünsche an Industrie 4.0 thematisiert. Auch diese Frage wurde vom Forscher im Laufe des sich entwickelnden Gesprächs wieder auf die Problemstellung der Arbeit zurückgeführt. Da es in den Interviews auch darum ging, neue Themenfelder zu erschließen, empfiehlt Reinders (2012), abschließend zu fragen, was der Person noch zum Thema einfällt oder was aus ihrer Sicht bisher nicht angesprochen wurde, aber wichtig ist (S. 138). Diese Frage bildete den vorläufigen Abschluss der Interviews: Gibt es aus Ihrer Sicht noch offene Punkte, die wir in unserem bisherigen Gespräch nicht diskutiert haben, die Sie aber zudem erwähnen möchten?

Bei problemzentrierten Interviews haben sowohl die „spontan produzierte Erzählung“ als auch die „flexible Reihenfolge der Fragen“ Vorrang vor der genauen Struktur des Leitfadens (Helfferich, 2011, S. 180 f.). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde der Leitfaden als „Gedankenstütze“ genutzt, um alle definierten Themenbereiche anzusprechen. Grundsätzlich wurde der natürlichen Erzählstruktur ausgehend von den interviewten Personen gefolgt. Die Interviews wurden durch Audioaufnahmen dokumentiert. Zur Nachbereitung der Interviews wurde ein Interviewprotokollbogen verwendet. Es erfolgte eine Reflexion der Interviews und eine Reflexion des Forschers u. a. zur Interviewsituation, zur Gesprächsatmosphäre, zu schwierigen Passagen oder besonderen Vorkommnissen. Der Interviewprotokollbogen diente hauptsächlich als Hilfestellung. Es erfolgte eine offene Reflexion des jeweiligen Interviews. Einerseits

wurde die Situation für die Auswertung der Interviews dokumentiert, andererseits diente die Reflexion auch der Weiterentwicklung des Interviewprozesses und der Entwicklung der Fähigkeit zur Interviewführung beim Forscher.

Durchgeführt wurden die Interviews von April bis September 2021. Im Rahmen des Kennenlerngesprächs wurden gemeinsam die Termine für die Interviews festgelegt. Die Wahl des Ortes und der Räumlichkeiten wurde bewusst den Forschungsteilnehmenden überlassen. Die Interviews konnten an einem Ort stattfinden, an dem sich die Forschungsteilnehmenden sicher fühlten und sich frei äußern konnten. Das Datenmaterial umfasst 8 Stunden, 29 Minuten und 25 Sekunden. 35 Minuten und 25 Sekunden dauerte das kürzeste Interview. Das längste Interview dauerte 1 Stunde, 2 Minuten und 9 Sekunden. Die durchschnittliche Interviewdauer betrug 46 Minuten und 19 Sekunden. Alle Interviews wurden vom Forscher selbst durchgeführt.

3.3 Datenauswertung

3.3.1 Inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse

Nach Witzel (2000) führt die Ausrichtung auf den Forschungsgegenstand bei problemzentrierten Interviews dazu, dass verschiedene Möglichkeiten der Auswertung des Datenmaterials in Betracht gezogen werden können. Die Methode der Datenauswertung sollte entsprechend dem Erkenntnisinteresse der Untersuchung gewählt werden. (18) Döring & Bortz (2016) stimmen dem zu und erweitern dies um die Angemessenheit der Auswertung in Bezug auf das Datenmaterial. Die Wahl der Methode zur Datenauswertung hängt neben den forschungsleitenden Fragen vom vorliegenden Datenmaterial ab. So muss für numerisches Datenmaterial eine andere Analysemethode gewählt werden als für nicht numerisches Datenmaterial, das beispielsweise aus qualitativen Interviews gewonnen wurde. (S. 598) Die Wahl der Methode zur Auswertung muss daher in Abhängigkeit von der Zielsetzung und dem vorliegenden Datenmaterial getroffen werden.

Ziel der empirischen Untersuchung war es, Erkenntnisse über die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 zu gewinnen. In der Perspektive als Betroffene waren u. a. die Arbeitsaufgaben und das dafür erforderliche Wissen und Können der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung für die Untersuchung relevant. Als Gestaltende von Industrie 4.0 waren u. a. die Sichtweisen der Beschäftigten auf die Gestaltung der Arbeit und das Wissen und Können der Beschäftigten in der Produktion von Bedeutung. In den Interviews wurden Erfahrungen und individuelle Sichtweisen von Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 erhoben. Die Interviews wurden aufgezeichnet und vollständig transkribiert. Das Textmaterial der Kommunikation in den Interviews liegt vor. Darüber hinaus stehen Kurzfragebögen mit berufsbiografischen Daten und Interviewprotokollbögen zur Verfügung. Problemzentrierte Interviews orientieren sich am „roten Faden“ der interviewten Personen. Die forschungsrelevanten Themen

sind daher über den Text verteilt und können im Material mehrfach vorkommen. (Kühn & Witzel, 2000, 4)

Auch bei der Auswertung des Datenmaterials ist eine erste Grundsatzentscheidung zu treffen, ob eine qualitative oder quantitative Methode angewendet werden soll. Eine quantitative Analyse des Datenmaterials erscheint weniger geeignet. Die Erkenntnisse, die auf diese Weise gewonnen werden könnten, wären zu eng begrenzt. Es müsste vorab genau spezifiziert werden, wonach im Datenmaterial gesucht wird. Aufgrund der noch unerforschten Problematik der technischen Produktionsplanung und -steuerung war es wichtig, die Voraussetzung zu schaffen, auch bisher nicht erwartete Einblicke in die Arbeitspraxis zu gewinnen. Ebenso können die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der Beschäftigten wertvolle Erkenntnisse enthalten, die in einer quantitativen Analyse weitgehend unberücksichtigt bleiben würden. Natürlich könnte auch eine quantitative Auswertung erste Ergebnisse liefern. Dabei würden jedoch wichtige Aspekte des Materials unberücksichtigt und relevante Erkenntnisse möglicherweise unentdeckt bleiben. Zur Auswertung des Datenmaterials wird daher ein qualitativer Ansatz gewählt.

Döring & Bortz (2016) beschreiben mit der objektiven Hermeneutik, der qualitativen Inhaltsanalyse, der dokumentarischen Methode und der Grounded Theory Methodologie allgemeine Verfahren zur Auswertung qualitativen Datenmaterials (S. 601). Mithilfe der objektiven Hermeneutik können u. a. die „latenten Sinnstrukturen und objektiven Bedeutungsstrukturen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 602) aus Erzählungen ermittelt werden. Die dokumentarische Methode ist ein weiteres Verfahren, mit dem tiefere Sinnstrukturen aus Datenmaterial analysiert werden können (Przyborski & Slusnecko, 2018). Für das Erkenntnisinteresse dieser Untersuchung sind tiefere Sinnstrukturen weniger relevant. Ziel ist es, Informationen über Prozesse, Vorgehensweisen und individuelle Sichtweisen der Beschäftigten in Bezug auf Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz zu erhalten. Ziel der Grounded-Theory-Methodologie ist die Entwicklung einer datengestützten Theorie mittlerer Reichweite. Dies setzt eine strukturierte Planung und Durchführung der gesamten Untersuchung voraus. Die Grounded-Theory-Methodologie verwendet einen zyklischen Prozess der Fallauswahl, Datenerhebung und Auswertung. Eine Untersuchung des nächsten Falles erfolgt erst, wenn die Auswertung des aktuellen Falles abgeschlossen ist. Die Untersuchung ist abgeschlossen, wenn kein weiterer Erkenntnisgewinn zu erwarten ist. (Mey & Mruck, 2018) Die Grounded-Theory-Methodologie ist somit weniger eine Methode zur reinen Datenauswertung, sondern bietet einen Rahmen mit Vorschlägen zur Datenerhebung und -auswertung, eingebettet in einen strukturierten Prozess. Aus diesen Gründen erscheint die Grounded-Theory-Methodologie für die Auswertung der Daten dieser Untersuchung nicht geeignet.⁸

8 Grundsätzlich ist es m. E. denkbar, dass der Prozess „Erfahrungen auswerten“ im Rahmen des DBR nach der Systematik der Grounded-Theory-Methodologie durchgeführt wird. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Erkenntnisgewinn im Rahmen des DBR auch im Zuge der schrittweisen Anpassung der Intervention erzielt wird. Nicht umfassende empirische Daten aus der Produktionsplanung und -steuerung sind das primäre Ziel dieser Arbeit, sondern ein kontextspezifisches Weiterbildungskonzept und verallgemeinerte Gestaltungsprinzipien. Der Einstieg in diesen Prozess mit einer fundierten Theorie, die mit der Grounded-Theory-Methodologie erarbeitet wird, erscheint daher möglich, aber für die Zielsetzung dieser Arbeit nur bedingt hilfreich.

Eine strukturierte Vorgehensweise zur Analyse und Interpretation von Texten ist durch qualitative Inhaltsanalysen möglich: „Unserem Verständnis nach ist allen qualitativ-inhaltsanalytischen Verfahren die Systematisierung von Kommunikationsinhalten mit dem Ziel einer in hohem Maße regelgeleiteten Interpretation gemein“ (Stamann et al., 2016, 9). Misoch (2015) weist darauf hin, dass für die Auswertung von problemzentrierten Interviews häufig eine Variante der qualitativen Inhaltsanalyse verwendet wird (S. 75). Auch Kühn & Witzel (2000) schlagen eine Variante der qualitativen Inhaltsanalyse als Möglichkeit der Auswertung von problemzentrierten Interviews vor. Sie beschreiben, dass ein Kategoriensystem gebildet wird und die inhaltlichen Aspekte der transkribierten Interviews diesen Kategorien zugeordnet werden. Sie sehen den Vorteil darin, dass die Inhalte einer oder mehrerer Interviewkategorien gezielt betrachtet und analysiert werden können. Kielblock & Lange (2013) empfehlen die Anwendung einer Variante der qualitativen Inhaltsanalyse zur regelgeleiteten Analyse von „manifesten Inhalten“ und „Perspektiven und Abläufen“. Qualitative Inhaltsanalysen sind gut geeignet, um große Datenmengen aus Interviews auf das Wesentliche zu reduzieren und zu interpretieren. (S. 446) Zur Erfassung weniger manifester Inhalte der Kommunikation durch eine qualitative Inhaltsanalyse gibt es unterschiedliche Auffassungen. Mayring (2020) sieht eine der Grenzen der qualitativen Inhaltsanalyse in der Erfassung von Tiefenstrukturen in Texten. Durch die Verbindlichkeit von Regeln und Kategorien können Bedeutungen verloren gehen und unterschiedliche Ergebnisse produziert werden. (S. 509) Stamann et al. (2016) vertreten hingegen die Ansicht, dass auch latente Inhalte der Kommunikation mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse analysiert werden können (S. 9). Für die Untersuchung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 ist eine Analyse der tieferen Sinnstrukturen weniger relevant. Wichtig sind vorwiegend die Aspekte, die von den interviewten Personen auch sprachlich zum Ausdruck gebracht wurden. Die Auswertung der Daten mit einer qualitativen Inhaltsanalyse ist daher ein geeignetes Verfahren, um aus den Daten relevante Informationen über die Erfahrungen und Sichtweisen der Beschäftigten im Wandel zur Industrie 4.0 zu gewinnen.

Es werden verschiedene Varianten qualitativer Inhaltsanalysen beschrieben (u. a. Schreier, 2014; Stamann et al., 2016; Mayring, 2019). Die Auswertung erfolgte in dieser Untersuchung nach der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse von Kuckartz (2018). „Bei der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse wird mittels Kategorien und Subkategorien eine inhaltliche Strukturierung der Daten erzeugt“ (Kuckartz, 2018, S. 101). Bei der von Mayring (2015) beschriebenen qualitativen Inhaltsanalyse wird nach der Ansicht von Muslic et al. (2020) das konkrete Vorgehen nicht explizit festgelegt. Vielmehr hängt das Vorgehen von der Forschungsfrage und Zielsetzung ab und der Forschende muss die entsprechenden Vorgehensweisen und Grundtechniken (Zusammenfassung, Strukturierung, Explikation) selbst entsprechend kombinieren. (9) Pawicki (2014) weist darauf hin, dass qualitativen Inhaltsanalysen – wie auch anderen qualitativen Methoden – häufig vorgeworfen wird, in der Anwendung zu abstrakt und teilweise schwer transparent nachvollziehbar zu sein. Er hebt die Vor-

gehensweise von Kuckartz hervor und sieht die transparente Darstellung der Methodik, die Anwenderfreundlichkeit und die detaillierte Beschreibung der computergetützten Auswertung als besonders gelungen an. In den Ausführungen von Kuckartz wird z. B. auch die Entwicklung eines deduktiv-induktiven Kategoriensystems transparenter beschrieben. Dieses Kategoriensystem ist nach Schreier (2014) das zentrale Element der qualitativen Inhaltsanalyse. Es muss so erstellt werden, dass die relevanten Inhalte und Bedeutungen des Materials erfasst werden können. Es sollte zumindest ein Teil der Kategorien aus dem Material entwickelt werden. (5) Ähnlich empfiehlt Ruin (2017) eine deduktiv-induktive Kategorienentwicklung. Seiner Meinung nach leidet bei einer rein induktiven Kategorienentwicklung die Nachvollziehbarkeit und bei einer rein deduktiven Kategorienentwicklung muss sich das Vorgehen den Vorwurf gefallen lassen, das Material zu verkennen. (S. 133) Mit dem von Kuckartz vorgestellten Verfahren der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse wurde eine Variante der qualitativen Inhaltsanalyse angewandt, die einen strukturierten Ablauf für die gesamte Durchführung bietet und insbesondere auch die deduktiv-induktive Kategorienentwicklung umfassend darstellt.

Die Auswahl der Auswertemethode ist durch die Zielsetzung und das vorhandene Datenmaterial bestimmt. Eine quantitative Auswertung ist aufgrund des Erkenntnisinteresses an neuen Aspekten und den individuellen Sichtweisen der Beschäftigten weniger geeignet. Aufgrund des Interesses weniger an tieferen Sinnstrukturen als vielmehr an den sprachlich ausgedrückten Inhalten und des vorliegenden Datenmaterials transkribierter problemzentrierter Interviews ist eine qualitative Inhaltsanalyse eine vielversprechende Auswertungsmethode, um wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen. Die Auswertung wurde in dieser Arbeit mit der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz durchgeführt.

3.3.2 Planen und Durchführen der Auswertung

Kuckartz (2018) beschreibt den Ablauf der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse in sieben Phasen (Abbildung 21).

In der ersten Phase machen sich die Forschenden mit dem Material vertraut, sammeln erste Auswertungsideen und erstellen Zusammenfassungen der Texte. In einem zweiten Schritt werden die Hauptkategorien entwickelt. Anschließend erfolgt eine erste Codierung des Materials anhand der Hauptkategorien. Im nächsten Schritt werden die Unterkategorien des Materials bestimmt. Die einer Hauptkategorie zugeordneten Textstellen werden gesammelt. Aus dieser Sammlung werden dann die Unterkategorien des Materials gebildet. Es erfolgt die Definition dieser Unterkategorien und die Illustration der Unterkategorie anhand von Beispielzitaten aus den Texten. In der nächsten Phase wird das gesamte Material anhand des erstellten Kategoriensystems codiert. Schließlich können mit dem Material verschiedene Analysen durchgeführt und Visualisierungen erstellt werden. (S. 100 f.)

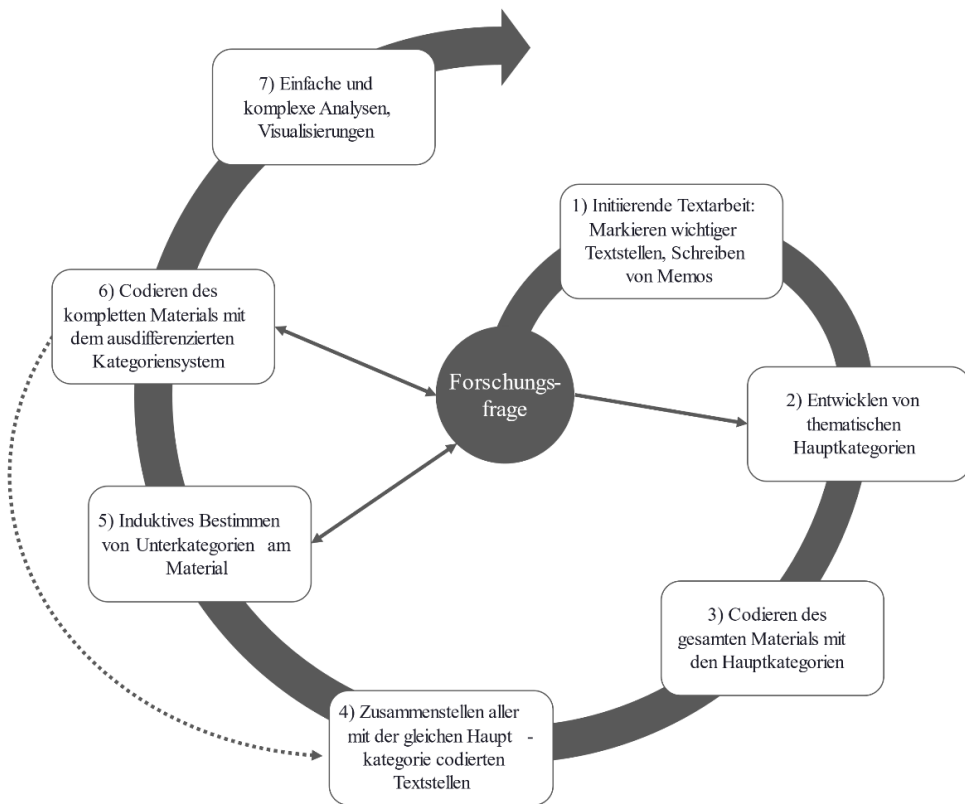


Abbildung 21: Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse (Quelle: Kuckartz, 2018, S. 100)

Die Audiodateien der Interviews wurden zunächst mithilfe der Software „f4transkript“ (<https://www.audiotranskription.de/f4x/>) in Textdateien umgewandelt. Dieses Verfahren ersetzt nicht die Transkription. Es wurde lediglich ein erster einfacher Entwurf einer Textfassung erstellt. Die einzelnen Dateien wurden anschließend vom Forscher Wort für Wort transkribiert und überarbeitet. Die Transkription der Interviews erfolgte nach einer einfachen wörtlichen Transkription (Tabelle 18). Eines der Interviews wurde in englischer Sprache geführt. Dieses Interview wurde auch in englischer Sprache transkribiert und dann mit der Unterstützung von „DeepL Translate“ (<https://www.deepl.com/translator>) in die deutsche Sprache übersetzt. Zur weiteren Auswertung und auch im Ergebnisbericht wurde ausschließlich auf die deutsche Version zurückgegriffen.

Tabelle 18: Regeln einer einfachen wörtlichen Transkription (Quelle: Eigene Darstellung nach Kuckartz, 2018, S. 167)

Regeln einer einfachen wörtlichen Transkription
<ol style="list-style-type: none"> 1. Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden nicht mit transkribiert, sondern möglichst genau in Hochdeutsch übersetzt. 2. Sprache und Interpunktion werden leicht geglättet, d. h. an das Schriftdeutsch angenähert. Zum Beispiel „Er hatte noch so'n Buch genannt“ wird zu „Er hatte noch so ein Buch genannt“. Die Satzform, bestimmte und unbestimmte Artikel etc. werden auch behalten, wenn sie Fehler enthalten. 3. Besonders betonte Begriffe werden durch Unterstreichungen gekennzeichnet. 4. Sehr lautes Sprechen wird durch Schreiben in Großschrift kenntlich gemacht. 5. Zustimmung und bestätigende Lautäußerungen der Interviewer (mhm, aha etc.) werden nicht mit transkribiert, sofern sie den Redefluss der befragten Person nicht unterbrechen. 6. Einwürfe der jeweils anderen Person werden in Klammern gesetzt. 7. Lautäußerungen der befragten Person, die die Aussage unterstützen oder verdeutlichen (etwa Lachen oder Seufzen), werden in Klammern notiert. 8. Absätze der interviewenden Person werden durch ein „I:“, die der befragten Person(en) durch ein eindeutiges Kürzel, z. B.: „B4“, gekennzeichnet. 9. Jeder Sprechbeitrag wird als eigener Absatz transkribiert.

In dieser Untersuchung könnten vertrauliche Daten über einzelne Personen oder Unternehmen offengelegt werden. Deswegen wurden die Daten für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse anonymisiert. Bei der Transkription der Interviews wurden Unternehmensbezeichnungen, Bezeichnungen von Unternehmensbereichen und Namen anonymisiert. Weiter wurden auch Bezeichnungen für eingesetzte Software oder Maschinen anonymisiert, wenn sie Rückschlüsse auf Personen oder Unternehmen zulassen. Die Anonymisierung erfolgt mit Verweis auf das Interview, damit einzelne Aussagen dennoch einen Bezug zueinander aufweisen und Zusammenhänge analysiert werden konnten. Unternehmen wurden z. B. mit „Unternehmen 4.2“ oder Personen z. B. mit „Person 5.1“ gekennzeichnet.

Die Transkription erfolgte teilweise parallel zur Interviewphase zwischen April und November 2021. Das transkribierte Datenmaterial umfasst insgesamt 73.316 Wörter. Anschließend wurden diese aus den Audiodateien der Interviews erstellten Textdokumente in die Software MAXQDA (<https://www.maxqda.com/de/>) importiert.

Charakteristisch für die qualitative Inhaltsanalyse ist, dass das gesamte Material codiert wird. Die Nutzung von QDA-Software erleichtert dies in entscheidendem Maße, sie begünstigt auch das systematische Arbeiten mit Codes, die gruppiert und zu abstrakteren und allgemeineren Kategorien zusammengefasst werden können. (Kuckartz, 2014, S. 112)

Die weitere Auswertung der Interviews wurde mit Unterstützung dieser Softwarelösung durchgeführt. Zu Beginn wurden alle Interviews Zeile für Zeile vom Forscher gelesen, für die Untersuchung relevante Aspekte gekennzeichnet und erste Notizen gemacht. Zum besseren Verständnis wird empfohlen, Fallzusammenfassungen zu erstellen: „Es sollten für alle Interviews einer Studie Fallzusammenfassungen erstellt werden“ (Kuckartz, 2018, S. 62). Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden für alle Interviews Fallzusammenfassungen erstellt. Ein Beispiel für eine solche Fallzusammenfassung für das erste Interview findet sich im Anhang.

Im nächsten Schritt wurden die Hauptkategorien entwickelt. Das Kategoriensystem ist nach Schreier (2014) das zentrale Element der qualitativen Inhaltsanalyse. Es muss so erstellt werden, dass die relevanten Inhalte und Bedeutungen des Materials erfasst werden können. Aus diesem Grund sollte ihrer Ansicht nach mindestens ein Teil der Kategorien aus dem Material entwickelt werden. (5) Kuckartz (2014) weist darauf hin, dass in den meisten Fällen die gemischte Variante bevorzugt wird (S. 112). Auch Witzel (2000) hält diese Verbindung zwischen dem Einbringen von Vorwissen und der Offenheit für Neues wichtig für die Auswertung problemzentrierter Interviews: „Bezogen auf das PZI [problemzentrierte Interview] ist der Erkenntnisgewinn sowohl im Erhebungs- als auch im Auswertungsprozess vielmehr als induktiv-deduktives Wechselverhältnis zu organisieren“ (3). Witzel schlägt vor, die Auswertung theoriegeleitet mit Stichworten aus dem Leitfaden zu beginnen und unter diesen Stichworten neue inhaltliche Aspekte aus den Ausführungen der interviewten Personen hinzuzufügen:

Die Resultate dieses Auswertungsprozesses bestehen zunächst in der Markierung des Textes mit Stichworten aus dem Leitfaden (theoriegeleitet) und mit Begrifflichkeiten, die neue thematische Aspekte aus den Darstellungen der Interviewpartner kennzeichnen (induktiv). (Witzel, 2000, 19)

Das Kategoriensystem wurde, wie von Kuckartz (2018) vorgeschlagen, mehrstufig angelegt. Es wird zwischen Haupt- und Unterkategorien unterschieden. Die Entwicklung des Kategoriensystems erfolgte deduktiv-induktiv. (S. 97) Nach Kuckartz sind zu Beginn der Kategorienbildung folgende Fragen zur Richtungsbestimmung wichtig:

Was will ich genau mit der Kategorienbildung erreichen? Für welche Fragen sollen die Systematisierung und Komprimierung, die durch die Kategorienbildung und Kategorisierung von Textstellen erreicht werden, hilfreich sein? Wie offen will ich an die Kategorienbildung herangehen? Welches Vorwissen besitze ich bereits? (Kuckartz, 2018, S. 83)

Eine Orientierung des Kategoriensystems an der Problemstellung – Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende einer Industrie 4.0 – wurde vorgenommen. Hierfür wurden Elemente des Interviewleitfadens als Hauptkategorien verwendet. Die folgenden Hauptkategorien wurden für die Codierung verwendet:

- 01_Arbeitsaufgaben
- 02_Industrie 4.0-Projekte
- 03_Kompetenzperspektive Planung
- 04_Kompetenzperspektive Produktion
- 05_Arbeitsperspektive Arbeitsgestaltung
- 06_Technische Perspektive: Auswahlkriterien
- 07_Technische Perspektive: Zukunft
- 08_Lessons Learned
- 09_Interdependenzperspektive

Im Folgenden wird dargestellt, welche Fragen anhand der einzelnen Kategorien an das vorhandene Datenmaterial gestellt wurden. Die Hauptkategorien „01_Arbeitsaufgaben“ und „03_Kompetenzperspektive Planung“ beziehen sich auf die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene einer Industrie 4.0. In der Literatur gibt es unterschiedliche Darstellungen der Arbeitsaufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems und auch der Arbeitsaufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel 2.1.1). Auch in den Berufen mit Bezug zur Gestaltung des Produktionssystems werden unterschiedliche Teilaufgaben genannt (Kapitel 2.1.2). Die vorhandenen empirischen Untersuchungen im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung liefern entweder nur einen Teilausschnitt der Arbeitsaufgaben der Berufsuntergruppe oder geben nicht den aktuellen Entwicklungsstand wieder (Kapitel 2.1.3). Mit der Kategorie „01_Arbeitsaufgaben“ wurde gefragt, wie sich die Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zusammensetzen. Welche Arbeitsaufgaben haben diese Beschäftigten in der Praxis? Aus welchen Teilaufgaben setzen sich diese Arbeitsaufgaben zusammen? Übernehmen die Beschäftigten auch andere Arbeitsaufgaben, die nicht direkt mit der Gestaltung des Produktionssystems zusammenhängen? Vergleichbar mit den Arbeitsaufgaben ist heute auch wenig über das Wissen und Können der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bekannt. Empirische Untersuchungen liefern auch hier nur Teilaspekte oder entsprechen nicht dem aktuellen Stand der Praxis (Kapitel 2.1.3). Untersuchungen zu Veränderungen von Wissen und Können im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 liefern entweder nur allgemeine Ergebnisse oder sind auf Ausbildungsberufe zugeschnitten, die nur bedingt Anknüpfungspunkte für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zulassen (Kapitel 2.2.2). Um in diesem Untersuchungsbereich weitere Informationen zu sammeln, wurde mit der Kategorie „03_Kompetenzperspektive Planung“ der Fokus auf das Wissen und Können der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gelegt. Welches Wissen und Können ist aus Sicht der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung für die Gestaltung des Produktionssystems oder allgemein für die Ausübung ihrer Arbeitsaufgaben wichtig? Um ein auf mögliche individuelle Lerngewohnheiten der Beschäftigten in dieser Berufsuntergruppe abgestimmtes Weiterbildungskonzept zu entwickeln, wurde zusätzlich gefragt: Welche Vorgehensweisen nutzen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, um sich dieses Wissen und Können anzueignen?

Die Hauptkategorien „04_Kompetenzperspektive Produktion“ und „05_Arbeitsperspektive Arbeitsgestaltung“ fokussieren im Wesentlichen auf die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende einer Industrie 4.0. Die individuellen Sichtweisen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende sind noch weitgehend unerforscht (Kapitel 2.1.3). Mit den Veränderungen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 wird auch eine Veränderung der Arbeitsbelastungen erwartet (Kapitel 2.2.1). Erste empirische Ergebnisse zeigen, dass die Einbeziehung von Mitarbeitenden in der Produktion aus Sicht der Be-

schäftigten in den Engineering-Bereichen wichtig ist, dass es aber dennoch nicht gelingt, die Mitarbeitenden in der Produktion umfassend in die Gestaltung einzubeziehen (Pfeiffer et al., 2018). Entsprechend wurden in der Hauptkategorie „05_Arbeitsperspektive Arbeitsgestaltung“ folgende Fragen gestellt:

- Wie berücksichtigen die Beschäftigten bei der Gestaltung des Produktionssystems mit Industrie-4.0-Anwendungen die körperlichen und mentalen Anforderungen der Mitarbeitenden in der Produktion?
- Wie beziehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltung einer Industrie 4.0 mit ein?

Bei der Gestaltung von Produktionssystemen nach dem Konzept von Industrie 4.0 sind neben Technologie und Arbeitsorganisation auch das Wissen und Können der Beschäftigten von großer Bedeutung. Mit der Hauptkategorie „04_Kompetenzperspektive Produktion“ wurde zum einen erfragt, wie die Mitarbeitenden in der Produktion in Qualifizierungsmaßnahmen zu Industrie-4.0-Anwendungen oder anderen Veränderungen im Produktionssystem einbezogen werden: Wie lernen die Mitarbeitenden in der Produktion den Umgang mit den neuen Technologien bei der Einführung von Industrie-4.0-Projekten? Zum anderen wurden die individuellen Sichtweisen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion untersucht.

Die Hauptkategorie „02_Industrie 4.0-Projekte“ gibt einen technischen Überblick über die Berichte zu Industrie-4.0-Projekten. Dabei werden u. a. folgende Fragen beantwortet: Mit welchen Industrie-4.0-Anwendungen beschäftigen sich die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung derzeit? Der Überblick über Industrie-4.0-Anwendungen dient auch dazu, die individuellen Sichtweisen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende besser einzuordnen. In der Kategorie „07_Technische Perspektive: Zukunft“ wurden Informationen zu zukünftigen Projekten gesammelt. Ziel war es, konkrete nächste Schritte in Industrie-4.0-Projekten oder relevante Zukunftsanwendungen aus Sicht der Beschäftigten in der Produktionsplanung und -steuerung zu erfahren. Die technischen Gründe für die Auswahl einer bestimmten Industrie-4.0-Anwendung wurden in „06_Technische Perspektive: Auswahlkriterien“ gesammelt und analysiert. In der Hauptkategorie „08_Lessons Learned“ wurden die von den interviewten Personen beschriebenen Herausforderungen und Erfolge thematisiert. Gesucht wurden Aussagen zu Erfolgen und Erfolgsfaktoren von Industrie-4.0-Projekten, aber auch zu den Herausforderungen.

Die Hauptkategorie „09_Interdependenzperspektive“ diente der Erfassung der (wechselseitigen) Zusammenhänge zwischen Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz. Konkret wurden u. a. Fragen nach Hintergründen für den Einsatz einer Industrie-4.0-Anwendung und individuellen Erfahrungen und Sichtweisen zur Ersetzung von Arbeit durch Technik thematisiert. Weiter wurde nach einer möglichen Auf- oder Abwertung von Arbeit und Qualifikation im Zusammenhang mit Industrie 4.0 gefragt.

Kuckartz (2018) beschreibt die trennscharfe Abgrenzung der Kategorien und die Vollständigkeit des Kategoriensystems als Herausforderungen der deduktiven Kategorienbildung. Zur Unterstützung einer trennscharfen Abgrenzung der Kategorien empfiehlt er eine umfassende Beschreibung der Kategorien mit Bezeichnung, inhaltlicher Beschreibung, einem Ankerbeispiel und Abgrenzung zu anderen Kategorien. (S. 67) In einem ersten Schritt wurden die Hauptkategorien inhaltlich beschrieben. Anschließend erfolgte die Codierung der ersten Interviews anhand dieser Hauptkategorien. In dieser Codierungsphase wurden die Hauptkategorien durch Codierhinweise und Abgrenzungen zu anderen Codes sowie Ankerbeispiele ergänzt. Die Hauptkategorien wurden während dieser ersten Codierung immer genauer spezifiziert. Bei Missverständnissen oder unklaren Zuordnungen während der ersten Codierung wurden weitere Codierhinweise oder Abgrenzungen zu anderen Codes ergänzt. Als ein Beispiel für die Beschreibung der Hauptkategorien dient die Kategorie „01_Arbeitsaufgaben“ (Tabelle 19).

Tabelle 19: Hauptkategorie Arbeitsaufgaben (Quelle: Eigene Darstellung)

Definition	Codierhinweise und Abgrenzung zu anderen Codes	Ankerbeispiel	Erzeugung
Aussagen zu Arbeitsaufgaben und den Tagesabläufen der interviewten Personen.	<p>Es muss sich um Aufgaben handeln, welche die interviewten Personen selbst erledigen, oder um Aufgaben, welche aus ihrer Sicht typisch für die Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind.</p> <p>Es werden auch Aufgaben codiert, die in Zusammenhang mit I4.0-Projekten angesprochen werden.</p>	<p>Meine Aufgaben sind erstmal die Stücklisten aufzubauen für die Fertigung. Dann auch zu plausibilisieren, ob das sinnvoll ist, was da unter Umständen vom Entwickler oder vom Kunden kommt. Nachzuschauen, wie das logistisch für uns abläuft, ist es vorhanden? Ist es nicht vorhanden? Haben wir es in anderen Werken vorhanden? Teilweise die Angebote von Lieferanten einholen. Mit Lieferanten abstimmen, wenn es eigene Zeichnungen gibt oder geben muss, wenn wir irgendwas neu definieren müssen. (B3, Pos. 10)</p>	A-priori aus dem Leitfaden

So wurde beispielsweise festgestellt, dass in den Berichten zu Industrie-4.0-Projekten auch immer wieder Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung thematisiert wurden. Daher wurde die Hauptkategorie „01_Arbeitsaufgaben“ um den Hinweis ergänzt, dass auch Aufgaben aus Industrie-4.0-Projekten codiert werden. Gleichzeitig wurden diese Textstellen mit Aufgaben aber auch als Teil einer größeren Sinneinheit in der Hauptkategorie „02_Industrie 4.0-Projekte“ codiert. Hinsichtlich der Erfüllung des Kriteriums der Vollständigkeit wurde die Hauptkategorie „10_Sonstiges“ mit aufgenommen. Kuckartz (2018) empfiehlt eine Kategorie „Vermischtes“ oder eine „Restkategorie“, in der wichtige Aspekte gesammelt werden können, die bei der deduktiven Kategorienbildung bisher nicht bekannt waren (S. 67). Aus dieser Hauptkategorie „10_Sonstiges“ wurden im Rahmen dieser Untersuchung keine neuen Hauptkategorien gebildet, sodass sie im Folgenden vernachlässigt wird.

In dieser Arbeit wurden Sinneinheiten codiert. Eine Sinneinheit kann ein einzelnes Wort (z. B. „Layoutplanung“) bis zu mehreren Absätzen mit darin enthaltenen Rückfragen des Forschers umfassen (Kuckartz, 2018, S. 84). In einem ersten Durchgang wurde das gesamte Material mit den Hauptkategorien codiert (Abbildung 22). Die meisten codierten Segmente (176) konnten der Hauptkategorie „01_Arbeitsaufgaben“ zugeordnet werden. Die wenigsten Segmente (16) wurden der Hauptkategorie „07_Zukunft“ zugeordnet.

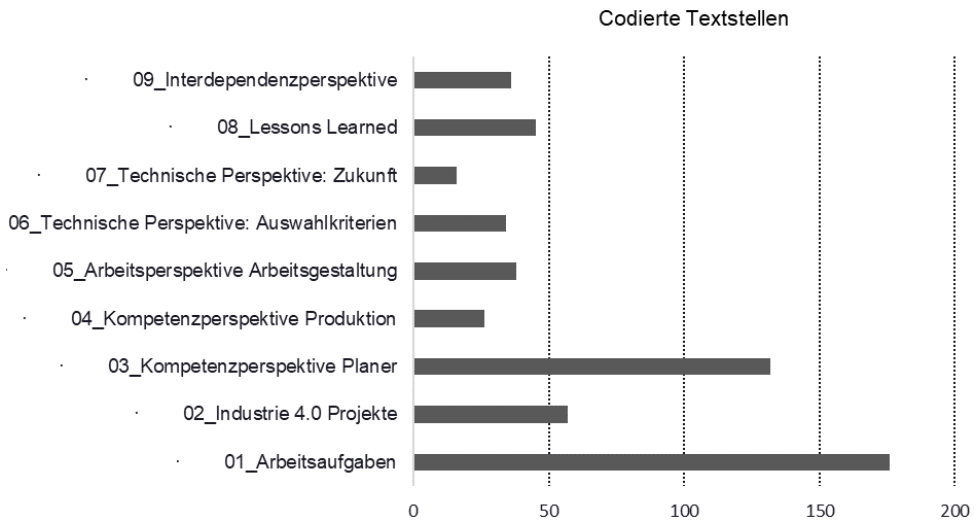


Abbildung 22: Codierhäufigkeiten Hauptkategorien (Quelle: Eigene Darstellung)

Grundsätzlich kann zwischen formalen, skalierenden und inhaltlichen Kategorien unterschieden werden (bspw. Stamann et al., 2016, 13). Für die Zielsetzung dieser Arbeit war eine formale Kategorisierung der Textstellen und damit eine Einordnung und Bewertung weniger relevant. Die für diese Untersuchung gebildeten Kategorien sind inhaltliche Kategorien. In den Interviews wurden inhaltliche Themen identifiziert, die von mehreren Forschungsteilnehmenden angesprochen wurden. Es wurden auch Inhalte berücksichtigt, zu denen es unterschiedliche Sichtweisen gibt.

Zur Differenzierung der einzelnen Hauptkategorien in Unterkategorien wurde das von Kuckartz vorgeschlagene Verfahren angewendet:

1. Auswahl einer Hauptkategorie zur Ausdifferenzierung in Unterkategorien
2. Zusammenstellen aller in dieser Hauptkategorie codierten Textstellen
3. Bilden von Unterkategorien am Material (S. 86 f.)
4. Ordnen und Systematisieren der Textstellen, Zusammenfassen von Unterkategorien
5. Definitionen für die Unterkategorien formulieren und Ankerbeispiele finden (S. 106)

Als Beispiel wird die Differenzierung der Kategorie „02_Industrie 4.0-Projekte“ in Unterkategorien dargestellt (Abbildung 23).

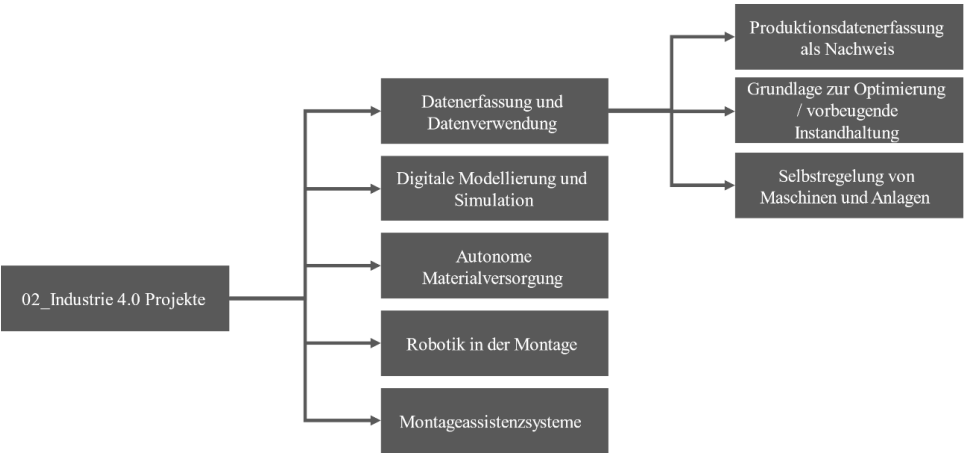


Abbildung 23: Hauptkategorie 02_Industrie 4.0-Projekte (Quelle: Eigene Darstellung)

In einem ersten Schritt wurden die Projekte nach ihrer Anwendung unterschieden. Die Hauptkategorie „02_Industrie 4.0-Projekte“ wurde dabei in fünf Unterkategorien unterteilt. Aufgrund der vergleichsweise großen Anzahl von Aussagen zu Themen der Datenerhebung und Datenverwendung wurde die Unterkategorie in drei weitere Unterkategorien spezifiziert. Ein Grundgedanke war dabei auch, die verschiedenen Entwicklungsstufen von Industrie 4.0 zuordnen zu können (Kapitel 2.2.1). Auch bei der Entwicklung der Unterkategorien wurde für jede Unterkategorie eine Beschreibung bestehend aus Definition, Codierhinweisen und Abgrenzung zu anderen Codes, Ankerbeispiel und Art der Erzeugung erstellt (Tabelle 20).

Tabelle 20: Unterkategorie Grundlage zur Optimierung/vorbeugende Instandhaltung (Quelle: Eigene Darstellung)

Definition	Codierhinweise und Abgrenzung zu anderen Codes	Ankerbeispiel	Erzeugung
Sammlung von Produkt- oder Maschinendaten mit dem Ziel der Verbesserung der Produktionsanlage oder zur Durchführung von vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen.	Maschine optimiert sich nicht selbst. Die Entscheidungen trifft bei jeder Optimierung der Mensch. Daten werden nur gesammelt und eventuell visuell aufbereitet.	... Winkel beim Verschrauben. Wenn wir natürlich da von jedem Teil die Schraubwinkel mit tracken können – ein Beispiel, was wir tatsächlich hatten in der Produktion – und wir sehen, der Schraubwinkel läuft uns nach oben weg, dann ist es oftmals ein Indikator dafür, dass sich beim Lieferanten der Komponenten, z. B. wenn es ein Gussteil ist, der Innendurchmesser von einem vorgeformten Gewinde ändert und dann wäre das im Endeffekt prädiktiv in diesem Sinne, dass man davor schon sagen könnte und schon auf den Lieferanten einwirken könnte vom Einzelteil: Pass doch mal auf deinen Prozess auf. Dir läuft gerade der Durchmesser von so einem Gewinde weg. Du musst drauf reagieren. Also da jetzt im Sinne von Ausschussrate gedacht. (B10, Pos.32)	Aus dem Material

Auf der Grundlage des so ausdifferenzierten Kategoriensystems wurde ein zweiter Codierungsprozess durchgeführt. Das gesamte Material wurde Wort für Wort durchgegangen und eine Codierung anhand der Unterkategorien vorgenommen. Mit dieser Systematisierung und inhaltlichen Strukturierung des Datenmaterials wurde dann der Erfahrungsbericht verfasst.

Im Forschungsbericht sollten zunächst die Ergebnisse für jede Hauptkategorie – also quasi für die Spalten der Themenmatrix – berichtet werden. Leitend ist hier die Frage „Was wird zu diesem Thema alles gesagt?“ und ggf. auch die Frage „Was kommt nicht oder nur am Rande zur Sprache?“ (Kuckartz, 2018, S. 118)

Auch hier wurde der Empfehlung von Kuckartz gefolgt und die Ergebnisse zunächst entlang der Hauptkategorien beschrieben. Im Anschluss daran wurde der Text zur Verbesserung der Lesbarkeit und Verständlichkeit in eine neue Struktur gebracht.

4 Ergebnisse der empirischen Erhebung

4.1 Überblick über die Forschungsteilnehmenden

Zur genauen Beschreibung des Untersuchungsfeldes und auch einzelner Aussagen wurden verschiedene Merkmale der Forschungsteilnehmenden erfasst (Tabelle 21).

Tabelle 21: Merkmale der Forschungsteilnehmenden (Quelle: Eigene Darstellung)

Kürzel	Unternehmen (U) Standort (S)	Tätigkeitsbereich im Unternehmen Qualifikation Auflagengröße Erfahrung in der Gestaltung des Produktionssystems
B1	U1 S1	Prozesstechnologe/Prozesstechnologin Berufliche Qualifikation Serienproduktion 2–5 Jahre
B2	U1 S1	Arbeitsplanungsingenieur/in Akademische Qualifikation Serienproduktion 10–15 Jahre
B3	U1 S1	Prozesstechnologe/Prozesstechnologin Berufliche Qualifikation Einzelfertigung 10–15 Jahre
B4	U2 S1	Prozesstechnologe/Prozesstechnologin Akademische Qualifikation Massenproduktion 5–10 Jahre
B5	U2 S1	Prozesstechnologe/Prozesstechnologin Akademische Qualifikation Massenproduktion 5–10 Jahre
B6	U3 S1	Ingenieur/in – Systems Engineering Akademische Qualifikation Massenproduktion 5–10 Jahre
B7	U2 S1	Ingenieur/in – Systems Engineering Akademische Qualifikation Massenproduktion 0–2 Jahre
B8	U1 S2	Arbeitsplanungsingenieur/in Akademische Qualifikation Massenproduktion 10–15 Jahre
B9	U1 S2	Arbeitsplanungsingenieur/in Akademische Qualifikation Massenproduktion 10–15 Jahre

(Fortsetzung Tabelle 21)

Kürzel	Unternehmen (U) Standort (S)	Tätigkeitsbereich im Unternehmen Qualifikation Auflagengröße Erfahrung in der Gestaltung des Produktionssystems
B10	U4 S1	Ingenieur/in – Systems Engineering Akademische Qualifikation Massenproduktion 2–5 Jahre
B11	U1 S3	Lean-Manager/in Akademische Qualifikation Massenproduktion 2–5 Jahre

Die Standorte 1, 2 und 3 von Unternehmen 1 können der Elektroindustrie zugeordnet werden. Unternehmen 2, 3 und 4 sind der Automobilindustrie zuzuordnen. Alle vier Unternehmen haben mehr als 100.000 Beschäftigte und sind weltweit tätig. Alle untersuchten Standorte befinden sich in Bayern.

4.2 Projekte zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen

In diesem Kapitel wird die technische Perspektive der Industrie-4.0-Projekte dargestellt. Weiter wird auch von technischen Herausforderungen bei der Umsetzung von Industrie-4.0-Anwendungen berichtet. Grundlage für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes ist u. a. die empirische Analyse der Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Insbesondere wird das Aufgabenspektrum in Bezug auf die Gestaltung des Produktionssystems betrachtet. Die Analyse erfolgt vor dem Hintergrund der digitalen Transformation in der Industrie. Ein zentrales Interesse besteht daher darin, Einblicke in die Industrie-4.0-Projekte der interviewten Personen zu gewinnen. Um Informationen zu diesem Thema zu erhalten, wurde in den Interviews die Frage gestellt: „Sie haben ja bei Industrie-4.0-Projekten mitgewirkt. Bei welchen Projekten waren Sie beteiligt? Schildern Sie bitte eines dieser Projekte, bei dem Sie mitgewirkt haben genauer ...“ Die Ausführungen der interviewten Personen zu dieser Frage lassen sich den folgenden Anwendungsbereichen zuordnen:

- Datenerfassung und Datenverwendung
- Digitale Modellierung und Simulation
- Autonome Materialversorgung
- Robotik in der Montage
- Montageassistenzsysteme

Die interviewten Personen berichten über ihre Erfahrungen aus verschiedenen Projekten zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen (Abbildung 24).

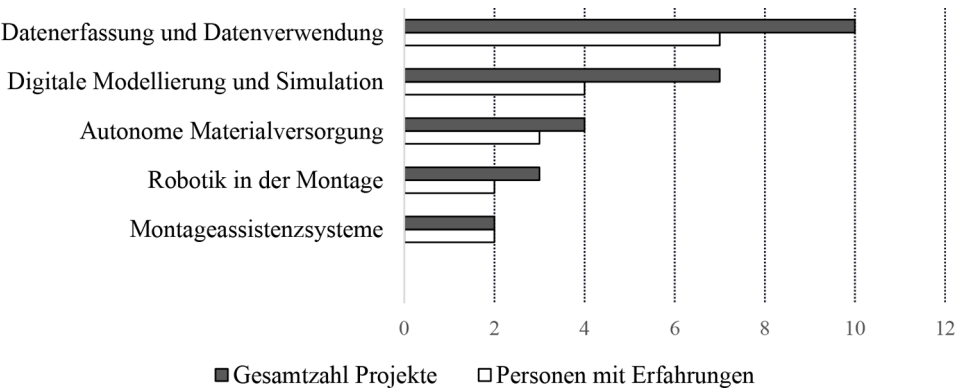


Abbildung 24: Verteilung der Industrie-4.0-Projekte (Quelle: Eigene Darstellung)

Beispielsweise wurde über zehn verschiedene Projekte zur Datenerfassung und Datenverwendung berichtet. Diese Berichte im Bereich der Datenerfassung und Datenverwendung wurden von sieben der Forschungsteilnehmenden angeführt. Es wird auch über Projekte aus dem Umfeld der interviewten Personen berichtet, an denen die Personen selbst nicht direkt beteiligt waren. Weiter werden nicht nur erfolgreiche Projekte berücksichtigt, sondern auch Projekte, die wieder eingestellt wurden. Auch aus Misserfolgen oder veränderten Ansätzen können wichtige Hinweise für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt gewonnen werden. Ebenso wird auch allgemein über die Gestaltung des Produktionssystems mit Industrie-4.0-Anwendungen berichtet, da die interviewten Personen z. B. bereits viele ähnliche Projekte umgesetzt haben. Die zentrale Gemeinsamkeit aller aufgeführten Beispiele und Aussagen sind die Erfahrungen der interviewten Personen mit der Gestaltung des Produktionssystems im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie.

Um einen ersten Eindruck von den Projekten aus der empirischen Erhebung zu vermitteln, werden alle in den Interviews angesprochen Projekte oder Anwendungen in sinngemäßer Formulierung der interviewten Personen zusammengestellt (Tabelle 22).

Tabelle 22: Erfahrungen der Forschungsteilnehmenden zu Industrie-4.0-Projekten (Quelle: Eigene Darstellung)

Datenerfassung und Datenverwendung	<ul style="list-style-type: none">• Dokumentation von Schraubvorgänge mit Akku-Drehmomentschraubern• Dokumentation von Prozessdaten am Beispiel eines Wärmebehandlungssofens• Anbindung von Maschinen und Anlagen zur Überwachung der Anlagenverfügbarkeit• Überwachung der Stromaufnahme an einem Roboter zur Instandhaltung• Anbindung von Maschinen und Anlagen an ein MES• Auswertung und Visualisierung von Produktionsdaten über ein MES• MES zur Rückverfolgbarkeit der Komponenten, Erfassung von Betriebsdaten, Maschinendaten und OEE• Rückkopplung von Parametern eines Prüfstands zur Prozessregelung an einer vorgelagerten Montagestation• Nachregelung des Nachsitzweges einer Elektrode bei einem Schweißprozess• Anwendung von Machine Learning am Beispiel der automatisierten Röntgenprüfung in der Elektronikproduktion
---	--

(Fortsetzung Tabelle 22)

Digitale Modellierung und Simulation	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation einer Fertigungslinie zur Optimierung des Stückzahlenoutputs • Materialflusssimulation von verschiedenen Projekten bei der Neuplanung und Umpassung von Montagelinien • Software zur Erstellung von Leitungssätzen im Schaltschrankbau • Simulation und Entwicklung eines Algorithmus zur Reihenfolgeplanung der Fertigungsaufträge • Erzeugung einer digitalen Fertigungsanweisung direkt aus den Konstruktionsdaten • Digitaler Zwilling zur Simulation von Produktionsanlagen • Projekte zu digitalen Zwillingen am Beispiel der Simulation einer Produktionsanlage mit Robotern
Autonome Materialversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • FTS zum Transport von Leergut und Fertigerzeugnisse (Steuerung über RFID) • Verschiedene FTS zum Transport von Material oder Leerkisten (Steuerung über RFID) • FTS für den Transport von Leerpaletten oder Fertigerzeugnissen (Taxiprinzip, Steuerung über ein Tablet)
Robotik in der Montage	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzpotenziale für Schraub- oder Montageroboter in der Variantenmontage • Flexibler Schraubroboter • Roboter zur Unterstützung bei der Endmontage
Montageassistenzsysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Kamerabasierter Montageassistent zur Unterstützung der Montage und visueller Endprüfung • Einsatz einer Datenbrille zur visuellen Unterstützung bei der Montage von Schaltschränken

Die Industrie-4.0-Projekte werden im Folgenden nach diesen Anwendungsbereichen geordnet näher vorgestellt.

Nach Bauer et al. (2014) ermöglichen die mit Industrie 4.0 verbundenen Technologien eine weitere Vernetzung im Produktionsumfeld: „Charakteristikum aller Industrie 4.0-Technologien ist ihre Befähigung zu einer intelligenten Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen“ (S. 18). Ob überhaupt oder ab wann in diesem Zusammenhang der Begriff Intelligenz verwendet werden sollte, ist m. E. fraglich. Unbestritten ist hingegen, dass die Vernetzung zwischen verschiedenen Maschinen, Systemen und dem Menschen zunimmt und die Technologien einen erweiterten Informationsaustausch ermöglichen. In diesen Bereich fallen auch die von den interviewten Personen am häufigsten angeführten Erfahrungen zu Industrie-4.0-Anwendungen. Diese Projekte werden als Datenerfassung und Datenverwendung bezeichnet. Von den elf interviewten Personen berichten sieben über Projekte in diesem Umfeld (B3, B4, B6, B8, B9, B10, B11).

Zwei der interviewten Personen beschreiben die Anbindung von Maschinen oder Produktionsanlagen an ein IT-System mithilfe von Sensoren (B3, B6). Produktionsdaten sollen erfasst und damit Rückverfolgbarkeit von Bauteilen oder Prozessdaten ermöglicht werden. Eine der interviewten Personen beschreibt dies anhand eines Beispiels aus der Automobilindustrie:

Das heißt, beim nächsten Schritt, wenn es in den Wärmebehandlungssofen kommt – für die künstliche Alterung – dann wird der Code [Seriennummer] abgefragt und dann wird in der Datenbank hinterlegt bei diesem Code: Okay, dieses Bauteil mit dem Parameter ist an dem Tag in den Wärmebehandlungssofen gekommen bei den Parametern und hat den

Prozess dann und dann erfolgreich abgeschlossen. Also es gibt quasi irgendwo einen Server, also alle Anlagen sind am internen Netzwerk angeschlossen. Dann gibt es eine Datenbank, da hat jedes Bauteil eine einzigartige Nummer und da wird das dann dazu gespeichert. Dann kann man im Nachhinein, wenn man ein Teil aus einem Auto ausbaut und den Barcode scannt, nachvollziehen, wann ist das Teil produziert worden, wo ist es produziert worden, mit welchen Parametern, welche Messwerte hatte es. (B6, Pos. 32)

Diese Industrie-4.0-Anwendungen dienen der Rückverfolgbarkeit von Einzelteilen oder Produktionsprozessen. Die andere Person berichtet von einem Projekt mit vernetzten Akkuschraubern. Unter anderem sollen die Drehmomentverläufe aller Verschraubungen automatisch auf einem Speichermedium im Akkuschrauber dokumentiert werden. So ließe sich die Qualität der Verschraubung für jedes einzelne Produkt nachvollziehen. Die Daten können über das Netzwerk oder über einen USB-Anschluss aus dem Schrauber ausgelesen werden. So seien Rückschlüsse auf Fehler möglich und bei Bedarf könne die Qualität gegenüber dem Kunden nachgewiesen werden. (B3, Pos. 42–54; 61–62)

Vier der interviewten Personen berichten über Erfahrungen aus Projekten, in denen die Produktionsdatenerfassung als Grundlage für die Verbesserung eingesetzt wird (B6, B8, B9, B10). Die Daten dienen nicht oder nicht nur der Rückverfolgbarkeit, sondern sollen gezielt zur Verbesserung der Prozesse in Produktion oder Instandhaltung eingesetzt werden. Eine Person berichtet, dass sie zum Zeitpunkt des Interviews an der Einführung eines Manufacturing Execution System (MES)⁹ beteiligt ist. Das neue MES solle nicht nur die Rückverfolgbarkeit der Komponenten gewährleisten, sondern auch die Erfassung von Maschinendaten ermöglichen. Die Maschinendatenerfassung sei für das Unternehmen ein wichtiges Werkzeug, um die aktuelle Taktzeit der Maschinen zu kennen, die Verfügbarkeit der Maschinen zu optimieren oder Qualitätsdaten zu erfassen. Ein Beispiel für kontinuierlich zu erfassende Qualitätsdaten seien Drehwinkel von Schraubverbindungen. Ändere sich der gemessene Drehwinkel einer Schraubverbindung im Laufe der Zeit langsam, so könne dies z. B. auf eine Beschädigung des Gewindes eines Zukaufteils hindeuten. Der Zulieferbetrieb könne frühzeitig darauf aufmerksam gemacht werden, dass sich sein Prozess verschlechtert habe und er nachbessern müsse. Außerdem sollen Anlagenstillstände erfasst werden, um Störungsschwerpunkte zu erkennen und deren Ursachen zu ermitteln. (B10, Pos. 28–32) Die Person beschreibt dieses Beispiel eines frühzeitigen Eingriffs im Falle einer Änderung des Drehwinkels einer Schraubverbindung wie folgt:

... Winkel beim Verschrauben. Wenn wir natürlich da von jedem Teil die Schraubwinkel mit tracken können – ein Beispiel, was wir tatsächlich hatten in der Produktion – und wir sehen, der Schraubwinkel läuft uns nach oben weg, dann ist es oftmals ein Indikator dafür, dass sich beim Lieferanten der Komponenten – z. B. wenn es ein Gussteil ist – der Innendurchmesser von einem vorgeformten Gewinde ändert und dann wäre das im End-

9 Ein MES ist eine Software zur Unterstützung der Produktionsprozesse und der vertikalen Integration. Das MES hat die Aufgabe, die lang- und mittelfristige Planungsebene aus dem übergeordneten Planungssystem mit den kurzfristigen Anforderungen der Produktion zu verknüpfen. Mithilfe des MES können z. B. Maschinendaten in Echtzeit erfasst und als verdichtete Daten an das übergeordnete Planungssystem weitergeleitet werden. (Kletti, 2007, S. 57)

effekt „predictive“ [vorausschauend¹⁰] in diesem Sinne, dass man davor schon sagen könnte und schon auf den Lieferanten einwirken könnte vom Einzelteil: Pass doch mal auf deinen Prozess auf. Dir läuft gerade der Durchmesser von einem Gewinde weg. Du musst darauf reagieren. Also da jetzt im Sinne von Ausschussrate gedacht. Im Sinne von Anlagenstillständen wäre es natürlich für uns auch interessant, welche Stationen machen Probleme, was sind die Störungsmeldungen, ist es wirklich ein Anlagenproblem oder warten wir einfach zwei Stunden am Tag aufs Material, weil das fehlt, um solche Themen eben schon voneinander separieren zu können. Und natürlich Taktzeiten sind relativ einfach zu erfassen. (B10, Pos. 32)

Eine andere Person berichtet von der Anbindung verschiedener Maschinen und Anlagen an ein MES und gibt Beispiele dafür, wie die erfassten Daten zur Verbesserung von Produktions- und Wartungsprozessen dienen könnten. Moderne Maschinen verfügen in der Regel über eine OPC-UA-Schnittstelle¹¹. Über diese Schnittstelle können die Maschinen mit dem MES verbunden werden. Bei älteren Maschinen können IoT-Boxen¹² verwendet werden, um das Zyklussignal der Maschine zu erfassen. Ziel sei es, Informationen wie die Gesamtanlagenverfügbarkeit (OEE)¹³ oder die produzierte Stückzahl einer Periode zu erfassen und visuell darzustellen. Auch von außerhalb der Produktion soll der aktuelle Status einsehbar und Probleme identifiziert werden können. Wenn sich etwa die Zykluszeit einer Maschine von 20 auf 22 Sekunden erhöhe, sei dies für die menschlichen Sinne vor Ort an der Maschine kaum wahrnehmbar. Durch die kontinuierliche Erfassung der Zykluszeit ließen sich diese Abweichungen des Istwertes vom Sollwert jedoch schnell erkennen und im Detail analysieren. Auch werde bei einem längeren Stillstand der Maschine eine Fehlermatrix auf dem Bildschirm der Maschine angezeigt. Anhand dieser Fehlermatrix sollen die Mitarbeitenden in der Produktion den Grund für den Stillstand klassifizieren. Langfristig könne mit diesen Daten z. B. die Gesamtanlagenverfügbarkeit der Produktionsanlage verbessert werden. (B8, Pos. 10–24) Von zwei Personen wird die Produktionsdatenerfassung als Grundlage für die Optimierung von Produktionsanlagen angesprochen. Beide berichten über die Anbindung von Maschinen und Anlagen an interne IT-Netzwerke. Daten werden automatisiert gesammelt und aufbereitet. Anhand dieser Visualisierungen können z. B. Maßnahmen zur Optimierung von Produktionsprozessen oder zur Durchführung von Wartungsarbeiten getroffen werden. (B6, B9) Es wurde auch über Erfahrungen mit Projekten berichtet, die nicht weitergeführt wurden. Eine Person berichtet, dass sie versucht habe, eine Anwendung für eine vorausschauende Instandhaltung von Robotern zu entwickeln:

10 „Predictive“ wird hier im Zusammenhang mit dem Konzept der vorausschauenden Instandhaltung verstanden. Ziel des Konzeptes ist die Bestimmung von Wartungszeitpunkten auf der Basis von Daten. Verschiedene Parameter an der Maschine werden durch Sensoren kontinuierlich erfasst. Durch (automatische) Analyse und Interpretation dieser Parameter soll der Zeitpunkt des Ausfalls eines Teilsystems ermittelt und der optimale Wartungszeitpunkt bestimmt werden. (Zhai & Reinhart, 2018)

11 Unabhängiger Standard zum Austausch von Daten.

12 Unter einer IoT-Box wird in diesem Zusammenhang ein kompakter Computer verstanden, mit dem z. B. eine Maschine an das Internet der Dinge (Internet of Things [IoT]) angebunden werden kann. Dieser kompakte Computer ist für die Vernetzung von Objekten mit dem Internet vorbereitet und verfügt über eine Schnittstelle für Sensoren und eine Schnittstelle für eine Internetverbindung.

13 Kennzahl zur Messung der Verfügbarkeit einer Anlage.

Man könnte z. B. die Stromaufnahme von dem Roboter überwachen und dann weiß man, okay, wenn quasi irgendeine Achse ausgeschlagen ist ..., dann ist der mechanische Aufwand größer, der vom Motor betrieben werden muss. Dann braucht der mehr Strom. Aber wir haben das nicht geschafft. Vielleicht schaffen das andere Firmen. Wir sind da immer dran gescheitert. Wir haben da einfach Störungen generiert, die im Endeffekt dann keine waren. (B6, Pos. 36)

Drei der interviewten Personen berichten von Anwendungen, die auf die Selbstregulierung einzelner Elemente von Produktionsanlagen abzielen (B4, B9, B11). Eine der Personen beschreibt ein Projekt, bei dem sich der Produktionsprozess anhand von Parametern aus einem Prüfsystem selbst regelt. Die Person habe eine Lösung zur Prozesssteuerung auf der Basis von Abweichungen zum Sollzustand an einem Prüfsystem entwickelt. Es handele sich um eine Montagelinie mit mehr als 20 einzelnen Arbeitsprozessen. Aus einer Kennlinie des Prüfsystems habe die Person die relevanten Messpunkte ermittelt und den Arbeitsprozess identifiziert, der das Verhalten dieser Werte beeinflusse. Anschließend habe sie eine Rückkopplung vom Prüfsystem zu diesem Arbeitsplatz programmiert, um die Parameter gezielt verändern zu können. Zum Zeitpunkt des Interviews befinde sich die Anwendung noch in einer frühen Phase und werde über eine Software zur Tabellenkalkulation realisiert. Es sei geplant, die Anwendung in eine stabile Serienversion zu überführen. (B4, Pos. 24–30) Eine weitere Person erwähnt eine Industrie-4.0-Anwendung zur automatisierten Steuerung eines Schweißprozesses. Der Nachsitzweg der Elektrode werde gemessen und das System passe die Parameter anhand eines Modells an, um eine gleichbleibend hohe Qualität des Schweißprozesses zu gewährleisten. (B9, Pos. 12–16) Eine dritte Person berichtet von einem Projekt im Bereich des maschinellen Lernens. Sie habe an einem Projekt mitgearbeitet, bei dem es darum gegangen sei, ein Verfahren zur Qualitätskontrolle von Lötstellen zu verbessern. Im Ausgangszustand finde das System viele Pseudofehler, obwohl die Qualität der Lötstellen in Ordnung sei. Diese Pseudofehlerrate betrage fast 40 Prozent. Eine Bilderkennungssoftware solle diese Pseudofehlerrate reduzieren. Die Person sei sowohl an der Implementierung der künstlichen Intelligenz als auch an der Entwicklung und Anpassung der einzelnen Verfahren beteiligt gewesen. Das Projekt sei zum Zeitpunkt des Interviews nicht abgeschlossen, die interviewte Person sei aber nicht mehr am Projekt beteiligt, sondern habe andere Aufgaben übernommen. (B11, Pos. 12–24)

Vier der elf interviewten Personen beschäftigen sich mit Anwendungen der digitalen Modellierung und Simulation (B2, B3, B7, B11). Digitale Modelle werden in verschiedenen Bereichen und Größenordnungen eingesetzt. Maschinen und Anlagen werden digital abgebildet und durch Simulation optimiert. Die digitale Abbildung eines kompletten innerbetrieblichen Wertschöpfungsprozesses wurde erprobt. Aber auch zur Erstellung von produktionsunterstützenden Dokumenten oder Maschinenprogrammen werden digitale Modelle und Simulationen eingesetzt.

Zwei Personen berichten über ihre Arbeit mit der Software „Plant Simulation“¹⁴ (B2, B7). Eine Person beschreibt den Einsatz dieser Software, um Produktions- und Planungsprozesse effizienter zu gestalten. Die Software werde eingesetzt, um die Planung des Umbaus eines Produktionsbereiches zu erleichtern und eine Aussage darüber zu ermöglichen, wie sich verändernde Stückzahlen in Zukunft am besten produzieren ließen. Ziel der Simulation sei es, die Entscheidungsfindung durch die Erstellung und Bewertung verschiedener Szenarien zu unterstützen. Die Funktionsweise und Bedienung der Software beschreibt die Person wie folgt: Für jeden Arbeitsplatz gebe es ein entsprechendes Symbol, das mit Parametern wie einer Arbeitsplatzkapazität verknüpft werden könne. Durch die Verknüpfung dieser Symbole könne die Reihenfolge der Arbeitsabläufe dargestellt werden. Außerdem sei es möglich, Produkte mit unterschiedlichen Parametern zu hinterlegen. Nach der Pflege der Prozesse und Produkte könne eine Simulation verschiedener Szenarien durchgeführt werden. Damit lasse sich überprüfen, inwieweit die einzelnen Szenarien definierte Zielgrößen erreichen und welches Szenario in der realen Produktion am besten geeignet sei. So können z. B. verschiedene Layoutentwürfe simuliert und überprüft werden, ob die zukünftigen Stückzahlen mit einem Layout erreicht werden können. Die Person beschreibt weiter beispielhaft die Simulation eines Prüfsystems, mit dem eine Zufallskontrolle der Produkte durchgeführt werden soll. Mithilfe der Simulation wurde überprüft, ob es sinnvoll sei, das bestehende manuelle Prüfsystem durch eine neue Version mit einem höheren Automatisierungsgrad zu ersetzen. Die derzeit verwendete manuelle Variante habe sich in der Simulation als kostengünstiger und weniger störanfällig erwiesen. Daher entschieden sie sich gegen die Anschaffung eines neuen automatisierten Systems. Auch haben sie den Abtransport der Endprodukte mit einem FTS simuliert. Das Gesamtergebnis der Simulation habe ergeben, dass die Produktion von einzelnen produktspezifischen Fertigungsbereichen auf eine Linie umgestellt wurde. Auf dieser Linie sei es möglich, viele verschiedene Produkte herzustellen. (B2, Pos. 30–58) Die andere Person beschreibt, dass die Simulationssoftware für verschiedene Projekte eingesetzt wird, wie den Aufbau oder Umbau von Vormontagelinien, Anlagenprüfständen oder kompletten Produktionslinien. Dies geschehe in einer frühen Planungsphase, um schnell verschiedene Szenarien erproben zu können. Es können u. a. verschiedene Szenarien für die Gestaltung des Layouts und der Materialversorgung untersucht werden. Neben betriebswirtschaftlichen Kennzahlen wie der Taktzeit sei es beispielsweise auch möglich, die Laufwege der Mitarbeitenden in der Produktion zu simulieren. Die Produktionsanlagen im Verantwortungsbereich dieser Person seien in der Regel hoch automatisiert. Manuelle Arbeiten seien nur beim Einrichten der Anlage oder bei Störungen erforderlich. Daher seien die Laufwege der Mitarbeitenden eher selten Gegenstand der Simulation. (B7, Pos. 6, 22, 50) Die interviewte Person beschreibt den Hintergrund für den Einsatz der Software wie folgt:

¹⁴ Plant Simulation ist eine Software, mit der Produktionssysteme und Logistikprozesse modelliert, simuliert und visualisiert werden können. Damit lassen sich Materialfluss und Ressourceneinsatz analysieren und optimieren. Dabei können einzelne Prozesse, Produktionslinien oder ganze Fabriken betrachtet werden. (<https://plm.sw.siemens.com>)

Das hat einen Mehrwert, also wirklich einen messbaren Benefit, weil ich z. B. Planungsalternativen durchchecken kann, und zwar 15 Stück in einer halben Stunde. Das kann ich auf dem Papier einfach nicht. Also ich habe mehr Möglichkeiten, ich bin effizienter, ich bin schneller. Ich kann in die Zukunft schauen, indem ich einfach sagen kann: Okay, wir nehmen mal an, unser Stückzahlzenario sieht dann so aus und dann so aus und dann so aus. Ich habe erst am Anfang einen Mitarbeiter, dann drei, dann fünf, komme ich da hinterher oder nicht, bin ich nur am Rüsten bei hochautomatisierten Maschinen, also ich kann quasi vorausschauen, ich kann verschiedene Alternativen prüfen, ist dieses Lieferantenkonzept für die Vormontagelinie besser oder dieses. (B7, Pos. 50)

Eine andere der interviewten Personen berichtet von einer Software, die sie bei der Erstellung von Leitungssätzen im Bereich der Produktion von Schaltschränken unterstützt. Sie erhalte von einer Entwicklungsabteilung Konstruktionsdaten für einen Schaltschrank. Diese Daten übertrage sie in die Software. Anschließend grenze sie die Leitungswege ein und nehme Korrekturen am Modell vor. So lege sie im Detail fest, wo die Leitungen im Schaltschrank verlaufen sollen. Daraufhin erstelle die Software automatisch eine Datei für die Kabelkonfektionierung. Diese Datei werde entweder an einen Zulieferbetrieb zur Erstellung von Leitungssätzen übergeben oder an eine eigene Maschine übermittelt. Die Maschine erstelle aus diesen Daten automatisch die Leitungssätze für die Verdrahtung der Schaltschränke. (B3, Pos. 29–32)

... [Wir] bestücken diesen Schrank [Schaltschrank], den wir in 3D schon haben, lassen die Leistungslisten einarbeiten. Also das macht das System und dann routet das System automatisch nach den besten Leitungswegen, die wir vorher natürlich ein bisschen eingegrenzt haben. Und daraus kann das System dann errechnen, wie lang die Leitung sein muss. (B3, Pos. 24)

Eine andere Person beschreibt ein Projekt zur Entwicklung einer Software zur Unterstützung der Reihenfolgeplanung. Ziel des Projektes sei es gewesen, die Reihenfolge der Aufträge so zu steuern, dass die Maschinen optimal ausgelastet und die Puffer der nachfolgenden Linien zum richtigen Zeitpunkt gefüllt werden. Außerdem wurden möglichst kurze Durchlaufzeiten und geringe Rüstzeiten angestrebt. Die Software solle die Mitarbeitenden bei den Planungs- und Steuerungsprozessen unterstützen und den Aufwand für die Reihenfolgeplanung reduzieren. Diese Ziele sollten durch eine umfassende Modellierung und Simulation des Produktionssystems sowie durch einen selbstlernenden Algorithmus erreicht werden. Insgesamt fehlten jedoch zu viele Grundvoraussetzungen, z. B. definierte Füllmengen von Materialpuffern in der Produktion. Das Projekt sei nicht weitergeführt worden; die Reihenfolgeplanung werde heute mit Methoden des Lean Managements durchgeführt. (B11, Pos. 12, 16)

Über eine Software zur Erstellung von Montageunterlagen berichtet eine andere Person. Normalerweise erstelle die interviewte Person die Montageanleitungen selbst anhand von Fotos, die während der ersten Produktion des Produkts gemacht werden. Es sollte eine Software eingeführt werden, die aus den Entwicklungsdaten eine digitale Montageanleitung erstellen könne. Die Einzelteile sollten Schritt für Schritt in einem Modell zusammengebaut werden. Das Projekt sei u. a. wegen fehlender digitaler Daten zu den Bauteilen eingestellt worden. (B2, Pos. 24) Zwei der interviewten Personen be-

schreiben ihre Arbeit mit digitalen Zwillingen und digitalen Schatten von Maschinen¹⁵ (B2, B7). Eine Person beschreibt beispielsweise, dass während des Aufbaus einer Produktionsmaschine die Software an einem digitalen Abbild erstellt und getestet werden kann. Dabei werde das Zusammenspiel der Abläufe in der Maschine simuliert. Bei hochautomatisierten Maschinen helfe diese Simulation u. a. dabei, das Programm und die Maschine bereits im Vorfeld so konfigurieren zu können, dass eine Vielzahl von Prozessschritten passgenau aufeinander abgestimmt sei. (B7, Pos. 22–28)

Die interviewten Personen berichten auch über Industrie-4.0-Anwendungen im Bereich der autonomen Materialversorgung. Drei der elf interviewten Personen berichten über ihre Beteiligung an der Einführung und dem Betrieb freinavigierender fahrerloser Transportsysteme (FTS). (B4, B5, B9)

Der Einsatz sogenannter *fahrerloser Transportsysteme* (FTS – engl. Automated Guided Vehicle, AGV) ist in der Intralogistik bereits seit einigen Jahren gängige Praxis. Bislang erfolgt der Einsatz jedoch meist in wohldefinierten und z. B. durch Schutzzäunen [sic!] abgetrennten Umgebungen. ... Diese Systeme werden derzeit nach und nach durch Spurungebundene Systeme abgelöst, welche freinavigierend, überwiegend auf Basis optischer Sensorik im Fahrzeug (z. B. Laserscanner oder Kameras), den Materialfluss ohne infrastrukturelle Eingriffe, wie das Einfügen von Markern oder Linien, durchführen. (Isenhardt et al., 2020, S. 689; Herv. i. O.)

Eine interviewte Person gibt an, dass sie für den Betrieb und die Weiterentwicklung des Einsatzes mehrerer verschiedener FTS verantwortlich ist (B5). Die beiden anderen Personen beschreiben ihre Beteiligung an Projekten zur Einführung von FTS oder ihre Verantwortung für den reibungslosen Serienbetrieb (B4, B9). Eine Person berichtet über die Einführung von FTS, die Integration neuer Anwendungsfälle und die Aufgaben zur Sicherstellung des laufenden Betriebs. Diese Person sei seit der Ersteinführung der FTS im Werk Teil des Projektteams und erarbeite gemeinsam mit dem Entwicklungsteam des Zulieferbetriebs Anforderungen für die Weiterentwicklung der Systeme. Bei der Erstinbetriebnahme werde das FTS manuell durch die Produktion bewegt und dabei automatisch ein digitales Modell der Fabrik erstellt. Dieses Modell der Fabrik sei vergleichbar mit einer Landkarte oder dem Grundriss eines Gebäudes. Diese Karte werde dann an die anderen FTS weitergegeben. Der Status der FTS könne online überwacht werden. So könne z. B. die aktuelle Position des FTS auf dem Modell der Fabrik ermittelt oder anstehende Transportaufträge abgefragt werden. Die Person beschreibt einen Anwendungsfall, bei dem Kleinladungsträger automatisch von der Produktionslinie abgeholt und zu einer Reinigungsanlage transportiert werden. Dieser Anwendungsfall sei bereits im Serieneinsatz. Die Mitarbeitenden in der Produktion können mit einem Transponder einen Auftrag für das FTS auslösen. Der so erzeugte Transportauftrag gebe vor, von welchem Punkt zu welchem Punkt der Kleinladungsträger transportiert werden solle. Ein FTS könne diesen Transportauftrag ohne Eingriff

15 Der digitale Zwilling steht für die möglichst umfassende digitale Abbildung eines realen Systems mithilfe von Software. Der digitale Schatten ist eine Vorstufe des digitalen Zwillings und enthält nur einen Teil der Fähigkeiten des digitalen Zwillings. Digitale Schatten stellen z. B. nur den aktuellen Zustand des Systems oder vergangene Zustände dar. Digitale Zwillinge enthalten dagegen auch Simulationsmodelle zur Prognose der Zukunft. (Kuhn et al., 2022, S. 508)

des Menschen ausführen. Die Transportaufträge werden zentral gesammelt und durch die FTS nacheinander ausgeführt. Zum Zeitpunkt des Interviews sei es die Aufgabe der Person, neue Anwendungsfälle zu identifizieren und damit das System weiter zu etablieren und den Serienbetrieb zu betreuen. (B5, Pos. 22–80) Eine weitere Person berichtet über ihre Beteiligung an der Einführung von FTS in die Produktion. Zum Zeitpunkt des Interviews sei die Person mit der Umsetzung verschiedener Anwendungsfälle beschäftigt. Die FTS transportieren sowohl leere Kleinladungsträger als auch fertige Produkte von einer Quelle zu einer Senke. Die Mitarbeitenden in der Produktion geben über einen Transponder einen Auftrag an das Logistiksystem. Ein FTS erhalte diesen Auftrag mit dem Inhalt, z. B. einen Kleinladungsträger von einer Position abzuholen und zu einer anderen Position zu bringen. Wenn ein FTS keine Aufträge mehr zu erledigen habe, kehre es zu den Ladestationen zurück. Bei der ersten Inbetriebnahme wurde ein FTS manuell durch die Produktion gefahren. Dabei habe das System mithilfe eines Laserscanners ein Modell der Fabrik erstellt. Dieses Modell wurde anschließend manuell nachbearbeitet, um u. a. die erlaubten Fahrwege und die gesperrten Bereiche zu definieren. Die interviewte Person sei bei der Erstinbetriebnahme nicht beteiligt gewesen, werde aber aktuell in den weiteren Einführungsprozess eingebunden. (B4, Pos. 30–32) Eine dritte Person berichtet von einem FTS, das in der Lage ist, Paletten zu transportieren. Es werde eingesetzt, um Material zu holen, fertige Produkte abzuliefern oder leere Paletten zur Verfügung zu stellen. Die Person erklärt, dass das FTS derzeit ähnlich wie ein Taxi funktioniert und bei Bedarf gerufen werden kann:

[Das FTS] ... bringt uns entweder Material oder ... holt Fertigware ab und bringt dann auch eine Leerpallette, dass man wieder Material abstellen kann. Das funktioniert halt eben aktuell über das Taxiprinzip, dass wir den über ein Tablet rufen. Da sind dann verschiedene Workflows [Arbeitsabläufe¹⁶] hinterlegt, Fertigware an Punkt A abholen oder Fertigware an Punkt B abholen und dann hat er die gespeichert, holt das oder führt halt seinen Auftrag aus. (B9, Pos. 72)

Eher am Rande wird in den Interviews auch die Robotik in der Montage thematisiert. Zwei der interviewten Personen berichten über den Einsatz von Anwendungen mit Robotik (B2, B10). Eine Person beschreibt, dass sie in zwei Produktionslinien Roboter eingesetzt hat, die kooperativ mit den Mitarbeitenden in der Produktion zusammenarbeiten. Zusätzlich seien die Roboter durch einen Lichtvorhang von den Menschen getrennt. Die Person berichtet von einer flexiblen Schraubzelle, die mit einem Roboter realisiert wurde. Durch die Realisierung der Schraubzelle mit einem Leichtbauroboter könne die Schraubzelle mit vorhandenem Personal relativ einfach umprogrammiert und an andere Produkte angepasst werden. Die Person beschreibt auch eine Montageanwendung, bei der sich Roboter und Mensch die Arbeitsschritte teilen. Roboter und Mensch wechseln sich bei den Aufgaben sequenziell ab. Der Roboter übernehme die

16 Unter einem Workflow wird in diesem Zusammenhang ein fester Arbeitsablauf für das FTS verstanden, der als Programm auf dem Tablet gespeichert ist. Der Workflow kann von den Mitarbeitenden ausgewählt werden. Das FTS führt dann eine genau spezifizierte Aufgabe aus. Für unterschiedliche Aufgaben werden unterschiedliche Workflows verwendet.

Montage eines Deckels und die Handhabung eines Gehäuses, der Mensch die Montage eines Kabels und die Kabelverlegung. Die einzelnen Schritte liefen sequenziell ab, wobei der Roboter dem Menschen das Gehäuse für die Montage des Kabels und die Verlegung des Kabels präsentierte (B10, Pos. 74, 78–80). „Der Robi macht einen Arbeitsgang, dann wartet er, dann kommt der Mensch rein, steckt seine Kabel, geht raus, Robi macht es wieder ein Stückchen zu, Mensch geht wieder rein.“ (B10, Pos. 80) Die andere Person erwähnt, dass sie bereits Projekte mit Montage- und Schraubrobotern versucht haben. Aufgrund des Produktspektrums mit geringen Stückzahlen und hoher Varianz wurden jedoch keine geeigneten Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz eines Roboters gefunden und die Projekte wieder eingestellt. (B2, Pos. 22, 68, 78)

Zwei der elf interviewten Personen berichten von Projekten, in denen Montageassistenzsysteme in der Produktion zum Einsatz kommen (B1, B3). Eine Person erwähnt den Einsatz von zwei verschiedenen Montageassistenzsystemen. Die Einführung eines dieser Montageunterstützungssysteme habe die interviewte Person von der Einführung bis zur Stabilisierung der Produktion selbst verantwortet. Dieses System bestehe aus einer Kamera, einem Leuchtpaneel über dem Arbeitsplatz und einem Bildschirm, auf dem der Ablauf der Montage angezeigt werden könne. Das System prüfe, ob das Ergebnis der einzelnen Arbeitsschritte korrekt sei. Das System war im Unternehmen bereits bekannt und wurde eingeführt, um eine aufwendige manuelle Endkontrolle zu ersetzen. (B1, Pos. 26–36, 73–76)

Die andere Person gibt an, sie war an einem Projekt beteiligt, in dessen Rahmen verschiedene Möglichkeiten, Datenbrillen zu verwenden, getestet wurden. Es handelte sich um eine Brille, durch die man hindurchsehen konnte. Es konnte ein Bild auf das Glas projiziert werden, um Informationen für die Mitarbeitenden anzuzeigen. Die Brille sollte in der Produktion von Schaltschränken eingesetzt werden. Ziel sei es zunächst gewesen, Fertigungsunterlagen auf der Datenbrille darzustellen. Es sei geplant gewesen, ein Bild des Produkts und der einzelnen Arbeitsschritte zu projizieren, damit die Mitarbeitenden die einzelnen Komponenten einfacher im Schaltschrank positionieren können. Diese Anwendung wurde aufgrund fehlender Produktdaten aus der Entwicklung nicht weiter verfolgt. Im zweiten Anwendungsfall sollten die Mitarbeitenden bei der Verdrahtung unterstützt werden. Für jeden Verdrahtungspunkt sollte ein kleines Bild zur Orientierung im Schaltschrank angezeigt werden. Ein längeres Arbeiten mit der Brille sei jedoch aufgrund der hohen Belastung für die Augen nicht möglich gewesen. Die Anwendungen mit der Datenbrille wurden aufgrund fehlender Daten und mangelnder Benutzerfreundlichkeit verworfen. Stattdessen wurde eine alternative Lösung mit Tablets und konventioneller Leitungsverlegung mithilfe einer digitalen Verdrahtungsliste umgesetzt. (B3, Pos. 88–90)

Die interviewten Personen erläutern auch verschiedene technische Herausforderungen bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen. Ein Schwerpunkt der Herausforderungen zeigt sich hinsichtlich der Verfügbarkeit und Qualität technischer Daten. Eine Person berichtet, dass ein Industrie-4.0-Projekt nicht durchgeführt werden konnte, weil viele Konstruktionsdaten für Produkte und Komponenten nicht verfügbar sind. (B2, Pos. 26–28) Eine andere Person beschreibt die gleiche Thematik allgemein.

Sie gibt an, dass insgesamt noch Grunddaten für eine weitere Digitalisierung fehlen. Teilweise fehlen die Konstruktionsdaten der Bauteile noch komplett. Oft seien sie auch vorhanden, aber nicht in dem Format oder auf der Plattform, auf der sie benötigt werden. (B3, Pos. 80–84). Aus Sicht dieser Personen ist es notwendig, eine gemeinsame Plattform für den Datenaustausch zu schaffen. Derzeit arbeiteten die einzelnen Bereiche oft an eigenen Lösungen. Für den Aufbau einer entsprechenden Datenqualität sei es allerdings schwierig, den langfristigen Nutzen zu begründen:

Eine Datenbasis, wo alle Systeme oder die meisten Systeme zurückgreifen können. Wenn das vorhanden ist, dann kannst du im Prinzip schon fast alles machen. Das heißt, du kannst mit einer Uhr arbeiten, du kannst du mit einer Brille arbeiten. ... Aber diese Aufarbeitung ist momentan alles immer noch Einzelstückwerk, jede Firma, jede Abteilung arbeitet da für sich und zieht für sich die Daten zusammen. ... und es wird bei „Unternehmen 3“ auch versucht, die Datenbank zusammenzutragen. Da ist man schon ganz gut dabei. Aber letztendlich scheitert man immer daran, dass man sagt, was haben wir jetzt für einen Gegenwert, wenn wir diese Datenbank aufbauen. Ich kann dir keinen Nutzen liefern, weil ich noch nicht weiß, wie es in fünf Jahren aussieht. Wenn kein ersichtlicher Nutzen da ist, kein rechenbarer Nutzen, dann machen wir das nicht. (B3, Pos. 84)

Eine andere Person erklärt, dass Daten oft keinem Standard unterliegen. OPC-UA als Standard für den Datenaustausch hätte das Problem lösen sollen. Allerdings gebe es viele ältere Maschinen, die bisher nicht kompatibel seien, und es sei fraglich, ob sich die Maschinenbauunternehmen an diese Standardisierung halten werden. (B11, Pos. 86)

Ein weiteres Problem seien die unterschiedlichen Maschinendaten. Es werden unterschiedliche Maschinenparameter erfasst und auch die Anzahl der Parameter variiere von Maschine zu Maschine. Dies sei eine Herausforderung für die weitere Verbreitung von Anwendungen mit künstlicher Intelligenz. Künstliche Intelligenz, die für einen Anwendungsfall und eine Maschine entwickelt wurde, könne in vielen Fällen nicht ohne Weiteres auf eine andere Maschine oder gar einen anderen Standort übertragen werden. Daten und Schnittstellen müssen oft aufwendig angepasst werden. Auch die Datenbeschaffung und -interpretation sei anspruchsvoll. (B11, Pos. 18, 46) Die Person formuliert dies wie folgt:

... es ist eher das Problem zum einen halt die Qualität der Daten, überhaupt Daten zu bekommen, also was sind wirklich Fehlerdaten und was sind Gutdaten, weil oftmals auch die Maschinenhersteller einfach so sind, das muss man sagen und oftmals solche Sachen einfach unter Verschluss halten. Das System funktioniert, aber hinterher die Daten anzuzapfen ist super anstrengend. (B11, Pos. 18)

Die Speicherung von Daten wird von vier interviewten Personen angesprochen (B3, B6, B7, B11). Eine Person beschreibt eine Herausforderung, die mit der sicheren Speicherung von Daten für sensible Anwendungen verbunden ist. Für die Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung mussten die Daten auf dem Server eines anderen Unternehmens gespeichert werden. Dies sei jedoch aufgrund der eigenen Unternehmensrichtlinien nicht möglich. Die Daten müssen auf den unternehmenseigenen

Plattformen gespeichert werden. (B3, Pos. 92) Eine andere Person beschreibt eine ähnliche Problematik in Bezug auf den Einsatz von künstlicher Intelligenz. In einer Industrie-4.0-Anwendung sei das Ziel verfolgt worden, die Daten in der Cloud zu speichern. Die Person beschreibt, dass die Daten für das Unternehmen oft sensibel sind und daher einer Sicherheitsstufe unterliegen. Seien die Daten nach einer bestimmten Sicherheitsstufe klassifiziert, dürfen sie nicht in der Cloud gespeichert werden. Derzeit werde noch daran gearbeitet, eine Gesamtstruktur für die sichere Speicherung von Daten zu schaffen. Aus der Sicht dieser Person sind viele Unternehmen zu konservativ. Eine Kultur des Ausprobierens und Experimentierens sei notwendig, um schneller voranzukommen. (B11, Pos. 18) Zwei der interviewten Personen sprechen auch das Thema personenbezogene Daten an (B6, B7). Allein die Installation einer Kamera in einer Produktionsanlage beispielsweise müsse oft umfassend begründet werden, obwohl eine Kontrolle der Mitarbeitenden in der Produktion ausgeschlossen oder nicht das Ziel sei. (B7, Pos. 52)

Zwischenfazit zu den Industrie-4.0-Projekten

Projekte zur Datenerfassung und Datenverwendung werden von den an der Untersuchung beteiligten Personen am häufigsten genannt. In allen vier Unternehmen äußern sich Personen zu Projekten mit Anwendungen in diesem Bereich. Die interviewten Personen berichten, wie einzelne Maschinen mit Sensoren ausgestattet werden, um Daten über den Produktionsprozess oder die in einem bestimmten Produkt verbauten Einzelteile zu sammeln. Einer der Hauptgründe für die Erhebung dieser Daten ist die Rückverfolgbarkeit im Falle eines möglichen Fehlers. Die Einführung von MES wird von mehreren interviewten Personen beschrieben. Ein Ziel dieser Systeme ist es, die Voraussetzungen für eine stärkere Vernetzung zwischen Maschinen und IT-Systemen zu schaffen. Die interviewten Personen berichten über die Erfassung von Daten zur Verfolgung der aktuellen Stückzahlentwicklung außerhalb der Produktion. Es wird auch von verschiedenen Anwendungen berichtet, die ein vorausschauendes Eingreifen des Menschen in den Produktionsprozess ermöglichen. Durch die Auswertung und Visualisierung von Daten aus einem MES-System sollen u. a. Wartungen vorausschauend geplant oder Zulieferbetriebe frühzeitig informiert werden, wenn sich die Qualität ihrer Teile verschlechtere. Die interviewten Personen beschreiben auch Erfahrungen aus Projekten, in denen sich einzelne Prozesse selbst regeln. Beispielsweise wurde von einem Projekt berichtet, in dem sich ein Montageprozess selbst regulieren könne. Mithilfe von Parametern aus einem Prüfsystem könne sich das System selbst nachregeln, sodass die Prozessqualität stabil bleibe. Außerdem wird über den Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Klassifizierung von Röntgenbildern im Bereich der Elektronikproduktion berichtet. Auch wenn z. B. nur daran gearbeitet wird, einzelne Systemelemente sich selbst regeln zu lassen oder Projekte wieder eingestellt wurden, lässt eine Einordnung dieser Sammlung von Erfahrungsberichten in die Entwicklungsstufen auf dem Weg zu Industrie 4.0 von Schuh et al. (2020) oder Becker et al. (2023a) m. E. den Schluss zu, dass sich die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bereits heute mit Projekten auf verschiedenen Ent-

wicklungsstufen auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 beschäftigen (Kapitel 2.2.1). Auch die digitale Modellierung und Simulation nimmt in der Praxis einen hohen Stellenwert ein. So berichten vier der elf interviewten Personen über die Erstellung von digitalen Modellen von Produkten, Prozessen oder Produktionsanlagen. Es liegen Erfahrungsberichte von mehreren erfolgreichen Projekten zur Simulation einzelner Anlagen vor. Es werden auch verschiedene Erfahrungen mit Anwendungen zur autonomen Materialversorgung berichtet. In den meisten Fällen agiert der Mensch noch als Auslöser für einen Transport, es gibt aber auch schon Erfahrungen mit autonom agierenden Systemen, bei denen der Auftrag z. B. von einem Lager in der Produktion ausgelöst werden könne. Über Montageassistenzsysteme berichten auch zwei der interviewten Personen. Es werden Assistenzsysteme eingesetzt, die mithilfe einer Kamera und Anweisungen auf einem Bildschirm die Mitarbeitenden in der Produktion bei der Montage unterstützen und Teilergebnisse oder das fertige Produkt durch eine visuelle Prüfung kontrollieren. Es wird auch über Erfahrungen mit dem Einsatz von Datenbrillen berichtet, um die Positionierung von Einzelteilen in komplexen Produkten wie einem Schaltschrank zu erleichtern. Erfahrungen zu Robotik in der Montage werden von zwei interviewten Personen beschrieben. Außerdem wird über die Zusammenarbeit von Menschen und Robotern berichtet. Was die technischen Herausforderungen betrifft, so steht der Umgang mit Daten im Vordergrund. So seien Daten teilweise überhaupt nicht oder nicht in der erforderlichen Qualität vorhanden. Auch eine sichere Speicherung und Verarbeitung sei für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nicht einfach umzusetzen.

4.3 Zukunftsperspektiven auf dem Weg zu Industrie 4.0

Die interviewten Personen wurden auch gefragt, welche Technologien und Anwendungen sie in ihrem Verantwortungsbereich gerne ausprobieren würden oder für die Zukunft als vielversprechend erachten. Außerdem wurden einige der interviewten Personen gebeten, einen Ausblick auf die nächsten Schritte in laufenden Projekten zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen zu geben. Diese Überlegungen werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Ähnlich wie bei den Erfahrungen mit Industrie-4.0-Projekten berichten die interviewten Personen auch in dieser zukunftsorientierten Perspektive am häufigsten von Anwendungen und Ideen im Bereich der Datenerfassung und Datenverwendung. Insgesamt vier der elf interviewten Personen erläutern eine Erweiterung der Datenerfassung und Datenverwendung (B3, B4, B8, B11). Eine Person beschreibt die Möglichkeit, alle Schraubfälle vernetzter Akkuschauber zu dokumentieren und die Ergebnisse auszuwerten. Dadurch könne ein Indikator für die Qualität geschaffen werden, aus dem sich Maßnahmen für die Gestaltung des Produktionssystems ableiten ließen. (B3, Pos.70) Eine andere Person beschreibt, dass sie mehr Produktionsdaten in der Cloud speichern möchte. Diese Daten sollten möglichst unbearbeitet sein, sodass eine umfangreiche Sammlung an Rohdaten aus der Produktion entstehe. Aus dieser umfangreichen Datenbasis könne mithilfe von Analysen

wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Die Person würde auch gerne mehr Ergebnisprotokolle von Maschinen und Anlagen sowie Rückmeldungen aus der Produktion erfassen und speichern. So könnten z. B. Taktzeiten und Bestände vollautomatisch erfasst und für Gestaltungsprojekte im Kontext des Lean Managements herangezogen werden. Heute werden diese Kennzahlen mit einer Wertstromanalyse ermittelt. Das bedeute viel Aufwand und sei nur eine Momentaufnahme. (B11, Pos. 86) Auch die Verbesserung des Informationsaustausches mit Zulieferbetrieben sei in Zukunft von großer Bedeutung. Unverarbeitete Daten über das Produkt und den Produktionsprozess könnten direkt vom Zulieferbetrieb auf einer Blockchain gespeichert werden. Wenn diese Daten erst einmal auf einer Blockchain gespeichert wurden, sei eine Veränderung nur noch schwer möglich. Beispielsweise könnte eine Maschine Daten über den Produktionsprozess direkt an eine Blockchain senden. Dies erhöhe die Transparenz in der gesamten Lieferkette und gebe Sicherheit in der Zusammenarbeit mit weniger vertrauten Zulieferbetrieben. (B11, Pos. 84–86) Eine andere Person berichtet, dass sie in ihrem Bereich gerade an einem Projekt mit einer Smartwatch arbeiten. Unter anderem sei es möglich, Stillstände von Maschinen auf der Smartwatch anzuzeigen. Die meisten Daten und Analysen seien heute schon im System vorhanden und müssen nur noch an die Smartwatch gesendet werden. (B8, Pos. 11) Die Person erläutert diese erweiterte Datennutzung auch im Zusammenhang mit Modellierung und Simulation. Sie beschreibt die Idee, einen digitalen Zwilling einer Spritzgießmaschine zu erstellen. Dieser digitale Zwilling solle umfassender sein als die bisherige Erfassung der Anlagenverfügbarkeit oder der Stückzahlen. Verschiedene Parameter wie Temperaturen, Körperschall oder Kräfte könnten kontinuierlich gemessen werden. Mithilfe dieser Daten könnten dann Aussagen über notwendige Instandhaltungsmaßnahmen getroffen werden.

Es gibt aber am Markt Spritzgießmaschinen, die so vernetzt sind, dass sie den kompletten Prozess, der gerade live in der Maschine drin läuft, digital als Zwilling abbilden können, wo ich tiefer reinschauen kann. Eine Maschine besteht nicht bloß aus OEE und Stückzahl und Output. Ich will wissen, wird da in der Maschine drin irgendwas warm. Ich hänge ein Thermometer in den Schaltschrank rein. Wird irgendeine Schützbaugruppe [elektromagnetischer Schalter] warm, geht mir die in zwei Wochen hops? Wie bekomme ich das transparent raus, dass ich sage: Hey, da wird was warm. Samstag Ende der letzten Schicht holen wir uns ein paar Schlosser hinzu, wechseln doch das Schütz mal, bevor es ausfällt. Sowas würde ich gerne mal sehen, was da möglich ist. Das würde uns in Richtung „Predictive Maintenance“ [Vorausschauende Instandhaltung], dass ich schaue, ich mache nicht nur gleichbleibende Wartungszyklen, weil ich es halt so mache, sondern dass die Maschine mir automatisiert vorgibt, welche Wartungszyklen notwendig sind und die vorher schon sagen: Hey, da läuft was weg, guck dir das mal an. Da wird ein Lager warm, da wird irgendeine Flachbaugruppe [elektronische Baugruppe] warm, da quietscht was, da geht irgendwas schwergängig, hat irgendwelche Kraftmessungen drin, dass ich sage: Hey, da braucht die Maschine mehr Kraft wie normal, irgendwas passt da nicht, passt die Schmierung nicht oder hat sich da irgendwas verzogen etc.? Körperschall, ich kann über Körperschall messen, wenn ein Werkzeug irgendwo klappert, wenn irgendein Auswerfer die Teile aus dem Werkzeug rausfallen lässt, wenn der schwergängig geht. (B8, Pos. 56)

Zwei der interviewten Personen würden auch gerne mehr künstliche Intelligenz für die Analyse bereits vorhandener Daten einsetzen (B4, B11). Überall dort, wo Bilder erzeugt und diese klassifiziert werden müssen, könnte in Zukunft künstliche Intelligenz eingesetzt werden. Ein Beispiel sei die Bilderkennung zur Inspektion von Produktionsprozessen im Bereich der Elektronikproduktion. Eine Herausforderung bei der heute üblichen Bilderkennung mit starren Systemen seien Pseudofehler. Diese Pseudofehler entstehen durch Bewegung und keine definierte Position der Objekte auf den Bildern. Mit dem Einsatz von künstlicher Intelligenz könne dieses Problem gelöst werden. (B11, Pos. 84) Eine andere Person beschreibt, dass die Prozessqualität heute meist nur mit einfachen Mitteln gemessen wird. Beispielsweise würden die Ausschusszahlen erfasst oder geprüft, ob bestimmte Messwerte innerhalb eines Toleranzbereichs lägen. Hier liege für die Zukunft noch viel Potenzial. Unter anderem sei es möglich, die produzierbare Stückzahl bis zur Verschleißgrenze der nächsten Systemkomponente durch Algorithmen vorhersagen zu lassen. (B4, Pos. 67)

Auch eine Anwendung von virtueller oder erweiterter Realität in Kombination mit Modellierung und Simulation wird von den interviewten Personen angesprochen. Eine Person möchte mithilfe dieser Technologien eine Produktionslinie virtuell planen. Unter anderem sei damit eine frühzeitige Demonstration der Produktionslinie bei verschiedenen Schnittstellenfunktionen möglich. Technologisch seien verschiedene Szenarien mit virtueller oder erweiterter Realität denkbar. Beispielsweise könnten die Produktionslinien auf einen Tisch projiziert oder auch Brillen eingesetzt werden. (B7, Pos 52)

Zwei der interviewten Personen würden gerne mehr Anwendungen aus dem Bereich der Robotik einsetzen (B2, B10). Eine Person könnte sich vorstellen, mehr mit kollaborativen oder kooperierenden Robotern zu arbeiten (B10, Pos.74). Die andere Person würde gerne einen Schraubroboter in der Variantenmontage einführen (B2, Pos. 106).

Drei der interviewten Personen geben an, dass sie in Zukunft gerne mehr FTS oder autonome Materialversorgungskonzepte einsetzen würden (B5, B9, B10). Eine interviewte Person beschreibt einen selbstfahrenden Routenzug für den innerbetrieblichen Materialtransport. Weiter erläutert sie die Entwicklung autonomer Materialpuffersysteme in der Produktion. Materialpuffersysteme direkt vor Ort in der Produktion stellen die kurzfristige Materialversorgung sicher. Diese Materialpuffersysteme sollen durch ein FTS automatisch aus einem größeren Lager befüllt werden. (B5, Pos. 62) Ähnlich beschreibt eine andere Person die Ausstattung von Materiallagerplätzen mit Sensoren, um bei Bedarf automatisch einen Transportauftrag an ein FTS zu übermitteln (B9, Pos. 72). Eine weitere Person möchte ein modulares und flexibles Fertigungskonzept erproben, das sich besser an wechselnde Prozesse und Stückzahlen anpassen ließe. Anstelle einer starren Fertigungslinie mit Fließbändern werde dabei auf verschiedene Montageinseln gesetzt, die flexibel mit fahrerlosen Transportsystemen verbunden seien. (B10, Pos. 74–76)

... sich immer wieder ändernden Prozessen, die typischen Herausforderungen, die man hat, skalierbare Anlagen, wenn sich die Stückzahlen ändern, wollen wir auch in Richtung

modulares, flexibles Fertigungskonzept gehen und auch mal solche Montageinseln mit solchen FTS ... verknüpfen. Also das ist was, was mich schon mal interessieren würde, eben nicht ein Bosch TS2 Band zur Verknüpfung der Zellen, sondern wirklich mal so ein flexibles System zu integrieren. (B10, Pos. 76)

Zwei der interviewten Personen thematisieren neuartige Fertigungsverfahren als interessante Anwendungen für die Zukunft (B6, B9). Ein wichtiges Thema sei der Einsatz von additiven Fertigungsverfahren mit metallischen Werkstoffen. Im Verantwortungsbereich dieser Person gebe es bereits heute Werkzeuge, die von Zulieferbetrieben mit derartigen Verfahren hergestellt wurden. Langfristig sei es sinnvoll, sich auch selbst damit zu beschäftigen. (B9, Pos. 67–70) Eine andere Person berichtet aus dem Bereich der Karosseriefertigung. Sie möchte eine technologische Innovation einer Druckgießmaschine ausprobieren. Herkömmliche Druckgießmaschinen produzieren Karosserien in Einzelteilen, die später zusammengefügt werden müssen. Die Person berichtet von einer Innovation, mit der eine Karosserie in einem Arbeitsgang hergestellt werden kann. (B6, Pos. 70–72)

Zwischenfazit zu der Perspektive Zukunft

Welche Technologien und Anwendungen einer Industrie 4.0 würden Sie gerne einmal ausprobieren? Die Antworten der Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf diese Frage erlauben m. E. einen vorsichtigen Blick in die Zukunft. Die häufigsten Überlegungen, Konzepte oder auch bereits konkret geplante Anwendungen mit Industrie-4.0-Technologien werden im Bereich der Datenerfassung und -nutzung beschrieben. Des Weiteren werden Anwendungen mit flexibler Robotik, autonomer Materialversorgung und virtueller oder erweiterter Realität in Kombination mit dem Modell einer Produktionslinie erläutert. Im Gegensatz zu den praktischen Erfahrungen der interviewten Personen mit Industrie-4.0-Anwendungen werden in dieser Zukunftsperspektive auch innovative Fertigungsverfahren wie additive Fertigung mit metallischen Werkstoffen oder der Einsatz von Blockchain als Mittel zur sicheren Datenspeicherung thematisiert. Interessant ist m. E. auch das von einer interviewten Person erläuterte Konzept der modularen und flexiblen Fertigung. Die Ausführungen der interviewten Person weisen m. E. Ähnlichkeiten mit der Matrix-Produktion von Greschke & Herrmann (2014) auf. Bei dieser Matrix-Produktion sind die Arbeitsplätze durch ein flexibles Transportsystem miteinander verbunden. Die Arbeitsplätze sind matrixförmig angeordnet. Das Produkt wird durch ein flexibles Transportsystem zwischen den Arbeitsplätzen transportiert. Jedes Produkt kann einen individuellen Durchlauf durch das Produktionssystem erhalten. Je nach Kapazitätsbedarf sind einzelne Arbeitsplätze mehrfach vorhanden. In der Matrix-Produktion gibt es keine Taktbindung. Die Zuordnung der einzelnen Produkte zu den Arbeitsplätzen und damit der Weg der Produkte durch das Produktionssystem wird durch eine Steuerungslogik bestimmt (Greschke & Herrmann, 2014).

4.4 Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene der digitalen Transformation in der Industrie

4.4.1 Arbeitspraxis, Herausforderungen und Veränderungen in der Arbeit

In diesem Kapitel werden die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aus der Perspektive der Betroffenen der digitalen Transformation in der Industrie betrachtet. Es werden die Aufgaben der interviewten Personen beschrieben. Weiter werden Hinweise aus der Untersuchung auf Veränderungen der Arbeit durch die Einführung von Anwendungen im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie dargestellt. Es werden auch Herausforderungen beschrieben, die mit der Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verbunden sind. Um einen Einblick in die Arbeitspraxis von Beschäftigten in Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu erhalten, wurden die Interviews auf Aussagen zu Arbeitsaufgaben und dem Tagesablauf der interviewten Personen untersucht. Diese Aufgaben beziehen sich nicht nur auf Projekte im Kontext von Industrie 4.0, sondern geben einen Einblick in ein breiteres Aufgabenspektrum der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung.

Der Arbeitsalltag in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wird als sehr abwechslungsreich beschrieben. Aussagen zum Tagesablauf oder zu einem typischen Arbeitsalltag sind z. B.: „Es ist unterschiedlich, weil es vielfältig ist. Also einen richtigen Tagesablauf gibt es eigentlich nicht, der sich täglich wiederholt.“ (B1, Pos.4) Auch die Aufgaben sind sehr abwechslungsreich, wie das folgende Zitat einer interviewten Person verdeutlicht: „Also ich bin da eigentlich in recht vielen unterschiedlichen Rollen momentan unterwegs.“ (B11, Pos. 10) Ein großer Teil der Beschäftigten kann den Arbeitstag selbstständig planen. Drei der interviewten Personen geben jedoch auch an, dass ihr Tagesablauf häufig von der Lösung kurzfristiger Herausforderungen in der Produktion bestimmt wird (B2, B3, B4).

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Arbeitsaufgaben in sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad beschrieben und mit verschiedenen betriebsspezifischen Begriffen umschrieben. Deswegen werden die Aufgaben generalisiert dargestellt und durch Zitate aus den Interviews ergänzt. Die in den Interviews angesprochenen Aufgaben wurden in acht verschiedene Aufgabenbereiche strukturiert (Abbildung 25).

Ein Kriterium bei der Auswahl der interviewten Personen war, dass sie bereits Erfahrung mit Industrie-4.0-Projekten haben. Dies wurde von den einzelnen Personen auch in einem Vorgespräch bestätigt. Es ist daher naheliegend, dass alle elf interviewten Personen auch Aufgaben im Umfeld der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen wahrnehmen.

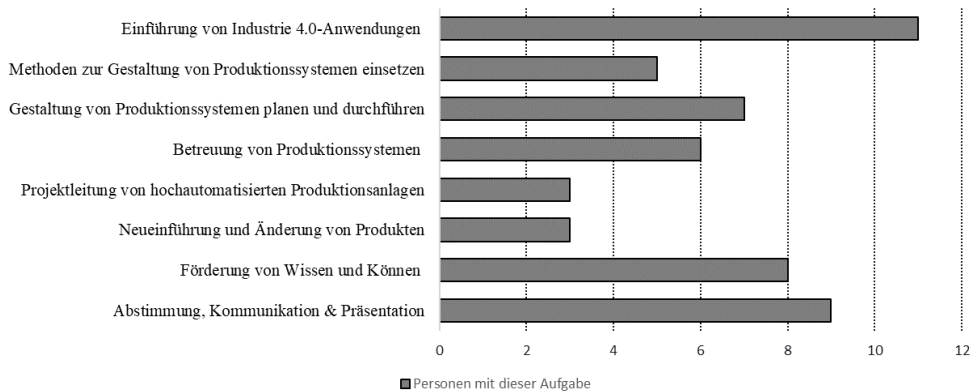


Abbildung 25: Arbeitsaufgaben der interviewten Personen (Quelle: Eigene Darstellung)

Fünf der elf interviewten Personen geben als Aufgabe die Anwendung von Methoden zur Gestaltung von Produktionssystemen an (B1, B2, B7, B10, B11). Es werden verschiedene Ansätze zur Analyse und Gestaltung von Produktionssystemen auf unterschiedlichen Systemebenen angesprochen. Auf hoher Systemebene werden Methoden zur Analyse und Gestaltung ganzer Wertströme und Materialflüsse innerhalb einer Fabrik thematisiert. Auf niedriger Systemebene werden Methoden zur Analyse und Gestaltung einzelner Arbeitsplätze beschrieben:

Cardboard Engineering heißt wirklich, dass wir Handarbeitsplätze von unseren Linien komplett aus Karton aufbauen. Also da liegt dann wirklich stapelweise Karton rum. Dann gibt es ein Baukastensystem mit verschiedenen Nieten usw., wo man wirklich relativ schnell sich einen Handarbeitsplatz nachbauen kann, um eben zu schauen, passen die Greifwege hinsichtlich Ergonomie, aber um z. B. auch mal eine Taktzeit simulieren zu können ... und dann wirklich nachgebaute Schrauber zum Setzen, Fügen von verschiedenen Bauteilen. (B10, Pos. 70)

Im Zusammenhang mit Methoden zur Gestaltung von Produktionssystemen werden Lean Management, Six Sigma¹⁷, MTM¹⁸ und REFA¹⁹ als Stichworte genannt. Eine Person beschreibt auch eine Tätigkeitsanalyse, bei der die Arbeitsabläufe durch Befragung der Mitarbeitenden in der Produktion analysiert werden (B8, Pos. 50).

Ein weiterer Schwerpunkt der Tätigkeit der interviewten Personen ist die Gestaltung von Produktionssystemen zu planen und durchzuführen. Insgesamt sprechen sieben der elf interviewten Personen von Aufgaben in diesem Bereich (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9). Sechs Personen beschäftigen sich mit der Planung von Produktionslayouts und der Gestaltung von Produktionsabläufen (B1, B2, B3, B6, B7, B9). Auch wird von

17 Six Sigma wird im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt als Methode zur Prozessverbesserung mit den Schwerpunkten Qualitätsmanagement und Statistik verstanden.

18 Unter dem Begriff „Methods-time Measurement (MTM)“ wird hier weniger die Organisation als vielmehr eine Methode zur systematischen Ermittlung und Messung von Arbeitszeiten verstanden.

19 Auch die Bezeichnung „Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.“ (REFA) steht im Zusammenhang mit dieser Arbeit und den Aussagen der interviewten Personen weniger für die Organisation als für die Methodensammlung zur Gestaltung von Produktionssystemen.

Planungstätigkeiten auf verschiedenen Ebenen des Produktionssystems berichtet. Das Spektrum reicht von konzeptionellen Überlegungen, um beispielsweise zu prüfen, ob eine Anlage in ein bestehendes Layout passt (B6, Pos. 4), bis hin zur Feinplanung und Gestaltung einzelner Arbeitsplätze (B1, Pos. 10). Innerhalb dieses Aufgabenfeldes wird über den Einsatz verschiedener Softwarelösungen zur Unterstützung berichtet. Dabei kommen sowohl reine Visualisierungsprogramme wie Microsoft Visio (B9, Pos. 8) als auch speziell für die Simulation von Produktionsabläufen entwickelte Software zum Einsatz (B2, Pos. 30; B7, Pos. 22). Die Auswahl und Beschaffung von Betriebsmitteln wird von drei Personen als Aufgabe angegeben (B1, B3, B9). Sie berichten z. B. von der Beschaffung von Arbeitstischen aus einem Katalog (B1, Pos. 26) oder der Konzeption eines Werkzeugwagens (B3, Pos. 40). Eine Person berichtet auch von Aufgaben zur Investitionsplanung (B9, Pos. 4). Mit der Planung der Materialversorgung beschäftigen sich vier der interviewten Personen (B1, B2, B3, B5). „Es müssen zum Teil Materiallager vor Ort eingerichtet werden. Es muss der Nachschub [des Materials] eingestellt werden, dass genügend Material dann da ist, um das [Produkt] zu bauen.“ (B2, Pos. 44)

Die Betreuung von Produktionssystemen wird von sechs Personen als eine ihrer Aufgaben genannt (B1, B3, B4, B5, B8, B9). Die interviewten Personen berichten von kurzfristig auftretenden Herausforderungen in der Produktion, die sie gemeinsam mit den Mitarbeitenden in der Produktion oder mit Schnittstellenpartnern lösen. „... aber dann halt auch so täglich anfallende Ereignisse, wenn es irgendwo ein Problem gibt, wenn was nicht funktioniert, wenn man irgendwelche Abstimmungen machen muss in der Fertigung“ (B9, Pos. 4). Die interviewten Personen geben an, sie sind auch erste Ansprechpersonen für die Mitarbeitenden in der Produktion, wenn etwa Störungen im Zusammenhang mit dem MES oder einem FTS auftreten:

Wenn der Roboter [das FTS] z. B. nach vier Minuten nicht lokalisiert ist, erhalte ich eine E-Mail. Bei einigen Fehlern kann ich eine E-Mail erhalten. Es muss also eine Person geben, die diese E-Mails empfängt und dann nachschaut, was zu tun ist oder was getan werden muss. (B5, Pos. 64)

Neben der Lösung kurzfristiger Herausforderungen gehöre die Verbesserung der technischen Anlagen zu den Aufgaben der interviewten Personen (B1, B4, B8, B9). Dazu gehöre das Aufspielen neuer Software (B4, Pos. 4), das Anpassen von Montageprogrammen (B1, Pos. 38) oder das Einleiten von Verbesserungen an Produktionsanlagen aufgrund abweichender Leistungskennzahlen (B8, Pos. 12). Eine Person beschreibt auch ihre Aufgaben zur Planung, Steuerung und Kontrolle von Verbesserungsmaßnahmen und Kostenabweichungen (B9, Pos. 4).

Drei der interviewten Personen berichten über ihre Aufgaben und die Projektleitung von hochautomatisierten Produktionsanlagen (B6, B7, B10). Insgesamt können diese Produktionsanlagen sehr unterschiedlich sein, wie eine Person wie folgt beschreibt:

Das kann von kleinen Handarbeitsplätzen gehen für Elektronikmontage – es kommt natürlich immer auf die Stückzahl drauf an – bis hin zu Lackieranlagen, Nutzentrenner für Leiterplatten, Testanlagen wie z. B. Run-in [Dauertest unter Veränderung der Temperatur],

funktionelle Tester bis hin zu einfacheren Montageanlagen mit ein paar Handarbeitsplätzen, bis hin zu komplexen voll automatisierten Elektromontageanlagen. Also sowohl Prüfeinrichtungen als auch Montageeinrichtungen von einer Anlage, die vielleicht mal 10 m² hat – für einen Einzelhandarbeitsplatz – bis hin zu 1.000 m². Also ein relativ breites Spektrum. (B10, Pos. 6)

Bei komplexeren Produktionsanlagen werde die Detailkonstruktion, Montage und Inbetriebnahme in der Regel von internen oder externen Beteiligten durchgeführt. Die Abstimmung und Koordination zwischen diesen Beteiligten und dem Produktionsbereich gehöre zu den Aufgaben der interviewten Personen. Die einzelnen Aufgaben in diesem Aufgabenbereich hängen von der Projektphase ab. In den ersten Phasen werde ein Grobkonzept erstellt. Die technischen Anforderungen müssen mit verschiedenen Schnittstellen analysiert und eine Anforderungsdefinition erstellt werden. Im weiteren Projektverlauf werden die technischen Details mit den Partnern und dem Produktionsbereich geklärt und der Aufbau der Gesamtanlage bei den Partnern begleitet. Transport, Inbetriebnahme und Abnahmen müssen organisiert und durchgeführt werden. Die Koordination der einzelnen Aufgaben und Beteiligten sowie die Abstimmung und Klärung technischer Details sei ein wesentlicher Aufgabenschwerpunkt. (B6, Pos. 4–10; B10, Pos. 4–24) „Dann heißt es einfache Lösungen zu finden und dann ist man zum Ende hin ganz viel Moderator als Projektleiter“ (B6, Pos. 6).

Drei der interviewten Personen beschäftigen sich mit der Einführung und Änderung von Produkten (B1, B2, B3). Ein Aufgabenschwerpunkt sei die Erstellung und Änderung von Stücklisten, Fertigungsunterlagen und Arbeitsplänen. Stücklisten werden aus vorhandenen Daten der Produktentwicklung übernommen und an die Anforderungen der Produktion angepasst. Dokumente und Programme als Arbeitsanweisungen für die Fertigung der Produkte werden erstellt oder geändert. (B1, Pos. 12; B2, Pos. 16–24; B3, Pos. 4–10) Außerdem berichten die interviewten Personen über die Erstellung von Arbeitsplänen und Zeitvorgaben (B2, Pos. 16). Als weitere Aufgabe wird die Mitarbeit bei der Produktentwicklung beschrieben (B2, B3).

Und zwar ist es so, dass man da halt dann mit der Entwicklung zusammen bei neuen Projekten, neue Geräte, neue Flachbaugruppen [elektronische Baugruppen] spricht man mit denen durch, wie die gefertigt werden sollen, und wird im Endeffekt dann die Stückliste über Teamcenter durch die Entwicklung aufgebaut und auch die Konstruktion natürlich. Und dann wird durch uns Fertigungsplaner halt mitgewirkt in der Produktentstehung und wird geschaut, dass das Produkt auch gefertigt werden kann. (B2, Pos. 6)

Aufgabe sei u. a. auch die Beratung des Entwicklungsteams zu Verbesserungen im Zusammenhang mit dem Herstellungsprozess der Produkte (B2, Pos. 6).

Acht der interviewten Personen geben Aufgaben an, die im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt unter Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können zusammengefasst werden (B1, B2, B4, B5, B7, B8, B9, B11). Eine Aufgabe sei u. a. die Dokumentation von Erfahrungen bei der Einführung neuer Technologien:

... Industrie-4.0-Projekte wie beispielsweise einem autonomen Roboter [FTS], der bei uns die Feinversorgung übernimmt. Wo man dann da ein bisschen mit reingehen kann, biss-

chen unterstützen. Ein bisschen lernen, wie funktioniert das Ganze. Da natürlich dann auch wieder, wenn es Fehler gibt, die Fehler aufnehmen. Mal schauen, wie kommt man da raus? Dokumentieren was hatten wir gemacht, dass man das nächste Mal wieder kann oder wieder weiß. (B4, Pos. 4)

Sie erstellen auch Dokumentationen zur Unterstützung der Mitarbeitenden in der Produktion. Die interviewten Personen führen mit den Mitarbeitenden in der Produktion Trainings zu neuen Technologien durch. Es wird von der Erstellung von Dokumentationen für die Trainings berichtet. Ein wesentlicher Aspekt sei dabei meist das Vorführen, Ausprobieren und Üben am realen Objekt. Eine Person begleitet die Mitarbeitenden in der Produktion bei der Produktion der ersten Serienprodukte (B2, Pos. 68). Aber nicht nur das Wissen und Können in der Produktion werden gefördert. Eine interviewte Person erwähnt auch ihre Mitarbeit bei der Entwicklung eines Trainingskonzeptes für andere Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur weiteren Verbreitung einer Software zur Materialflusssimulation (B7, Pos. 32). Eine weitere Person nennt als eine ihrer Aufgaben, andere Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit ihrem Wissen und Können zu unterstützen. Es sollen Wissen und bewährte Verfahren aus dem vorherigen Unternehmensbereich in das aktuelle Team übertragen werden. (B11, Pos. 8)

Neun der interviewten Personen berichten von Aufgaben im Bereich Abstimmung, Kommunikation und Präsentation (B1, B3, B4, B6, B7, B8, B9, B10, B11). In den Interviews wird immer wieder auf die Funktion der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als eine Art Bindeglied und erste Ansprechperson aus dem Produktionsumfeld für andere Abteilungen oder externe Stellen hingewiesen. Im Aufgabenbereich Abstimmung, Kommunikation und Präsentation steht die Abstimmung von Teilaufgaben und Terminen im Vordergrund. Aufgaben und Termine werden mit verschiedenen Beteiligten abgestimmt. Dabei sei auch darauf zu achten, dass die vereinbarten Termine eingehalten und die Aufgaben wie vereinbart erledigt werden:

... dann muss man auch regelmäßig hinfahren und sich das anschauen, weil es passiert schon mal, dass einer sagt, er macht das jetzt und er kommt voran und dann fährst du mal hin nach drei Monaten zu einer Abnahme und dann stellst du fest, der hat noch nicht mal Teile bestellt. (B6, Pos.6)

Es gehe aber auch darum, den eigenen Tag zu organisieren, die eigenen Aufgaben zu planen und den Fortschritt zu verfolgen:

Das heißt, ich reflektiere morgens, was ist vielleicht der nächste Schritt, den ich heute machen muss, welche To-dos habe ich, welche drei Key To-dos, die ich für den Tag arbeite, und ich sage mal, das passiert dann über den Tag über, dass ich meine Meetings wahrnehme, wie Jour fixe [regelmäßig wiederkehrender Termin], wie aber auch Absprachen, die man vielleicht hat für die jeweiligen Projekte, und dann halt die To-dos, die man noch selbst erledigen muss, um die jeweiligen Projekte voranzutreiben. (B11, Pos. 4)

Neben diesen organisatorischen Aufgaben müssen auch technische Abstimmungen mit verschiedenen Beteiligten durchgeführt werden. Unter anderem müssen technische Details zu neuen Anlagen, Einzelteilen oder Software mit internen und externen Stellen abgestimmt werden (u. a. B3, Pos. 10; B6, Pos. 4). Eine weitere Aufgabe der interviewten Personen sei es, Präsentationen vor Personen in Schlüsselpositionen durchzuführen. Es sei über den aktuellen Stand der Produktion oder eines Projektes zu berichten (B8, Pos. 4) oder Entscheidungsvorlagen vorzubereiten und zu präsentieren (B6, Pos. 16).

Im Anschluss an diese Beschreibung der Arbeitsaufgaben werden Hinweise auf Veränderungen der Aufgaben und Arbeitsanforderungen dargestellt. Außerdem werden Herausforderungen im Kontext der Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aufgezeigt. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung arbeiten mit Technologien und Anwendungen der verschiedenen Entwicklungsstufen von Industrie 4.0 (Kapitel 4.2). Es wurde auch über Industrie-4.0-Anwendungen und den Einsatz neuer Software berichtet, die Anhaltspunkte liefern, dass sich Aufgaben und Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verändern könnten. Ein Beispiel dafür sind mögliche Veränderungen der Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung durch den Einsatz von Modellierung und Simulation.

Simulation im Produktumfeld kennt man ja. Simulation in der Prozessentwicklung, wie z. B. eine Flusssimulation oder so, kennt man auch. Aber eine Simulation im Fertigungsumfeld ist eigentlich nicht üblich, sondern wenn ich z. B. neue Linien plane, dann plane ich sie mit Papier und Stift, dann plane ich sie mit Workshop und Zettel, dann plane ich sie mit Kartons und Kisten als Mock-up [maßstäbliches und teilweise funktionsfähiges Modell]. Wenn ich z. B. eine Materialflusssimulation einsetze, wie eine Plant Simulation, kann ich in einem frühen Planungsstand bei einer Neuplanung oder Umplanung von einer gesamten Linie oder einer Vormontagelinie relativ schnell verschiedene Alternativen prüfen, mein Layout verändern, verschiedene Zulieferer z. B. ... (B7, Pos. 22)

Damit verändern sich auch die Aufgaben und auch das dafür erforderliche Wissen und Können in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Bei Projekten zur Modellierung und Simulation gehe es teilweise auch um mehr als die digitale Abbildung einer Produktionsanlage. In einem der beschriebenen Projekte sollte mithilfe von Simulation und künstlicher Intelligenz eine Lösung für die Reihenfolgeplanung geschaffen werden. Die technologische Lösung scheiterte in diesem Fall an verschiedenen nicht deterministisch erfassbaren Parametern und wurde durch einen organisatorischen Ansatz nach dem Konzept des Lean Management gelöst. (B11, Pos. 12) In verschiedenen Projekten zu Industrie-4.0-Anwendungen wird im Zusammenhang mit der Datenerfassung und Datenverwendung auch davon berichtet, Taktzeiten und Stückzahlen zu erfassen oder einen Überblick über Pufferbestände in der Produktion zu erhalten. Eine Person führt die Veränderungen durch eine umfangreichere Datenerfassung weiter aus und erläutert, dass daraus wertvolle Kennzahlen für Aktivitäten im Kontext von Lean Management gewonnen werden könnten. Beispielsweise könnten Taktzeiten und Bestände vollautomatisch erfasst und ausgewertet werden. Heute

ermitteln sie diese Kennzahlen mit einer Wertstromanalyse. Eine klassische Wertstromanalyse stelle jedoch nur eine Momentaufnahme dar. (B11, Pos. 86) Insgesamt wird immer wieder über den Einsatz verschiedener neuer Software berichtet. Beispielsweise werde Software zur Fernwartung von Maschinen und Anlagen eingeführt (B4, Pos. 6). Eine Person berichtet auch über ein digitales Whiteboard und weitere Softwareanwendungen für die virtuelle Zusammenarbeit (B9, Pos. 80). Es wird über den Einsatz neuer Software im Zusammenhang mit der Erstellung von Leitungssätzen berichtet (B3, Pos. 30). Mögliche Änderungen bei der Erstellung der Montageunterlagen werden ebenfalls thematisiert. Anstelle auf Basis von Fotos aus der Produktion der ersten Geräte sollen die Montageunterlagen direkt aus den Konstruktionsdaten mittels Software erstellt werden (B2, Pos. 4).

Als Herausforderungen bei der Arbeit werden von sieben der interviewten Personen Aspekte genannt, die unter Zeitknappheit zusammengefasst werden können (B1, B2, B4, B5, B8, B10, B11). Eine interviewte Person beschreibt, dass die meisten Mitarbeitenden mit dem Tagesgeschäft voll ausgelastet sind und es schwierig ist, sich nebenbei mit der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen zu beschäftigen (B11, Pos. 42). Eine andere interviewte Person erklärt, dass sie sich leider viel zu wenig mit neuen Technologien wie Big-Data-Projekten beschäftigen kann. Das Thema Industrie 4.0 und die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine sei wichtig und sollte noch stärker in den Fokus gerückt werden. Dies scheitere aber immer wieder am Zeitmangel. (B4, Pos. 71) Die interviewten Personen berichten auch von anderen Beschäftigten, die zu wenig Zeit haben, um Projekte zu unterstützen. Vor allem fehle es an Fachkräften in verschiedenen IT-Bereichen. Eine interviewte Person berichtet beispielsweise, dass es Herausforderungen bei der Einführung eines Systems gab, da auf ein Software-Update gewartet werden musste (B5, Pos. 50). Eine andere Person beschreibt allgemein, dass die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen schneller gehen könnte, aber zu wenig Personal im Umfeld der IT vorhanden ist. Sie weist darauf hin, dass die Auslastung der Mitarbeitenden, die sich mit dem elektrischen Anschluss der Produktionsanlagen und der Softwareentwicklung beschäftigen, zu hoch ist. (B8, Pos. 28) Eine weitere Person schildert, dass die Auftragslage derzeit sehr hoch ist und es grundsätzlich in allen Teilbereichen an Personal fehlt. Insbesondere für Industrie-4.0-Projekte sei zu wenig Personal im Bereich der Informationstechnologie vorhanden: „Jetzt gerade von der Transformation von unseren verschiedenen MES-Systemen hin zu dem vereinheitlichten MES haben wir sehr stark mit der Umsetzung zu kämpfen, weil uns intern auch sehr stark die Kapazität von Experten in der IT fehlt.“ (B10, Pos. 62) Unter anderem gebe es nur eine Person, die im Bereich der Softwareentwicklung für speicherprogrammierbare Steuerungen tätig sei. Diese Person müsse oft an vielen verschiedenen Projekten und Problemen gleichzeitig arbeiten. Dies stelle eine große Herausforderung dar. (B10, Pos. 62)

Zwischenfazit zu Aufgaben und Arbeitspraxis aus der Perspektive der Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene der digitalen Transformation der Industrie

Die in den theoretischen Grundlagen dargestellte hohe Aufgabenvielfalt spiegelt sich auch in der Arbeitspraxis der interviewten Beschäftigten wider. Neben den Aufgaben zur Gestaltung des Produktionssystems übernehmen die interviewten Personen in der Regel weitere Aufgaben. Die Zusammensetzung der Aufgaben scheint für die einzelnen Beschäftigten sehr unterschiedlich zu sein. Ein Teil der Beschäftigten konzentriert sich auf einzelne Aufgaben, während andere Beschäftigte verschiedene Aufgaben auf einem übergeordneten Abstraktionsniveau erledigen. Die Beschäftigten arbeiten häufig sehr eigenständig und planen ihren Arbeitstag selbst. Die in den Interviews genannten Aufgaben decken sich weitgehend mit dem aus der Theorie ermittelten Aufgabenspektrum zur Gestaltung des Produktionssystems (Kapitel 2.1.1). Zwar werden die Aufgaben in der Literatur teilweise mit anderen Begriffen oder auf einem anderen Abstraktionsniveau beschrieben, inhaltlich scheint jedoch eine hohe Übereinstimmung zu bestehen. Auch die Aufgabenbeschreibungen in der Klassifikation der Berufe 2010 zeigen eine weitgehende inhaltliche Deckung mit den von den interviewten Personen angeführten Aufgaben. Dies gilt für alle drei Anforderungsniveaus in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 362 f.) Dies gilt ebenso für die Tätigkeitsprofile einzelner Berufe in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel 2.1.2, Tabelle 4). Ähnliche Aufgaben werden auch in vorhandenen empirischen Untersuchungen beschrieben (Kapitel 2.1.3). Insbesondere der von Baumhauer (2018) beschriebene Serienplaner aus der Automobilindustrie zeigt eine hohe Übereinstimmung der Arbeitsaufgaben auf einer höheren Abstraktionsebene. Neben den in der Literatur und in den bisherigen empirischen Untersuchungen angeführten Aufgaben zur Gestaltung von Technik und Arbeitsorganisation des Produktionssystems berichten die Beschäftigten jedoch von weiteren Aufgaben.

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung tragen zur Förderung des Wissens und Könnens in den Unternehmen bei. Die Beschäftigten stellen die Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion bei der Einführung neuer Maschinen und Anlagen sicher oder übernehmen die Qualifizierung selbst. Sie dokumentieren ihr Wissen und ihre Erfahrung, um sie für andere Beschäftigte verfügbar zu machen. Die Beschäftigten unterweisen die Mitarbeitenden in der Produktion in komplexen Tätigkeiten, z. B. in der Montage eines neuen Produktes. Sie konzipieren und führen Trainings für andere Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung oder Mitarbeitende in der Produktion durch.

Auch Aufgaben der Abstimmung, Kommunikation und Präsentation haben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung einen wesentlichen Umfang. Für die Gestaltung und den Betrieb eines Produktionssystems sind verschiedene Beteiligte notwendig. Die Schnittstelle zwischen diesen Beteiligten und der Produktion bilden die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Um diese Funktion zu erfüllen, müssen Aufgaben der Abstimmung, der Kommunikation

und der Präsentation durchgeführt werden. Beispielsweise haben Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung eine Idee für eine Industrie-4.0-Anwendung, initiieren ein Projekt und koordinieren gemeinsam mit Fachleuten aus Produktion, Informationstechnologie, Arbeitssicherheit und Betriebsrat die Umsetzung der Idee in die Realität. Es ist nicht immer die technische oder organisatorische Lösung die zentrale Herausforderung, sondern es geht darum, unterschiedliche und zum Teil konkurrierende Ziele der Beteiligten zu berücksichtigen und eine gemeinsame Lösung zu finden. Eine der interviewten Personen sieht sich aus diesen Gründen auch in der Rolle des Moderators zwischen Beteiligten mit unterschiedlichen Ansichten. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung befassen sich mit der Terminplanung und -kontrolle (nicht im Sinne der Produktionssteuerung, sondern im Rahmen der Prozess- und Produktgestaltung) sowie mit der Erstellung und Präsentation von bspw. Statusberichten oder Entscheidungsvorlagen.

Bemerkenswert ist auch, dass arbeitsorganisatorische Gestaltungsmaßnahmen nur am Rande erwähnt werden. In der Theorie sind jedoch verschiedene Aufgaben mit diesem Fokus vorhanden:

- „Arbeitsabläufe darstellen, analysieren, unter Einsatz ergonomischer Erkenntnisse gestalten“; „neue Formen der Arbeitsorganisation, z. B. Gruppenarbeit, flexible Arbeitszeiten, planen und einführen“ (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 362)
- „Gestaltung der Produktionsorganisation“ (Buscher, 2018, S. 23 f.)
- „Arbeitsplätze, Arbeitssysteme und Arbeitsabläufe gestalten“ (AiKomPass)

Die Arbeitsorganisation wird m. E. durch viele Aufgaben beeinflusst, z. B. bei der Layout- und Produktionsablaufplanung, bei der Erstellung von Arbeitsplänen oder bei der Erstellung von Arbeitsanweisungen. In den Interviews wird jedoch vergleichsweise wenig von Aufgaben berichtet, deren eigentliches Ziel die Gestaltung der Arbeitsorganisation ist. Eine hohe Übereinstimmung der hier thematisierten Aufgaben beschreibt auch Baumhauer (2018) unter dem Begriff des Serienplaners. Die Gestaltung der Arbeitsorganisation spielt auch in dem von ihr untersuchten Bereich eine eher untergeordnete Rolle.

Mehr als die Hälfte der interviewten Personen nennen Herausforderungen, die sich mit Zeitdruck und fehlendem Fachpersonal zusammenfassen lassen. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben oft viele andere Aufgaben und zu wenig Zeit für die Umsetzung von Industrie-4.0-Projekten. Häufig wird auch von fehlendem Fachpersonal im Bereich der Informationstechnik berichtet. Eine Verschiebung von Aufgaben aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung in die operativen Bereiche, wie Hirsch-Kreinsen (2015) erwägt, konnte in dieser Untersuchung nicht festgestellt werden. Es gibt jedoch Hinweise auf Veränderungen bei den Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung:

- Der Trend geht in Richtung einer stärkeren Technisierung der Planungsprozesse durch den Einsatz von Software. Beispielsweise wird die Planung der Arbeitsab-

läufe und die Layoutplanung durch Modellierungs- und Simulationssoftware unterstützt.

- Das System erfasst automatisch Daten aus der Produktion, die früher durch persönliche Anwesenheit in der Produktion und durch eigene Wahrnehmung gesammelt wurden.

4.4.2 Wissen und Können

In diesem Kapitel werden die Aussagen der Forschungsteilnehmenden zum Wissen und Können der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dargestellt. Damit sollen Hinweise zur Beantwortung der folgenden Fragen gewonnen werden:

- Was müssen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung wissen und können, um die digitale Transformation der Industrie aktiv mitzugestalten?
- Wie erwerben Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dieses Wissen und Können?

Mehr als die Hälfte der interviewten Personen antwortet auf die Frage „Wie lernen Sie den Umgang mit Industrie-4.0-Technologien?“ oder „Was ist aus Ihrer Sicht wichtig beim Umgang mit Industrie-4.0-Technologien?“, dass ihnen der Umgang mit Technik Freude bereitet oder die Begeisterung für technologische Innovationen wichtig ist (B1, B4, B5, B7, B9, B10). Eine der interviewten Personen führt dies wie folgt aus:

Man muss, also was man mitbringen muss, ist Freude an der Technik. Und sobald man das hat, also ich sehe es bei mir. Ich habe einfach Lust, mich mit dem mit dem Zeug auseinanderzusetzen. Und Ja, das ist eigentlich schon die halbe Miete. (B4, Pos. 73)

Eine andere interviewte Person beschreibt, dass Mitarbeitende, die auch privat mit neuen Technologien experimentieren und sich beispielsweise zu Hause eine eigene Blumenbewässerungsanlage programmieren, oft genau die richtigen Personen für Industrie-4.0-Projekte sind. Wer Spaß am Umgang mit neuen Technologien habe, könne sich auch beruflich leicht in ähnliche Aufgaben einarbeiten. (B7, Pos. 34) Eine andere Person erklärt ihre Motivation damit, dass sie durch ihre Arbeit einen positiven gesellschaftlichen Wandel mitgestalten kann:

Es ist natürlich schon ein großer Erfolg, wo ich von Anfang an beim Projekt dabei war, so eine Anlage im Endeffekt in einem Excel-Tool aufgezeichnet habe, wenn man die eineinhalb Jahre später dann das erste Mal laufen sieht und hinten die fertigen Leistungselektroniken rauskommen, wo man weiß: Diese Leistungselektroniken sind im Endeffekt das Gehirn von einem Fahrzeug. Die gehen jetzt in Autos und im Endeffekt befähigen wir damit ja auch gewissermaßen den Wandel zur Elektromobilität. Das ist natürlich dann schon ein schönes Erfolgserlebnis, wenn man die Anlage das erste Mal laufen sieht und die Prozesse wirklich auch das tun, was sie sollen. (B10, Pos. 66)

Neben dieser Freude am Umgang mit neuen Technologien wurden in den Interviews auch Details zum erforderlichen Wissen und Können thematisiert.

Eine wichtige Basis bildet ein breites technisches Verständnis und Grundwissen. Neun der elf interviewten Personen nennen dies als wichtigen Aspekt ihres Wissens und Könnens. (B1, B2, B3, B4, B5, B8, B9, B10, B11) Eine Person beschreibt dies wie folgt:

Ich würde jetzt sagen, als Fertigungsplaner ist man so ein bisschen generell auch, also als Generalist dann aufgestellt, dass man ein bisschen was von der Prozesstechnik versteht, ein bisschen was von Sondermaschinen, aber nicht der Spezialist ist wie jetzt halt dann die Fachabteilungen. (B9, Pos. 84)

Eine andere Person beschreibt dies ähnlich und erklärt, dass aus ihrer Sicht vorwiegend Überblickswissen und methodisches Vorgehen wichtig sind. Für spezielle Aufgaben könne auf Fachleute zurückgegriffen werden. Für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sei es notwendig, Zusammenhänge zu überblicken und zur Problemlösung beizutragen. (B2, Pos. 90–92) Drei der interviewten Personen erläutern, dass diese Grundlagen u. a. durch Weiterbildung zum/zur Meister/in oder zum/zur Techniker/in oder auch durch ein Studium im Bereich Maschinenbau oder Wirtschaftsingenieurwesen geschaffen werden können (B3, B4, B10). Vier der interviewten Personen erwähnen auch die Relevanz von Grundkenntnissen im Bereich der Informationstechnologie (B1, B5, B8, B10).

Vier der interviewten Personen geben an, dass es wichtig ist, die Einsatzpotenziale und praktischen Anwendungen von Industrie 4.0 zu kennen (B2, B8, B9, B10). Eine Person berichtet, dass ein Leichtbauroboter in der Montage eingesetzt werden sollte. Es sei jedoch keine geeignete Anwendungsmöglichkeit gefunden worden. Sie erachtet eine Checkliste zur Identifikation möglicher Industrie-4.0-Anwendungsfälle in der Produktion für hilfreich. Weiterhin seien regelmäßige Schulungen oder eine Sammlung von bewährten Praxisbeispielen sinnvoll. (B2, Pos. 78–88) Nach Ansicht einer anderen Person ist es hilfreich, viele praktische Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen zu kennen. Denkbar sei eine Videoplattform, auf der verschiedene Anwendungsbeispiele angesehen werden könnten. Dadurch könnten weitere Anregungen und Ideen für den Einsatz gefunden werden. Bestehende Konzepte könnten genutzt und an die Anforderungen der eigenen Produktion angepasst werden. (B9, Pos. 93–100) Eine dritte Person führt aus, dass die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, um Industrie 4.0 mitgestalten zu können, zunächst einmal Wissen über Industrie 4.0 haben müssen. Es reiche nicht aus, die Schlagworte zu kennen, sondern man müsse sich mit den Technologien und Konzepten, die sich hinter dem Begriff verbergen, auseinandersetzen. Dabei könne auch der Besuch eines Industrie-4.0-Kompetenzzentrums hilfreich sein. (B8, Pos. 70) In einem Interview wird die Frage aufgeworfen, welches Wissen und Können neue Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung idealerweise mitbringen sollten. Wünschenswert seien vertieftes Wissen im Bereich Technologiemanagement und Industrie 4.0. Ebenso sei es von Vorteil, wenn die neuen Beschäftigten bereits Erfahrungen mit The-

men wie Roboterprogrammierung, SPS-Programmierung, fahrerlosen Transportsystemen oder MES gesammelt haben. (B10, Pos. 88)

Im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie wird in bisherigen Untersuchungen häufig auf Fähigkeiten im Umfeld der Softwareentwicklung verwiesen (u. a. Bughin et al., 2018, S. 6; Klier et al., 2021, S. 18). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage: Müssen auch Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung programmieren können? Fähigkeiten zur Softwareentwicklung werden in sieben der elf Interviews angesprochen (B1, B2, B3, B5, B7, B10, B11). Eine der interviewten Personen weist darauf hin, dass sie die Grundlagen bereits im Rahmen ihrer Berufsausbildung erlernt hat:

Und nachdem wir auch Assembler [Programmiersprache] und alles programmiert haben, weiß ich ja bis zum kleinsten Bit runter, was notwendig ist. Könnte einzelne Bits theoretisch auch mit programmieren und da verstehst du besser diese neuen Technologien, weil es immer auf das Gleiche aufgebaut ist ... (B3, Pos. 100)

Vier der interviewten Personen geben an, dass sie bereits selbst Software entwickelt oder eine Weiterbildung im Bereich der Softwareentwicklung absolviert haben (B3, B4, B7, B11). Inwieweit Wissen und Können für die Entwicklung von Software im Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung erforderlich sind, wird von den interviewten Personen unterschiedlich bewertet. Ein Teil der interviewten Personen sieht diese Fähigkeiten eher bei Fachleuten, die bei Bedarf hinzugezogen werden können. Andere interviewte Personen geben an, dass es nicht unbedingt notwendig ist, eine Programmiersprache zu beherrschen. Es sei aber hilfreich, die Grundlagen zu verstehen. Die im obigen Beispiel zitierte Person führt dies wie folgt aus:

Ähm, bis ins Kleinste musst du es nicht wissen. Du musst auch die Programmiersprache nicht verstanden haben oder nicht können, [nicht] perfekt. Aber wenn du weißt, um was es geht, ist es immer vorteilhaft ... (B3, Pos. 102).

Eine Person beschreibt, dass die schnellen Veränderungen im Bereich der Softwareentwicklung einerseits Herausforderungen, andererseits aber auch Chancen mit sich bringen können. Aufgrund der schnellen Entwicklung sei es im Bereich der Softwareentwicklung auch schwierig, immer auf dem neuesten Stand zu bleiben. Sie selbst habe seit einem Jahr nicht mehr damit gearbeitet und kenne daher die heute relevanten Funktionen und Programme gar nicht mehr. Insgesamt sei das aber nicht weiter problematisch, da das Entwickeln von Software immer einfacher werde. (B11, Pos. 28)

Da musst du nicht mehr programmieren, sondern das sind so „Low Code Platforms“ und das ist natürlich dann schon faszinierend und das ist natürlich cool, wenn der Trend dahin geht, weil immer mehr Leute dieses „Knowledge“ [haben] oder die Sachen nutzen können, ohne dass die wirklich programmieren können. Das ist natürlich immer so dieser große Skill, dass du was programmieren kannst. Das ist halt schwierig, aber wenn du halt nur noch so per „Drag-and-drop“ irgendwas zusammenschieben musst und verbinden musst, wird es irgendwann einfacher. (B11, Pos. 28)

Die interviewte Person beschreibt, wie neue Softwarelösungen die Aufgaben der Softwareentwicklung in Zukunft vereinfachen könnten. Die Programmerstellung erfolge dabei auf Basis visueller Werkzeuge. Vorkonfigurierte Elemente sollen dabei durch Auswählen und Verschieben zu komplexen Anwendungen kombiniert werden können. Dies solle die Möglichkeiten der Softwareentwicklung auch für Personen ohne oder mit geringen Programmierfähigkeiten weiter öffnen.

Die Notwendigkeit und Fähigkeit, ein breites technisches Basiswissen mit fachübergreifenden Fähigkeiten zu verbinden, wird in verschiedenen Interviews angesprochen. Eine Person ist der Ansicht, dass fundierte Fachkenntnisse zwar gut, aber nicht entscheidend sind; wichtiger ist es, die richtigen Kontakte zu haben:

Der große Überblick genau. Aber nicht ins Detail, bis in das letzte Bit muss man es nicht wissen. Es ist natürlich immer von Vorteil, wenn man solche tiefen Einblicke hat und vielleicht ein bisschen auch affiner dafür ist. Aber das ist jetzt kein, das ist nicht die Pflicht, weil dafür hat man ja die IT im Hintergrund. Und wenn man, solange man seine Ansprechpartner weiß, dann hat man kurze Wege eigentlich, dass man da auf ein Ziel kommt oder auf eine Lösung kommt. (B1, Pos. 20)

Eine zweite Person beschreibt ebenfalls die Verknüpfung von technologischem Wissen mit überfachlichen Fähigkeiten. Sie veranschaulicht dies am Beispiel der Zusammenarbeit zwischen Fachleuten für künstliche Intelligenz und Fachleuten für Produktionstechnologie:

Also entweder, was ich mir vorstellen könnte, wenn man davon spricht, was heute der Wirtschaftsingenieur ist, kann vielleicht der „Künstliche-Intelligenz-Ingenieur“ sein, wo du immer noch deinen KI-Experten [Fachperson für künstliche Intelligenz] hast, weil so ein Wirtschaftsingenieur ist auch so ein halbgegarntes Ding, wo du halt den KI-Spezialisten hast, jemanden, der beides kann, und jemanden, der tief in der Technik drin ist, und dass du so eine Art „Translator“ hast, der dir einfach da hilft zu sagen Leute, das willst du, das willst du und ich sehe, zusammen gesehen macht das gerade keinen Sinn aus dem und dem Grund. (B11, Pos. 32)

Dieses Zitat zeigt nicht nur die erforderliche Verständigung zwischen verschiedenen Fachleuten, sondern auch die Anforderung, technologisches Wissen mit fachübergreifenden Fähigkeiten zu kombinieren. Es sei nicht nur wichtig, die technischen Aspekte beider Seiten zu verstehen, sondern auch die Fähigkeit, angemessen zu kommunizieren und eine gemeinsame Lösung herbeizuführen.

Vier der elf Forschungsteilnehmenden geben an, dass gute organisatorische Fähigkeiten und Methodenwissen erforderlich für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind (B1, B2, B4, B9). Eine interviewte Person beschreibt dies wie folgt:

... und dann halt die Fertigung, also Fertigungssteuerer, der die Aufträge vorgibt und aussteuert und auch die Fertigung leitet und auch die Mitarbeiter und da alle Fragen klären, die wieder zusammenholen und das alles organisieren. Also als Planer ist es ganz gut, wenn man Organisationstalent hat. (B1, Pos. 25)

Einzelne Aufgaben müssen koordiniert und die Interessen von verschiedenen Personen zusammengeführt werden. Vor allem bei größeren Projekten seien Wissen und Können im Projektmanagement wichtig. Einzelne Aufgaben müssen in einen größeren Zusammenhang gestellt und mit verschiedenen Schnittstellenpartnern geplant werden. Dazu können Methoden und Vorgehensweisen aus dem Projektmanagement genutzt werden. (B4, Pos. 18) Darüber hinaus sei es wichtig, systematisch vorzugehen und Informationen strukturiert mit dem Team zu teilen (B9, Pos. 18). Nach Ansicht der interviewten Personen ist aber nicht nur die fachliche Ebene wichtig, sondern auch die Fähigkeit, mit Menschen umzugehen und gemeinsam Probleme zu lösen. Eine Person hält es für wichtig, alle Projektbeteiligten auch „menschlich mitzunehmen“. Alle müssen ein gemeinsames Ziel verfolgen (B4, Pos. 18). Wichtig sei der Umgang mit unterschiedlichen Persönlichkeiten und Zielkonflikten: „Wenn das [System] dann da ist, dann muss man schauen, dass man die Produktion und den Lieferanten und den Einkauf alle irgendwie zusammenbringt, dass die arbeiten und sich nicht zerpfücken“ (B6, Pos. 6). Von zwei Personen wird in diesem Zusammenhang auch die Fähigkeit zur Moderation genannt (B6, Pos. 10; B9, Pos. 38).

Von vier der elf Forschungsteilnehmenden wird außerdem erwähnt, dass es wichtig ist, Wissen und Erfahrungen über die Produktion und die Arbeit in der Produktion zu besitzen (B1, B3, B8, B9). Eine Person beschreibt, dass sie selbst mehrere Jahre in der Produktion gearbeitet und dort wertvolle Erfahrungen gesammelt hat. Nur durch die eigene Erfahrung sei es möglich, sich eine genaue Vorstellung von den tatsächlichen Abläufen zu machen und bei Entscheidungen bewusst mitwirken zu können. Es sei wichtig, zu verstehen, wie die Bewegungen und Handgriffe in der Produktion im Einzelnen ausgeführt werden. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung müssen auch das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion kennen. Nur durch die eigenen Erfahrungen aus der Arbeit in der Produktion könne auch die Position der Mitarbeitenden verstanden werden:

Wichtig ist, dass man selbst auch schon mal so etwas gebaut hat. Dass man überhaupt schon einmal schon mal dran war. Also das, was ich immer sage für dieses Vorantreiben [von Projekten] ist es perfekt, dass man eigentlich diesen Weg aus der Fertigung rausmacht, dass man erst mal vielleicht ein paar Jahre selbst das gebaut hat, dass man mal so Probleme und und und, ja, dass man das überhaupt mal kennenlernt und merkt, was könnte da Sache sein. (B3, Pos. 98)

Eine andere Person erklärt, dass Prozessverständnis und Wissen über die Funktionsweise der Produktionsanlagen für die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen relevant sind. Ebenso seien auch Produktkenntnisse wichtig. Bei der Einführung neuer Technologien sei dieses Wissen u. a. bei der Diskussion von Lösungen mit Schnittstellenfunktionen wichtig. (B9, Pos. 26) Eine interviewte Person geht noch einen Schritt weiter. Es gehe darum, eine Vorstellung davon zu entwickeln, wie die Produktion der Zukunft aussehen könne und wie Industrie-4.0-Anwendungen eingesetzt werden könnten. „... Wo will ich als Fertigungsplaner eigentlich hin, was hilft mir unbedingt weiter“ (B8, Pos. 70)? Dies ist aus Sicht dieser Person ein notwendiger Aspekt. Nur

wenn zuerst eine Vorstellung von der Zukunft vorhanden sei, könne Technologie optimal eingesetzt und damit eine Verbesserung erreicht werden:

Die Maschine spuckt genauso viele Teile aus wie vorher auch. Wenn ich es aber so weit bringe, dass ich sage: Hey, mir war das vorher noch gar nicht bewusst, dass diese Maschine nur mit 70 Prozent OEE läuft und ich komme dann drauf: Hey, die läuft mit 70 Prozent, warum eigentlich nicht mit 80 Prozent, wie es vielleicht im Arbeitsplan sogar steht, und sich dann ein Prozesstechnologe hinstellt und sagt: Oh ... da müssen wir was machen und der, keine Ahnung, verbessert durch einen technischen Kniff die Zykluszeit um ein paar Prozent, steigert dadurch den OEE, erst dann hat es mir was gebracht. Nur das Zeug anschließen, ausleiten und nichts damit machen, bringt nichts. Ich muss den Zielzustand kennen. (B8, Pos. 38)

Die Forschungsteilnehmenden heben auch die Fähigkeit zur Problemlösung hervor. Eine Person erläutert, dass Technologie nur ein Werkzeug ist. Wichtiger sei die Fähigkeit zur Lösung von Problemen. (B7, Pos. 32) Eine andere Person beschreibt, dass es bei Herausforderungen in Projekten wichtig ist, wie man mit diesen Problemen umgeht. Man müsse in der Lage sein, die Tragweite des Problems einzuschätzen und eine Lösungsstrategie zu entwickeln. (B9, Pos. 36–38)

Von den interviewten Personen wird auch die Fähigkeit zu einer selbstständigen Arbeitsweise angesprochen. Eine der Personen beschreibt die Notwendigkeit von unternehmerischen Fähigkeiten, die ein selbstständiges Vorantreiben von Aufgaben und Projekten ermöglichen.

Im Endeffekt ist man als Projektleiter wie ein Unternehmer einfach. Natürlich ist man angestellt, man hat weniger Risiko, aber man muss irgendwo in gewisser Weise selbstständig die Sachen voranbringen. (B6, Pos. 10)

Ferner müssen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in der Lage sein, die vorhandenen Risiken im Zusammenhang mit neuen Technologien abzuschätzen und bewerten zu können (B6, Pos. 42). Eine andere Person betont, dass es notwendig ist, sich selbstständig Ziele zu setzen und diese zu verfolgen. Dass diese eigenverantwortliche Arbeitsweise bei einer weiteren Zunahme von digitaler und mobiler Arbeit immer wichtiger werde, beschreibt sie wie folgt:

Da kommt gerade viel rein, wo so altbekannte Rahmen oder Leitplanken, in denen man sich bewegt hat, mittlerweile wegfallen und das wird alles mehr so eine Wolke, in der man arbeitet, in der man sich bewegen kann, wo es auch dann mittlerweile mehr heißt, man kann da seinen eigenen Weg finden und machen, aber so ein bisschen die Eckpfeiler manchmal ein bisschen fehlen. Worauf will ich jetzt genau hinaus? Also das hat sich so vom Arbeiten her irgendwie jetzt schnell verändert und ich glaube, dass da die Produktivität für jeden Einzelnen nicht unbedingt besser geworden ist, weil man vielleicht gar nicht genau weiß, bewege ich mich jetzt gerade noch richtig oder mache ich das jetzt gerade richtig oder bin ich jetzt da auf dem Holzweg. (B9, Pos. 88)

Nicht nur die Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, sondern auch die Arbeitsweisen und das dafür notwendige Wissen und

Können verändern sich. Dies stellt auch die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung vor die Herausforderung, sich auf die neue Situation einzustellen. Die Ausführungen der interviewten Person deuten an, dass eine eigenverantwortliche Arbeitsweise für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wichtiger wird.

Welche Vorgehensweisen wenden Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung an, um den Umgang mit Industrie-4.0-Technologien zu erlernen?

Eine interviewte Person erklärt, dass sie bei neuen Technologien immer versucht, ein Seminar oder zumindest eine Einführung in das System zu bekommen. Die Herausforderung bestehe darin, geeignete Seminare zu finden. Zudem sei es schwierig, im Vorfeld abzuschätzen, zu welchem Thema aktuell Qualifizierungsbedarf bestehe, da im Voraus meist nicht klar sei, wie das nächste Projekt im Einzelnen inhaltlich aussehe. (B3, Pos. 78) Angeboten werde die Qualifizierung an einer Industrie-4.0-Anwendung von den Herstellern oder Integratoren der Systeme. So gibt eine interviewte Person an, eine Schulung für einen kamerabasierten Montageassistenten erhalten zu haben. Dabei handelte es sich jedoch weniger um ein klassisches Seminar, sondern vielmehr wurde eine sehr kleine Gruppe von Beschäftigten direkt vor Ort in das System eingewiesen und konnte durch eigenes Ausprobieren lernen. (B1, Pos. 82) Eine Person beschreibt, dass Kurse über Anwendungssoftware oft zu allgemein und nicht auf die Bedürfnisse des Unternehmens zugeschnitten sind. Häufig werde eher die Handhabung der Software erklärt, nicht aber die eigentliche Anwendung an realen Problemstellungen trainiert. Die interviewte Person führt weiter aus, dass es möglich ist, sich viele Inhalte von Kursen auch in kürzerer Zeit selbst anzueignen, z. B. über online verfügbare Ressourcen. Sie komme damit gut zurecht und habe sich so an einem Tag wesentliche Inhalte eines einwöchigen Kurses selbst angeeignet. (B7, Pos. 29–38) Eine andere Person gibt an, dass der Besuch eines Seminars oder einer Schulung einen ersten Einblick in ein Thema geben kann. Sie formuliert dies folgendermaßen: „... in der Schulung gewinnt man eine Idee, wie es geht. Aber man kann es nicht“ (B6, Pos. 50). Eine andere interviewte Person sieht das ähnlich: „Also, es gibt schon Schulungen, aber ich finde immer mehr, man lernt es auch nicht so in der Schulung, sondern muss das eher selbst mal ausprobieren und dann lernt man es“ (B2, Pos. 116).

Die Forschungsteilnehmenden nehmen weniger an klassischen Seminaren teil, um den Umgang mit Industrie-4.0-Technologien zu erlernen. Sie haben sich ihr Wissen und Können zu Industrie-4.0-Technologien überwiegend selbstorganisiert oder im Prozess der Arbeit angeeignet. Eine Person beschreibt dies wie folgt: „Also erarbeitet man es sich eigentlich 90 Prozent selbst auf Basis dessen, was man zum Beispiel bei einem Techniker gelernt hat, also man hat programmieren gelernt, somit schaue ich mir diese Programmierungen dann auch immer wieder mal an ...“ (B3, Pos. 74). Acht der elf interviewten Personen geben an, den Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen durch das eigene Experimentieren an den Systemen zu erlernen (B1, B2, B4, B5, B7, B8, B9, B11).

Ich muss damit schon mal gearbeitet haben. Das ist meistens ein bisschen blöd, wenn man ein komplett neues Tool hat, dann muss man sich irgendwie mal überlegen kann ich irgendwo eine Teststation aufbauen, wo ich das einfach mal durchspielen kann oder irgendwie ein bisschen damit arbeiten, weil ich bin eher so der Macher. Ich kann jetzt nicht mir irgendwie eine Anleitung durchlesen und habe das dann komplett drauf. Wenn ich das machen muss, dann geht es schon irgendwie, braucht dann halt ein bisschen. Aber ich hätte gern immer irgendwo so Testsystem, wo ich das mal durchspielen kann und ein bisschen rumprobieren und dann geht es relativ fix. (B4, Pos. 10)

Die interviewte Person beschreibt, dass es für sie hilfreich ist, bei der Einführung einer neuen Software eine reale Testumgebung zu schaffen und die Software auszuprobieren. Auf diese Weise könne sie experimentieren und lernen, mit der Software umzugehen. Mehrere Personen nutzen Test- oder Demonstrationssysteme, um Industrie 4.0 auszuprobieren und zu lernen. Teilweise können sie auch direkt an produktiven Systemen experimentieren. Die oben zitierte Person gibt weiter an, dass es auch auf den Umfang und die Reichweite der Anwendungen ankommt. Wenn das System z. B. in der gesamten Fabrik eingeführt werden soll, sei ein systematischer Ansatz erforderlich. In einigen Fällen reiche es nicht aus, ein Testsystem aufzubauen, in anderen Fällen sei dies nicht möglich. Insgesamt sei es aber sinnvoll, neue Anwendungen in einer realen Umgebung auszuprobieren und daraus zu lernen. (B4, Pos. 19–22) Eine andere Person beschreibt, dass es auch bei größeren Projekten sehr sinnvoll sein kann, zunächst mit einem kleinen Anwendungsfall zu beginnen. Anhand eines Prototyps könne die Industrie-4.0-Anwendung praktisch erprobt werden. Insgesamt sei es häufig hilfreich, eine Anwendung an einem Pilotprojekt auszuprobieren und daraus zu lernen. (B7, Pos. 50) Mehrere interviewte Personen erläutern, dass sie bei der Erstinbetriebnahme von Industrie-4.0-Anwendungen im Prozess der Arbeit gelernt haben. Eine Person erklärt dies folgendermaßen:

... also ich war von Anfang an dabei, als diese AGV [FTS] nur Prototypen waren. Das war 2018 und wir haben Anwendungsfälle ausprobiert, wir haben jeden Tag getestet, zu der Zeit sah die Software anders aus. Die Roboter [FTS] sahen anders aus. Sie fuhren anders, also wir fuhren sie ständig. Wir haben überprüft, was mit ihnen nicht stimmt und wie wir sie verbessern können. Schritt für Schritt fügten wir also Dinge zur Software hinzu und verbesserten die Hardware. So habe ich es Schritt für Schritt gelernt, indem ich einfach Dinge hinzugefügt habe, aber die Software ist, nachdem man sich daran gewöhnt hat. Es ist nicht, ist nicht so schwer zu machen und wenn man nur ein bisschen den Anweisungen folgt, ist es wirklich einfach zu benutzen. (B5, Pos. 30)

In Bezug auf neue Software in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erklären drei der interviewten Personen, dass sie neue Software direkt im Arbeitsprozess erlernen (B2, B8, B9). In den meisten Fällen sei die neue Software ähnlich zu bedienen wie gängige Bürosoftware (B8, Pos. 16). Eine Person berichtet auch, dass sie in einem internen Schulungskonzept konkret auf Eigeninitiative und die Methode des Ausprobierens setzen. Die Teilnehmenden erhalten eine grundlegende Einführung und sollen dann mit Unterstützung von Fachleuten konkrete Probleme aus ihrem eigenen Bereich bearbeiten. (B7, Pos. 50)

Fünf der interviewten Personen lesen Dokumente, um sich Wissen über neue Technologien oder einzelne Systeme anzueignen (B4, B5, B7, B10, B11). Dabei handele es sich um Systemdokumentationen, Bedienungsanleitungen, Spezifikationen eines Systems oder auch Anleitungen zu einer Programmiersprache. Eine Person berichtet auch von der Recherche und dem Lesen wissenschaftlicher Literatur. Dies sei eine vielversprechende Möglichkeit, sich mit einer Technologie vertraut zu machen, wenn man noch keine eigenen Erfahrungen damit habe. (B11, Pos. 38–40)

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung können meist auf verschiedene Fachleute als Unterstützung zurückgreifen (B1, B4, B5, B7, B9). Durch diese Begleitung lernen sie auch den Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen. Unterstützung könne auch über das Fachpersonal des Zulieferbetriebs der Anwendung eingeholt werden. Dies sei vorwiegend für den Aufbau von Wissen und Können zu einzelnen Anwendungen notwendig. (B1, Pos. 54) Drei Personen berichten, dass einzelne Produkte oder komplette Systeme mit Industrie-4.0-Technologien von einer internen Stelle entwickelt wurden und sie von dieser Unterstützung erhalten (B4, B5, B7). Insgesamt lernen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung häufig durch die Unterstützung der Zulieferbetriebe der Anwendung oder der für die Entwicklung der Anwendung verantwortlichen Personen. Eine Person erklärt auch, dass durch die Zusammenarbeit mit einer Universität vollkommen neue Technologien ausprobiert werden können. Bei der Zusammenarbeit mit externen Partnern sei es aber notwendig, auch das Wissen der eigenen Beschäftigten aufzubauen. Dies beschreibt die Person wie folgt:

Wir haben uns auch schon Doktoranden oder Studenten zu uns geholt, um Wissen aufzubauen und es an die anderen Mitarbeiter weiterzugeben. Das ist erstmal einfach und stört uns im Arbeitsalltag nicht, aber meist nicht nachhaltig. Deshalb setzen wir jetzt darauf, dass die Mitarbeiter es selbst lernen. (B7, Pos. 32)

Eine andere Person erwähnt aber auch, dass sie sich bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen mehr Unterstützung wünscht. Es werde ein hoher persönlicher Einsatz und das Lernen im Prozess der Arbeit vorausgesetzt. Projekte zu Industrie-4.0-Anwendungen könnten mit mehr Unterstützung durch Fachpersonal noch erfolgreicher sein. (B2, Pos. 78)

Der Austausch mit anderen Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist eine weitere Möglichkeit, Wissen und Können zu Industrie-4.0-Anwendungen aufzubauen. Die interviewten Personen berichten, wie sie sich mit anderen Personen abstimmen und sich Industrie-4.0-Anwendungen, die im Unternehmen etabliert sind, erklären lassen. Sie unterstützen auch andere Personen bei Industrie-4.0-Anwendungen, mit denen sie Erfahrungen gesammelt haben. Dabei gehe es nicht nur um die Technologien an sich, sondern auch darum, die unternehmensspezifischen Abläufe und Strukturen besser kennenzulernen: „Das hat ein bisschen mit Erfahrung zu tun. Wenn du das erste Mal eine Anlage planst, dann musst du zu deinem Kollegen gehen und sagen: Ich plane das erste Mal eine Anlage. Wie machen wir das

hier?“ (B6, Pos. 42) Eine andere interviewte Person berichtet von festen Terminen, an denen ein Austausch zu aktuellen Themen stattfindet:

Dann gibt es noch eine Regelrunde, die ist einmal im Monat. Das sind dann eher so ja, IT-Themen, da wird dann halt besprochen: Was gibt es denn jetzt Neues? Was soll in den nächsten Jahren kommen? Sei es Firewall for Manufacturing ist so ein Thema oder was haben wir denn noch so? Fernzugriffe oder sowas. Was ist jetzt gerade im Moment am Kommen? (B4, Pos. 6)

Die interviewte Person beschreibt, dass sie sich zu festen Terminen über neue Anwendungen austauschen. So werde z. B. ein speziell auf die Produktion zugeschnittenes Sicherheitssystem zur Vermeidung unerwünschter Netzwerkzugriffe diskutiert oder Möglichkeiten des Zugriffs auf Maschinen und Anlagen von außerhalb des Unternehmens besprochen.

Eine Person berichtet über die Entwicklung eines Trainings für eine Software zur Materialflusssimulation. Reale Aufgaben und Probleme werden in Lerngruppen bearbeitet und es finde eine regelmäßige Abstimmung über die Lösung spezifischer Probleme statt. Ebenso erläutert die Person auch die Relevanz der Bearbeitung von realen Aufgabenstellungen im Rahmen einer Weiterbildungsmaßnahme:

Die kriegen quasi immer wieder Aufgaben, die sie mit diesem Trainingsmodell dann umsetzen sollen, sollen sich untereinander abstimmen, wie sie das gelöst haben. Aber da gibt es kein Richtig oder Falsch. Das ist dann mehr: Wer findet einen möglichst smarten Weg, diese Aufgabe zu lösen und kommt trotzdem zum richtigen Ergebnis? In der Realität braucht man auch einfach die Problemlösekompetenz. Die Software allein ist da ein Hilfsmittel, aber ich muss wissen, wie ich sie richtig einsetze. (B7, Pos. 32)

Weit wichtiger als die Fähigkeit, die Software zu bedienen, sei das Lösen realer Probleme. Die realen Problemstellungen seien nicht konstruiert, sondern sollen von den Teilnehmenden selbst aus dem eigenen Arbeitsumfeld eingebracht werden. Dies habe den zusätzlichen Vorteil, dass das Training eine hohe Akzeptanz im Unternehmen erfahre, da die Mitarbeitenden und das Unternehmen bereits während des Trainings davon profitieren:

Aber die bringen dann schon ihre eigenen Simulationsaufgaben aus den Werken mit. Das kann mal eine Überprüfung sein, ob das in der Linie gerade sinnvoll ist, was die Leute da tun. Es kann eine Überprüfung sein für eine Umplanung oder ein Taktzeitszenario oder ein Stückzahlzenario, was man dann als ein Modell für eine Linie aufbaut und schon direkt überprüft. Also man lernt quasi, während man schon einen echten Benefit generiert und so funktioniert das dann auch, die Leute davon zu überzeugen, dass es eine gute Idee ist, jemanden ein halbes Jahr reinzustecken. (B7, Pos. 50)

Eine andere Person erklärt, dass sie Personen mit Wissen und Können zu Industrie 4.0 ausbilden wollen, die dann als Ansprechpersonen für die anderen Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Verfügung stehen (B10, Pos. 38).

Zwischenfazit zu Wissen und Können aus der Perspektive der Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene der digitalen Transformation der Industrie

Während in den ausgewählten Studien zur Aus- und Weiterbildung auf dem Weg zu Industrie 4.0 immer wieder das Wissen und Können zu verschiedenen Technologien im Vordergrund steht (Kapitel 2.2.2), erscheint für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung eine andere Ausrichtung notwendig. Die empirische Untersuchung liefert m. E. Hinweise darauf, dass spezialisiertes technologisches Wissen und Können in der technischen Produktionsplanung und -steuerung eine eher untergeordnete Rolle spielen. Umfassendes technologisches Wissen ist teilweise wichtig, aber aus Sicht der interviewten Personen keine zwingende Voraussetzung für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und die Gestaltung des Produktionssystems auf dem Weg zu Industrie 4.0. In übergreifenden Studien wird Wissen und Können im Bereich der Informationstechnologien mit unterschiedlichen Schwerpunkten als wichtig erachtet (Kapitel 2.2.2). Wissen und Können im Bereich der Informationstechnologie sind auch in der technischen Produktionsplanung und -steuerung relevant. Kenntnisse im weiteren Bereich der Softwareentwicklung scheinen auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wichtig zu sein. Hinsichtlich der Frage, welche Technologie oder Programmiersprache in der technischen Produktionsplanung und -steuerung explizit beherrscht werden muss, gehen die Aussagen der interviewten Personen jedoch weit auseinander. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sehen weniger die Förderung von technologischem Wissen als relevant an, sondern vielmehr das Wissen über praktische Umsetzungsbeispiele einzelner Industrie-4.0-Anwendungen. Die von verschiedenen interviewten Personen hervorgehobenen Aussagen zu einzelnen Technologien könnten aber auch darauf hindeuten, dass es in der Praxis einzelne Aufgabenprofile in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gibt, für die spezialisiertes technologisches Wissen und Können erforderlich ist. Insgesamt ist die Verbindung von technologischem Wissen mit fachübergreifendem Wissen und Können eine wichtige Grundlage für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und für die Gestaltung einer Industrie 4.0.

Wie übergreifende Studien schlussfolgern, wird in Zukunft fachübergreifendes Wissen und Können weiter eine wichtige Rolle spielen (Kapitel 2.2.2). Dies gilt auch für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Eine Fähigkeit, die z. B. in der Studie von Kirchherr et al. (2018) insgesamt von vergleichsweise geringerer Relevanz ist, scheint für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung von hoher Bedeutung zu sein: „Tech-Translation – zwischen Technologie-Fachleuten und involvierten Nicht-Fachleuten moderieren“ (S. 6). In Erweiterung zu dieser Definition scheint m. E. allerdings auch die Vermittlung zwischen verschiedenen Fachleuten wichtig zu sein. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben häufig eine Schnittstellenfunktion zwischen verschiedenen Fachleuten mit spezialisiertem technologischen Wissen und Können und der Produktion. Häufig geht es darum, technologische Zusammenhänge zu verstehen,

diese in der Organisation des Unternehmens zu vertreten und Problemlösungen herbeizuführen. Teilweise bestehen auch Zielkonflikte und unterschiedliche Vorstellungen zwischen den verschiedenen Beteiligten, die es zu berücksichtigen und gemeinsame Lösungsansätze zu suchen gilt. Insgesamt lässt die empirische Untersuchung vermuten, dass in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dazu auch die Organisation von Aufgaben, der Umgang mit Menschen und persönliche Fähigkeiten von hoher Relevanz sind. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung benötigen Fähigkeiten zur selbstständigen Problemlösung und müssen Aufgaben und Projekte eigenverantwortlich voranbringen können. Weiter scheint die Erfahrung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit den Abläufen und der Arbeit in der Produktion von Bedeutung. Ein gutes Verständnis und Wissen über Maschinen, Prozesse und Produkte ist wichtig. Außerdem sind umfassendes Wissen und Erfahrung über betriebliche Abläufe, Strukturen und Prozesse hilfreich. Um dieses Wissen über die Einordnung der eigenen Aufgaben in die betrieblichen Abläufe zu fördern, haben Baron et al. (2019) im Rahmen des „Prospektive Weiterbildung für Industrie 4.0“ ein eigenes Modul „Arbeitsprozesswissen 4.0“ entwickelt (Kapitel 2.2.3). Eine der interviewten Personen beschreibt, dass es wichtig ist, eine Vorstellung davon zu entwickeln, wie die eigene Produktion in einer Industrie 4.0 aussehen könnte. Diese Kombination aus fundiertem Wissen aus der Produktion, technischem Grundlagenwissen und Wissen über praktische Industrie-4.0-Anwendungen könnte eine Grundlage sein²⁰, um ein Zukunftsbild für das eigene Produktionssystem entwickeln zu können.

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung lernen den Umgang mit Industrie-4.0-Technologien selten ausschließlich über klassische Seminare. Für viele Anwendungsfälle gibt es kein passendes Seminar. Seminare zu Industrie-4.0-Anwendungen oder Software sind häufig allgemein ausgerichtet. Eine interviewte Person erklärt, dass Technologie nur ein Werkzeug ist, wichtiger ist die Fähigkeit, Probleme zu lösen. Es werde zwar der Umgang mit einer Technologie oder z. B. einer Anwendungssoftware vermittelt, aber selten werden konkrete Fähigkeiten zur Problemlösung entwickelt. Seminare können Grundlagen vermitteln. Problemlösungen für unternehmensspezifische Anwendungen können nur selten in Seminaren erarbeitet werden. Wie auch von Teichmann et al. (2022) mit „Entdeckendes Lernen“ oder Baron et al. (2019) mit „Eigenständiges Ausprobieren“ in Weiterbildungskonzepten vorgeschlagen (Kapitel 2.2.3), lernen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung den Umgang mit neuen Technologien meist direkt an einer Anwendung. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ver-

20 Natürlich reicht dies nicht für die Ausschöpfung aller technologischen Möglichkeiten aus. Beispielsweise kann nicht davon ausgegangen werden, dass jemand, nur weil er einmal eine Robotik-Anwendung in einem anderen Unternehmen gesehen hat, sofort in der Lage ist, alle potenziellen Robotik-Anwendungen zu beurteilen und sich ein umfassendes Zukunftsbild über die Einsatzmöglichkeiten im eigenen Produktionssystem zu machen. Ein erster prototypischer Entwurf eines Zukunftsbildes, der dann kontinuierlich verfeinert werden muss, ist aber m. E. auf der Basis von Grundlagenwissen und Anwendungsfällen durchaus möglich. Die Ausschöpfung aller technologischen Möglichkeiten ist auch nicht das Ziel dieser Arbeit. Vielmehr soll Technik so eingesetzt werden, dass sie dem Menschen im Unternehmen und der Gesellschaft dient. Wichtig ist die Förderung des Nachdenkens über eine mögliche und wünschenswerte Zukunft und die Berücksichtigung dieser Überlegungen bei den Gestaltungsaufgaben.

wenden verschiedene Methoden und Quellen, um theoretisches Wissen zu erwerben. Das so erworbene Wissen wird dann direkt an den technischen Systemen vertieft und erprobt. Dabei werden die Beschäftigten häufig von Fachleuten begleitet. Außerdem lernen sie durch den Informations- und Wissensaustausch mit anderen Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung oder mit den Mitarbeitenden aus der Produktion.

4.5 Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie

4.5.1 Körperliche und mentale Anforderungen sowie Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion

Nachdem in den letzten beiden Kapiteln die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene der digitalen Transformation betrachtet wurden, wird in diesem Kapitel der Fokus auf die Perspektive als Gestaltende gerichtet. Es wird über die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der interviewten Personen zur Arbeit in der Produktion berichtet. Außerdem wird auch die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion thematisiert.

Auf die Frage „Welche Erfahrungen haben Sie bisher mit Ergonomie in der Produktion gemacht?“ antworteten die interviewten Personen mit einem breiten Spektrum an Erfahrungen.

Eine Person nennt verschiedene Beispiele für die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen. So wurde etwa ein Arbeitsplatz ergonomischer gestaltet, indem ein Bildschirm in einer anderen Höhe angebracht wurde. Sie haben auch die Anordnung des Montagematerials am Arbeitsplatz verändert, damit die Mitarbeitenden das Material bei der Montage mit weniger Anstrengung greifen können. Grundsätzlich sei auch auf das Gewicht des Materials zu achten. Bei schweren Lasten können automatische Hebehilfen eingesetzt werden. Kombinierte Steh- und Sitzarbeitsplätze können eingerichtet werden, um durch wechselnde Belastung die Wirbelsäule zu schonen. Wenn nur Steharbeit möglich sei, können spezielle Matten auf dem Boden ausgelegt werden, um die Wirbelsäule zu entlasten. (B1, Pos. 64–66) Eine andere Person erläutert, dass nicht nur die offensichtlichen Themen berücksichtigt werden müssen. So müssen sich z. B. die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch über die Konsequenzen für die Arbeitsgestaltung bewusst sein, wenn Änderungen in den Abläufen vorgenommen werden. Die Person verdeutlicht dies an einem Beispiel: Durch die Veränderung des Produktionsablaufs können einzelne Aufgaben auf andere Personen übertragen werden. Da der Produktionsablauf dadurch effizienter werde, können in Zukunft insgesamt weniger Personen die Feinversorgung der Maschinen mit Material übernehmen. Das könne aber auch bedeuten, dass eine Person in Zukunft nicht mehr 100 kg Material in einer Schicht bewegen müsse, sondern vielleicht 150 kg. Das seien Aspekte, die nicht sofort auffallen, aber man müsse sich dessen be-

wusst sein und gegebenenfalls entsprechend reagieren. Es können dann z. B. Hilfsmittel zur Unterstützung des Personals eingesetzt werden. (B8, Pos. 50) Die Person berücksichtigt, dass Veränderungen in der Arbeitsorganisation Auswirkungen auf die körperliche Belastung der Mitarbeitenden haben können.

Eine andere Person ergänzt, dass auch länderspezifische Aspekte berücksichtigt werden müssen. Als Beispiel führt sie die unterschiedliche Körpergröße der Menschen in verschiedenen Regionen an. Dies müsse bereits bei der Planung von Anlagen berücksichtigt werden. (B10, Pos. 60) Eine Person beschreibt, dass sie sich in Bezug auf Ergonomie an die Vorgaben von REFA und MTM halten. In anderen Bereichen spiele die Ergonomie bei der Gestaltung von Produktionsanlagen eine untergeordnete Rolle. Die Anlagen seien hoch automatisiert und oft werden nur noch Rüstarbeiten von Menschen ausgeführt. (B7, Pos. 40)

Im Kontext des Themas Arbeitsgestaltung und Ergonomie wird von den interviewten Personen mehrfach erwähnt, dass es Fachleute gibt, die dieses Thema entweder ganz übernehmen oder sie dabei unterstützen (B2, B6, B7, B8, B9). Eine Person berichtet, dass sie Fachleute aus dem Bereich Umwelt, Gesundheit und Sicherheit in Workshops zur Arbeitsplatzgestaltung einbezieht (B2, Pos. 48). Eine andere Person beschreibt, dass es Ergonomiebeauftragte gibt, die bei der Abnahme von Anlagen anhand einer Checkliste die Einhaltung ergonomischer Aspekte überprüfen (B6, Pos. 60). Eine andere Person erklärt, dass es eine unterstützende Abteilung im Unternehmen gibt, die verschiedene Hilfsmittel zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen in der Produktion zur Verfügung stellt (B8, Pos. 50). Eine vierte Person gibt an, dass sie bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln die Beschäftigten aus den Abteilungen „Zeitwirtschaft“ und „Lean Management“ einbezieht. Diese Beschäftigten bewerten dann die Systeme hinsichtlich der Arbeitsbelastung. (B9, Pos. 52)

Es gibt unangenehme Tätigkeiten und Arbeitsplätze, bei denen die interviewten Personen über mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen nachdenken:

In der Schmelzerei, wo im Ofen 800 Grad sind, da hat es keine 20 Grad außen drum rum, auch nicht mit einer Klimaanlage. Das geht einfach gar nicht. Das ist ein unangenehmer Arbeitsplatz und dann muss man sich einfach überlegen, wie kann man jetzt diesen unangenehmen Arbeitsplatz für den Mitarbeiter gestalten, dass er den jeden Tag machen kann, auch wenn er einen schlechten Tag hat. Wie kann man da wechseln, was gibt es für Möglichkeiten? ... Jeder hat mal einen guten Tag und einen schlechten Tag und du musst deine Arbeit auch an einem schlechten Tag schaffen. Gerade in der Produktion, wenn du immer davon ausgehst, der Mitarbeiter ist 120 Prozent fit und schafft da vielleicht gerade die Stückzahlen. Jetzt hat er einen schlechten Tag und schafft nur 60 Prozent. Die fehlen halt dann. Du musst sie aber verkaufen und dann hilft es auch nichts, dem Mitarbeiter irgendwie Druck zu machen ... das hält keiner auf Dauer aus und da musst du einfach schauen: Wie kann ich das gestalten, sodass meine Mitarbeiter den Job auch machen können? (B6, Pos. 60)

Die Aussagen der interviewten Person legen nahe, dass sie sich bewusst ist, dass sie bei der Gestaltung der Arbeitsplätze die Arbeit der Mitarbeitenden in der Produktion berücksichtigen muss und auch dafür verantwortlich ist. Sie erkennt auch an, dass die

Leistungsfähigkeit, also die Arbeitsleistung, die ein Mensch erbringen kann, von der Tagesform abhängt und bezieht dies in die Gestaltung mit ein. Die Arbeitsaufgaben seien so zu gestalten, dass sie auch bei schlechter Tagesform erfüllbar sind.

Zwei der interviewten Personen berichten von ihrer Mitarbeit bei der systematischen Bewertung von Arbeitsplätzen in Bezug auf die ergonomische Gestaltung. Dabei werden die Belastungen für den Menschen an den einzelnen Arbeitsplätzen in Form von Kennzahlen dargestellt und Verbesserungspotenziale identifiziert. (B2, Pos. 48; B8, Pos. 54) Eine Person erwähnt, dass sie geprüft haben, ob der Einsatz einer Software zur Simulation von ergonomischen Arbeitsbedingungen sinnvoll ist. Derzeit werde eine solche Software nicht eingesetzt. Mit einer Software zur Simulation des Materialflusses könnte auch die Aufgabenverteilung der Mitarbeitenden berücksichtigt werden. Dies sei jedoch meist nur ein Randthema, da die Produktionsanlagen hoch automatisiert seien. (B7, Pos. 40)

Die interviewten Personen sind sich einig, dass eine ergonomische Arbeitsgestaltung einen hohen Stellenwert hat und haben muss. Es werden aber auch Themen angesprochen, die aus Sicht der Forschungsteilnehmenden Herausforderungen für die Gestaltung der Arbeit zeigen. Eine Person beschreibt, dass sich die Relevanz der Ergonomie im Laufe der Projekte verändert. Bei der Erstellung des Lastenheftes und der Konstruktion der Anlage habe das Thema Ergonomie überwiegend eine hohe Priorität. In der Phase der Inbetriebnahme und des Serienanlaufs überwiegen andere Herausforderungen wie die Einhaltung von Produktionszahlen, Taktzeiten oder Anlagenverfügbarkeit. Befinde sich das Projekt in einer kritischen Phase, sei die Ergonomie zunächst nicht wirklich wichtig. Erst wenn die Anlage stabil laufe, rückten ergonomische Themen wieder in den Vordergrund. (B10, Pos. 59–60) Eine andere Person berichtet, dass Ergonomie ein schwieriges Thema ist. Sie vergleicht das von ihr verantwortete Produktionssystem dabei mit einer Baustelle. Wenn es um Sicherheit gehe, gibt es natürlich keine Diskussion. Die Gesundheit habe natürlich auch Vorrang, aber in ihrem Bereich können nicht alle Unwägbarkeiten und unangenehmen Arbeiten vorhergesehen und beseitigt werden. Es sei schwer abzuschätzen, welche ergonomischen Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll sind und wann es unverhältnismäßig werde. (B3, Pos. 108) Eine andere Person bezieht sich ebenfalls auf dieses Dilemma und ergänzt, dass aus ihrer Sicht auch nicht quantifizierbare oder monetär bewertbare Aspekte eine wichtige Rolle spielen müssen:

Hey, mir geht es gut, ich habe keine Rückenschmerzen mehr, das kannst du vielleicht mal ausmessen an der Ausfallrate der Mitarbeiter per se, aber vielleicht auch nicht immer, vielleicht ist es einfach nur dieses Arbeitsgefühl, das die [Mitarbeitenden] mitbringen, dass das einfach alles viel lebendiger hier unten wird und dadurch halt die ganzen KVP-Prozesse [Kontinuierlicher Verbesserungsprozess] besser laufen. Also ich glaube, das sind halt wichtige Sachen, die man dem Mitarbeiter heute an die Hand geben muss. (B11, Pos. 64)

Zum einen können auch nicht direkt messbare Faktoren zu einer wirtschaftlichen Verbesserung führen, zum anderen hält die interviewte Person auch das subjektive Empfinden der Mitarbeitenden in der Produktion für bedeutend. Die Person weist zudem

darauf hin, dass es bei der ergonomischen Arbeitsgestaltung nicht darum geht, einem Betriebsrat oder Vorgesetzten zu gefallen, sondern die Interessen der Mitarbeitenden in den Mittelpunkt zu stellen. (B11, Pos. 64) Eine weitere Person erklärt, dass sie eine positive Entwicklung im Unternehmen sieht. Das Thema etablierte sich immer mehr in der Unternehmenskultur. Jeder entwickle sich auch persönlich weiter und lerne z. B. rückschonendes Heben. (B9, Pos. 52)

Die interviewten Personen berichteten auch über Erfahrungen, wie mental belastende Arbeit oder Stress reduziert und die Lernförderlichkeit von Arbeit in der Produktion erhöht werden kann. Eine der interviewten Personen beschreibt, dass eine Software die automatisierte Konfektionierung von Leitungssätzen ermöglicht und somit die manuelle Markierung der Leitungen von einer Maschine übernommen werden konnte.

... da wurde dann in circa zwei bis drei Tagen von einem Fertigungsmitarbeiter die einzelnen Verbindungen händisch rausgeschrieben, also wirklich handschriftlich rausgeschrieben. Die wurden dann an die Leitungen aufgeklebt, sodass man das überhaupt definieren und zuweisen konnte. (B3, Pos. 18)

Die Person fügt hinzu, dass dies eine unbeliebte Aufgabe war, die zudem häufig zu Fehlern führte. Eine andere Person beschreibt, dass die Mitarbeitenden am Ende der Schicht keine Notizen über die Tagesstückzahl mehr machen müssen, da dies nun ein MES-System übernehme. Die Stückzahl werde automatisch von der Maschine erfasst. Dies führe zunehmend zu einer Entlastung der Mitarbeitenden in der Produktion. (B8, Pos. 43–48)

Wieder eine andere Person führt an, dass es mit der fortschreitenden Erfassung von Daten aus Produktionsprozessen natürlich auch möglich ist, die Mitarbeitenden zu überwachen. Wenn diese Möglichkeiten im negativen Sinne genutzt werden, dann könne anhand von Messwerten festgestellt werden, wie effizient die einzelnen Mitarbeitenden arbeiten. Deshalb gebe es auch zu diesem Thema viele und teilweise berechtigte Diskussionen. (B6, Pos. 32) Auch eine weitere interviewte Person nennt die Möglichkeit, durch die Erfassung von Prozessdaten Rückschlüsse auf die Leistung der Mitarbeitenden zu ziehen. Dadurch können einerseits Optimierungspotenziale an der technischen Anlage erkannt werden, andererseits aber auch weniger produktive Teams ausgemacht werden. (B10, Pos. 32)

Eine andere Person beschreibt die Entlastung der Mitarbeitenden in der Produktion durch die Einführung von FTS. Die Mitarbeitenden müssten sich nicht mehr um den Abtransport der leeren Kleinladungsträger aus der Produktion kümmern. Früher mussten die leeren Kleinladungsträger von Hand über weite Strecken zu einer Waschanlage transportiert werden. Wenn die Mitarbeitenden die Produktion verlassen, konnte es sein, dass die Produktionsanlage eine Störung hatte und stehen blieb. Heute müssen die Mitarbeitenden nur noch eine Karte scannen und die FTS übernehmen den Transport der Kisten. So können sie sich auf ihre eigentliche Arbeit in der Produktion konzentrieren und der Arbeitsdruck dieser Mitarbeitenden sei dadurch insgesamt gesunken. (B5, Pos. 16–18)

Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung bilden sich in Eigeninitiative weiter, um die Arbeit und die Erfahrungen der Nutzenden mit dem System zu verbessern. Eine Person berichtet auch, dass sie derzeit auf eigene Initiative nebenberuflich eine Weiterbildung zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit von Software macht. Sie habe festgestellt, dass oft hilfreiche Tools entwickelt werden, diese aber häufig sehr schwierig und umständlich zu bedienen seien. Deswegen habe sie einen Kurs an einer Online-Universität gestartet, um dies in Zukunft zu verbessern.

Also ich mache gerade eine Weiterbildung für UX [User Experience, Deutsch: Benutzererfahrung], Udacity [Online-Lernplattform] Nanodegree [kompakte Weiterbildung auf Hochschulniveau] heißt das, weil ich einfach festgestellt habe, wir bauen immer tolle Tools und irgendwelche Excel-Tapeten oder so, aber die sind halt überhaupt nicht gut zu bedienen ... Also man braucht halt immer sehr lange, man muss viel wissen und das ist von der User-Experience total mies, was wir da immer selbst zusammenbringen. (B7, Pos. 38)

Den interviewten Personen ist es auch wichtig, die Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltung des Produktionssystems einzubeziehen. So beschreibt eine Person, dass es den Mitarbeitenden in der Produktion in der Regel nicht hilft, wenn die Gestaltung nur aus der eigenen Perspektive und nach den geltenden Vorgaben erfolgt. Die Mitarbeitenden müssen aktiv in die Gestaltung des Produktionssystems einbezogen werden. Die Person äußert sich dazu wie folgt weiter: „Leute, was wollt Ihr denn haben, wie sieht euer perfekter Arbeitsplatz aus? Und da muss man die Leute einfach wieder mitnehmen, mit den Leuten das zusammen machen.“ (B11, Pos. 64)

Eine andere Person beschreibt, dass sie bei der Einführung von fahrerlosen Transportsystemen auch Mitarbeitende aus der Produktion einbezieht. Meist kommen Ideen für neue Einsatzmöglichkeiten dieser Systeme auch direkt aus der Produktion. Es findet ein regelmäßiger Informationsaustausch zwischen den Mitarbeitenden aus der Produktion und den Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung statt, wie die Prozesse zukünftig gestaltet werden könnten. Beispielsweise wird gemeinsam geprüft, ob vorhandene Technologien wie FTS eingesetzt werden können, um die Produktionsabläufe zu verbessern.

I: Ah, okay. Und wer hat die Ideen für neue Anwendungsfälle? Haben Sie die Ideen, kommen die Ideen vom Management oder kommen die Ideen von einem Produktionsmitarbeiter?

B5: Normalerweise sprechen wir mit der Produktion, wir halten engen Kontakt mit der Produktion und wir sprechen mit ihnen und sehen, was sie brauchen ... wir haben also diesen Informationsaustausch mit der Produktion und wir sehen, was sie brauchen und wir sagen, ob es Sinn macht, das zu implementieren oder so weiterzumachen wie bisher. (B5, Pos. 25–26)

Eine andere Person weist darauf hin, dass es wichtig ist, die Mitarbeitenden in der Produktion einzubeziehen, bevor die Anlage bestellt wird: „Von dem her ist es immer ganz wichtig, deswegen muss man am Anfang gleich, bevor man was bestellt, mit den

Leuten sprechen. Was wollt ihr denn?“ (B6, Pos. 50). Dazu vereinbart sie immer einen Termin mit den Mitarbeitenden vor Ort, zeigt ihnen einen Entwurf der Anlage und holt ihre Meinung und Ideen dazu ein. „Wenn du eine Maschine kaufst, dann müssen die, die damit arbeiten, zufrieden sein und die müssen es gut finden, weil wenn die es schon nicht unterstützen – auch bei einer neuen Technologie – dann wird das auch nichts“ (B6, Pos. 52). Die Person versucht, den Termin nach Schichtende zu legen und auch dafür zu sorgen, dass die Mitarbeitenden in dieser Zeit bezahlt werden. Beides sei wichtig. Die Mitarbeitenden haben während der Schicht keine Zeit, weil die Leistung stimmen muss, und eine Bezahlung für diese Zeit sei auch selbstverständlich. Nicht immer können alle Ideen umgesetzt werden, und manchmal sind die Mitarbeitenden auch enttäuscht, weil ihre Ideen nicht berücksichtigt wurden. Diese Mitarbeitenden haben meist keine Entscheidungsbefugnis, aber es sei trotzdem wichtig, sie in die Gestaltung einzubeziehen. (B6, Pos. 50–52) Eine andere Person führt mit Blick auf die Zukunft aus, dass virtuelle Realität im Rahmen der Planung von Produktionssystemen eingesetzt werden könnte und auch Aufgaben frühzeitig mit den Mitarbeitenden in der Produktion besprochen und abgestimmt werden könnten:

Ich glaube, dass das mit Virtual Reality oder auf dem Tisch virtuell zu planen, da hat Siemens ja jetzt auch so ein bisschen auf der Messe was vorgestellt, wo man dann quasi eine Projektion auf dem Tisch hat und man kann reingreifen und das rumschieben. Das wäre schon cool. Auch mit diesen VR-Brillen, dass man da z. B. die Linie virtuell entstehen lässt und dem Planer vor Ort oder vielleicht auch sogar dem Einsteller vor Ort mal zeigt, was zu tun ist, z. B. auch Handgriffe oder sowas. (B7, Pos. 52)

Zwischenfazit zur Gestaltung von Arbeit und Beteiligung der Mitarbeitenden

Die interviewten Personen berichteten über eine Reihe von Maßnahmen zur Gestaltung von Produktionssystemen mit dem Zweck, die körperlichen Belastungen der Mitarbeitenden in der Produktion zu reduzieren. Zum Heben schwerer Lasten werden verschiedene Hilfsmittel eingesetzt. Außerdem werden Anlagenteile an die Körpergröße der Personen angepasst. Durch technische oder organisatorische Maßnahmen werden auch Belastungen reduziert, die zu muskulären Überbeanspruchungen führen könnten. Die interviewten Personen beschreiben Beispiele und Überlegungen, wie unangenehme oder monotone Tätigkeiten reduziert werden können. Dabei werden sowohl technologische als auch organisatorische Lösungen diskutiert. Häufig werden auch andere Funktionen genannt, die formal für die Arbeitsbedingungen in der Produktion verantwortlich sind. Dennoch fühlen sich die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung für die Arbeitsbedingungen in der Produktion mitverantwortlich und beziehen dies in ihre Überlegungen zur Gestaltung des Produktionssystems (mit Industrie-4.0-Anwendungen) ein. Die interviewten Personen liefern mehrere Beispiele, die diese Hypothese stützen:

- Es werden die Auswirkungen einer Veränderung der Arbeitsorganisation auf die körperliche Belastung in die Überlegungen einbezogen.
- Die Arbeit muss so gestaltet sein, dass sie von den Mitarbeitenden in der Produktion auch an einem schlechten Tag erledigt werden kann.

- Bei der ergonomischen Gestaltung der Arbeit sind nicht nur messbare Effekte zu berücksichtigen, sondern auch das subjektive Empfinden und Wohlbefinden der Mitarbeitenden in der Produktion.
- Beschäftigte in der Produktionsplanung und -steuerung qualifizieren sich aus eigenem Antrieb, um die Benutzererfahrung bei der Gestaltung von Technik zu verbessern.
- Es wird anerkannt, dass mit der Ausweitung der Datenerfassung auch eine stärkere Kontrolle der Mitarbeitenden ermöglicht und die Diskussion darüber gerechtfertigt ist.
- Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung denken darüber nach, neue Technologien auch dazu zu nutzen, die Mitarbeitenden in der Produktion früher und umfassender in die Gestaltungsprozesse einzubeziehen.

Es werden aber auch Situationen berichtet, in denen die Arbeitsbedingungen zweitrangig sind. Wenn z. B. Herausforderungen bei der Inbetriebnahme auftreten, werden Themen wie Ergonomie in den Hintergrund gedrängt. In anderen Bereichen können aufgrund der schnellen Änderungen und der baustellenähnlichen Montage nicht alle Aspekte berücksichtigt werden, und die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung müssen abwägen, welche Verbesserungen der Arbeitsbedingungen angemessen sind.

Die interviewten Personen beschreiben in verschiedenen Projekten, wie sie die Mitarbeitenden in der Produktion in die Arbeitsgestaltung einbinden. Ähnlich wie bei der Untersuchung von Pfeiffer et al. (2018) erachten es die Mitarbeitenden in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als notwendig, die Mitarbeitenden in der Produktion entsprechend einzubeziehen. Die Einbindung in die Gestaltung erfolgt auch in den dieser Untersuchung vorliegenden Erfahrungsberichten teilweise spät im Prozess (Kapitel 2.2.1). Es gibt aber auch Berichte über Ideen der Mitarbeitenden in der Produktion zu neuen Anwendungsfällen für bestehende Industrie-4.0-Anwendungen oder eine gezielte Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion in einer frühen Projektphase.

4.5.2 Wissen und Können in der Produktion

Nach den Bezügen zur Arbeit in der Produktion im letzten Kapitel werden im Folgenden die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in Bezug auf das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion beschrieben.

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wirken bei der Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion mit Industrie-4.0-Anwendungen mit (Kapitel 4.4.1). Zwei der Forschungsteilnehmenden beschreiben ein Training der Mitarbeitenden in der Produktion im Zusammenhang mit der Einführung von FTS. Eine Person führt an, dass sie eine bestehende englische Dokumentation übersetzt und auf die für die Mitarbeitenden in der Produktion relevanten Inhalte re-

duziert hat. Im nächsten Schritt hat sie mit den Mitarbeitenden eine Schulung durchgeführt und sie die Systeme selbst ausprobieren lassen. (B4, Pos. 40) Die andere Person berichtet, dass sie die Mitarbeitenden in der Produktion bei der Bedienung eines FTS unterstützt hat. Zunächst hat sie ausführliche Schulungsunterlagen erstellt. Darin sind auch mögliche Fehler und Lösungsstrategien sowie vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Stillständen beschrieben. Anschließend hat sie den Mitarbeitenden in der Produktion die Handhabung des Systems erklärt und sie verschiedene Transportaufträge direkt in der Produktion ausprobieren lassen. Dabei wurden auch mögliche Probleme und deren Lösung erläutert und diskutiert. Auch zum Zeitpunkt des Interviews steht die Person den Mitarbeitenden in der Produktion für Fragen zur Verfügung. (B5, Pos. 32–34) Eine Person berichtet über ein Training der Mitarbeitenden in der Produktion bei der Einführung eines kamerabasierten Montageassistenten. Die Mitarbeitenden wurden direkt am produktiven System und mit den realen Produkten geschult. Sie hat den Mitarbeitenden die Benutzeroberfläche und den Montageablauf gezeigt und ihnen auch einen Einblick in die Inbetriebnahme des Systems gegeben. Anschließend arbeiteten die Mitarbeitenden mit dem System und wurden bei Fragen von der Person unterstützt. Aus Sicht dieser Person sei es besser, mit den Mitarbeitenden aus der Produktion direkt an realen Systemen zu üben, als die Sachverhalte nur theoretisch zu erklären. (B1, Pos. 48–50, 84–88)

Drei der interviewten Personen beschreiben Projekte, in denen das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion erweitert wurde (B1, B4, B5). Ein Schwerpunkt liegt auf der Aufwertung der Arbeit und der Qualifikationen in der Produktion im Kontext des Einsatzes von FTS. Eine Person berichtet, dass zum Zeitpunkt des Interviews alle technischen Herausforderungen im Zusammenhang mit den FTS von Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung gelöst werden. Derzeit werden die Mitarbeitenden in der Produktion qualifiziert, um zukünftig Aufgaben zur Lösung einfacher technischer Herausforderungen zu übernehmen. (B4, Pos. 36)

Eine andere Person berichtet, dass sie bei der Einführung eines kamerabasierten Montageassistenten den Mitarbeitenden in der Produktion nicht nur die tatsächlich notwendige Bedienung des Systems zeigt, sondern auch einen Einblick in die Einrichtung des Systems gegeben hat. Die interviewte Person weist zudem darauf hin, dass es wichtig ist, die Mitarbeitenden in der Produktion tiefer in Themen wie beispielsweise die Inbetriebnahme eines Systems einzuführen, damit sie später auch Optimierungspotenziale erkennen und bewerten können. Die Mitarbeitenden haben sich daraufhin eingebracht und gemeinsam die Arbeitsabläufe verbessert. (B1, Pos. 48) Die Person hält es für bedeutungsvoll, den Mitarbeitenden in der Produktion einen umfassenden Einblick in die Industrie-4.0-Anwendung zu geben:

Wenn sie Optimierungspotenziale sehen, auch ein bisschen Hintergrundwissen haben, ob das überhaupt so umsetzbar ist oder was möglich ist, was das System alles kann. Was auch immer sehr wichtig ist und nicht bloß die Benutzeroberfläche zu zeigen, sondern auch mal einen Einblick zu geben, wie man das in Betrieb nimmt oder wie man das teacht [ein Programm durch Einlernen ohne Programmierkenntnisse erstellen kann]. (B1, Pos. 48)

Die Mitarbeitenden in der Produktion sollen so qualifiziert werden, dass sie die Industrie-4.0-Anwendung selbst mitgestalten können.

In anderen Projekten wurde der Handlungsspielraum der Mitarbeitenden und das für die Aufgaben notwendige Wissen und Können eingeschränkt. Eine Person berichtet von der Einführung programmierbarer Schrauber. Den Zugang zur Programmierung haben sie bewusst mit einem Passwort geschützt. Die Mitarbeitenden in der Produktion haben keinen Zugriff auf die Programmierung der Schrauber. Das Anziehdrehmoment müsse in Abhängigkeit von der Schraube und dem schwächsten zu verbindenden Werkstoff gewählt werden. Bisher wählten die Mitarbeitenden in der Produktion die Anzugsdrehmomente anhand von Listen und Erfahrungswerten selbst aus. Das sei jetzt nicht mehr nötig. Die Automatisierung erhöhe die Sicherheit, und die Qualität der Verschraubungen sei insgesamt gestiegen. (B3, Pos. 44, 64–66)

Eine weitere Person führt aus, dass es nicht nur wichtig ist, den Mitarbeitenden in der Produktion die für sie relevanten Funktionen und Abläufe eines technischen Systems zu erklären:

Also ich finde es wichtig, subjektive Meinung, dass du den Leuten erklärst, nochmal, warum wir das machen, warum die Tätigkeiten sich jetzt ändern. Das ist immer noch das Thema „Meaning“ ... Der, der weiß, warum er arbeitet, arbeitet smart. Der, der weiß, was er arbeitet, arbeitet hart. Das ist genau, was wir erreichen müssen und wenn der Mitarbeiter weiß, warum er das macht, dann wird er das verstehen ... Diese Performance kann er nur leisten, wenn er weiß, warum er diese Sachen jetzt neu lernen muss. Also das wäre, glaube ich, mein Anspruch, mit den Leuten nicht nur zu sagen: Hey, du gehst jetzt auf Schulung, wir haben hier morgen einen Roboter, pass mal auf, sondern sich mit den Leuten aktiv auseinanderzusetzen. (B11, Pos. 70)

Vielmehr sei es auch wichtig zu begründen, warum es in der spezifischen Situation wichtig sei, eine neue Technologie einzuführen. Den Mitarbeitenden in der Produktion müsse die Bedeutung der Veränderung erklärt werden. Besonders wichtig sei es, den Zweck der Projekte und die Einbettung in das große Ganze zu erläutern. Darüber hinaus sei auch zu erklären, warum damit neue Aufgaben und neues Wissen und Können verbunden seien. (B11, Pos. 60)

Eine andere Person beschreibt allgemein, dass sie bei neuen Anwendungen die Informationen auch zusammenfasst und den Mitarbeitenden in der Produktion zur Verfügung stellt. Die wichtigsten Informationen, wie z. B. mögliche Herausforderungen und deren Lösungen, seien in dieser Zusammenfassung enthalten. Außerdem sei in dieser Zusammenfassung auch immer eine Kontaktperson angegeben, die bei Problemen kontaktiert werden könne. (B9, Pos. 45–46) Eine Person erklärt, dass sie u. a. für die Erstellung von Fertigungsunterlagen zuständig ist. Die Fertigungsunterlagen dienen den Mitarbeitenden in der Produktion als Hilfestellung bei der Montage der Produkte. Bei der ersten Produktion der Produkte erkläre sie den Mitarbeitenden die einzelnen Schritte, und sie bauen das Produkt gemeinsam auf. In diesem Arbeitsschritt werden auch die Fotos für die Fertigungsunterlagen gemacht. Bleiben Fragen offen oder möchten sich neue Mitarbeitende die Montage zeigen lassen, so werde dies in der Regel von den Mitarbeitenden in der Produktion selbstständig gelöst. (B2, Pos. 18; 65–68) Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung

sind aber nicht immer an der Entwicklung des Wissens und Könnens der Mitarbeitenden in der Produktion beteiligt. Eine Person berichtet beispielsweise, dass die Schulung der Mitarbeitenden in der Produktion von dem Unternehmen durchgeführt wird, das auch für die Lieferung der Produktionsanlagen verantwortlich ist. Es gebe auch eine Betriebsanleitung, die Hinweise geben könne. Grundsätzlich bestehe aber auch für alle Mitarbeitenden des Unternehmens die Möglichkeit, sich über ein unternehmensweites Schulungsportal selbstständig weiterzubilden. (B10, Pos. 40–42)

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung schätzen die Erfahrung und das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion. Eine Person beschreibt, dass die Mitarbeitenden nach jahrelangem Umgang mit den Maschinen und Anlagen oft ein tiefes Verständnis entwickelt haben und sich bei den meisten Störungen selbst helfen können. Die Person steht in regelmäßigem Austausch mit den Mitarbeitenden in der Produktion, um von deren Wissen und Können zu lernen – auch für die eigenen Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. (B1, Pos. 18, 56) Eine andere Person erklärt, dass sie sich mit den Mitarbeitenden in der Produktion austauscht und auch auf deren Erfahrungen und Wissen angewiesen ist, wenn es um die Einführung neuer Technologien geht. Beispielsweise müsse bei der Interpretation von Daten geklärt werden, was die Daten genau bedeuten. Auch bei der Einführung eines Roboters sei es sinnvoll, für erste Informationen, wie die Beschaffenheit der Teile oder die Form der Materialanlieferung, das Wissen der Mitarbeitenden in der Produktion einzubeziehen. (B11, Pos. 52) Diese Einschätzung und Erfahrung wird jedoch nicht von allen interviewten Personen geteilt. Drei der interviewten Personen geben auch an, dass die Mitarbeitenden in der Produktion teilweise gering qualifiziert sind und die Produktionsvorbereitungen entsprechend angepasst werden müssen. (B2, B3, B6)

Zwischenfazit Förderung von Wissen und Können in der Produktion

Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind häufig auch an der Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion mit Industrie-4.0-Anwendungen beteiligt. Aus Sicht der interviewten Personen ist es wichtig, die Mitarbeitenden direkt an den Systemen zu schulen und sie diese selbst ausprobieren zu lassen. Einige der interviewten Personen sind auch der Auffassung, dass es nicht ausreicht, den Mitarbeitenden in der Produktion nur die Funktionen eines technischen Systems zu erklären, die sie tatsächlich für die Ausführung ihrer Arbeit benötigen. Wichtig sind z. B. auch Hintergründe zur erweiterten Funktionsweise des Systems, damit die Mitarbeitenden in der Produktion selbst Verbesserungspotenziale erkennen und bewerten können. Ebenso ist es wichtig, die Gründe für die Einführung eines neuen technischen Systems oder die Umstellung eines Prozesses ausführlich zu erläutern, damit die Mitarbeitenden in der Produktion verstehen, warum diese Änderung wichtig ist. Aus anderen Berichten geht hervor, dass auch gezielt fachliche Aufgaben von Menschen auf Maschinen übertragen werden und damit das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion eingeschränkt wird.

Eine Dokumentation der Funktionsweise der Systeme und zum Umgang mit Herausforderungen wird häufig zusätzlich erstellt. Einige interviewte Personen greifen

auch gezielt auf die Erfahrungen und das Erfahrungswissen der Mitarbeitenden in der Produktion zurück. Unter anderem bei der Interpretation der Daten stehen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit den Mitarbeitenden in der Produktion in Kontakt. Die Mitarbeitenden sind den Prozessen, Maschinen und Produkten am nächsten und kennen die konkreten Einzelheiten und Herausforderungen. Ähnlich wie bei der Untersuchung von Pfeiffer et al. (2018) schätzen auch die meisten der interviewten Personen dieser Arbeit die Erfahrung der Mitarbeitenden in der Produktion. Vereinzelt gibt es aber auch andere Ansichten und Erfahrungen hinsichtlich des Qualifikationsniveaus in der Produktion.

4.5.3 Individuelle Erfahrungen und Ansichten über Zweck und Wirkung des Technikeinsatzes

In diesem Kapitel werden die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der interviewten Personen im Hinblick auf die wechselseitigen Beziehungen zwischen Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz untersucht und dargestellt. Hintergründe und Entscheidungskriterien für den Einsatz technischer Systeme werden aufgezeigt. Die Zusammenhänge zwischen vorhandenem Wissen und Können und der Bedienbarkeit technischer Systeme werden beschrieben. Es werden Erfahrungen der interviewten Personen mit der Ersetzung von Arbeit und der Auf- oder Abwertung von Arbeit durch Technik berichtet.

Ein Aspekt bei der Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext der digitalen Transformation sind die Hintergründe für den Einsatz eines technischen Systems. Die interviewten Personen geben an, dass in der Regel sowohl technische als auch wirtschaftliche Kriterien bei der Entscheidungsfindung eine große Rolle spielen. Überraschenderweise gibt es aber viele Hinweise, dass auch andere Kriterien wichtig sind. Es zeigen sich wechselseitige Zusammenhänge zwischen dem im Unternehmen vorhandenen Wissen und Können und der Auswahl der Komponenten einer hochautomatisierten Produktionsanlage. So beschreibt z. B. eine interviewte Person, dass es immer wieder Zulieferbetriebe von Anlagenteilen wie Robotern gibt, die einen hervorragenden Preis anbieten, weil sie sich eine langfristige Geschäftsbeziehung mit dem Unternehmen versprechen. Es sei nicht sinnvoll, einfach das kostengünstigste Angebot auszuwählen. Es müsse beispielsweise zuerst geprüft werden, ob die Mitarbeitenden mit dem System umgehen können:

Ein ganz großes Thema ist immer, es ist einfach, ich kaufe irgendwo Roboter, z. B. 20 Stück bei KUKA. Dann kommt ABB und sagt: „Der kauft jedes Jahr ein paar Hundert Roboter. Bei dem will ich rein. Dem biete ich die 20 Roboter jetzt billiger an als KUKA“ ... Dann kannst du natürlich schon diese ABB-Roboter kaufen, die dann in Summe 30.000 EUR weniger kosten. Aber deine Mitarbeiter können die gar nicht bedienen. (B6, Pos. 50)

So sei es z. B. auch nicht möglich, kurzfristig das notwendige Wissen und Können zur Programmierung spezieller Steuerungen zu erlernen oder jemanden dafür einzustellen. Wenn dieses Wissen und Können fehle, sei der Einsatz eines Systems nicht zu empfehlen und eine andere Lösung vorzuziehen. (B6, Pos. 50)

Außerdem wird ein Zusammenhang zwischen dem Reifegrad einer Technologie und den Auswirkungen auf die Arbeit hergestellt. Eine Person berichtet dazu von einem Projekt, bei dem Datenbrillen zur Unterstützung von Montageaufgaben in einem Schaltschrank eingesetzt werden sollten. Mit der Datenbrille sollten den Mitarbeitenden nach dem Konzept der erweiterten Realität Hinweise zur Unterstützung der Montage und Verdrahtung eingeblendet werden. Es habe sich schnell herausgestellt, dass eine Arbeit mit dieser Brille für die Augen sehr anstrengend sei. Zudem sei das System für Menschen mit Brille nur schwer zu handhaben. Die Technologie sei derzeit nicht für den Einsatz in diesem Bereich geeignet.

Das heißt, du kannst nicht so lange damit arbeiten, weil es einfach vom Fokus her – von den Augen – ganz anstrengend ist. Ähm, dann stört sie ein bisschen. Das heißt, die Technologie an sich von der Brille ist noch nicht so weit gewesen. Sie ist relativ schnell unscharf geworden, weil es mit kippen und da musst du wirklich immer den genauen Abstand reinkriegen. ... Deswegen sind wir dann von der Brille wieder weggegangen. Dass wir gesagt haben, okay, wir stellen an den Schrank oder neben den Schrank ein Display, ein Laptop, ein Bildschirm, ein Tablet oder irgendetwas und haben da dann daraufhin diese Tablets angeschafft. Das hast du dann aber gemerkt, die Technologie geht woanders hin. (B3, Pos. 90)

Es besteht auch ein Zusammenhang zwischen der Erfahrung mit einer Industrie-4.0-Anwendung und der Auswahlentscheidung. So werden Technologien bevorzugt, mit denen bereits gute Erfahrungen gemacht wurden. Der Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen, für die keine eigenen Erfahrungen (oder Erfahrungen aus dem näheren Umfeld) vorliegen, wird eher als Risiko angesehen. So haben sich z. B. Industrie-4.0-Anwendungen in benachbarten Abteilungen bewährt und werden dann von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Einführung in ihrem Verantwortungsbereich vorgeschlagen. (B4, Pos. 52) Eine interviewte Person beschreibt auch, dass es ein Risiko sein kann, auf vollkommen neue Technologien oder kleine, unbekannte Hersteller zu setzen. Dieses Risiko müsse dann zum Teil auch von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung selbst getragen werden:

Im Endeffekt haben wir eine halbe Million Lehrgeld bezahlt. Das kann auch passieren und das ist nicht schön als Projektleiter. Irgendwann musst du antreten und sagen: Ja, wir haben jetzt das gemacht und das funktioniert nicht und dann sagt keiner: Ja, passt schon. (B6, Pos. 42)

Es ist jedoch nicht immer so, dass eine Technologie oder eine Industrie-4.0-Anwendung nicht eingesetzt wird, weil das notwendige Wissen und Können noch nicht vorhanden ist. Der Einsatz einer Industrie-4.0-Anwendung könne auch mit dem Ziel erfolgen, den Umgang im Prozess der Arbeit zu erlernen.

Man stößt auf viele Widerstände. Ich habe das so gemacht, wir haben einfach ohne große Diskussion zu verschiedenen Softwarelösungen Piloten gemacht, mal klein, mal groß, aber wichtig war, das immer selbst zu tun und die Erfahrungen mit diesen Piloten zusammengetragen. ... Wenn man Leute überzeugen will, die Kompetenz ist nicht vorhanden, das ist ein Problem. (B7, Pos. 50)

Eine andere Person berichtet, dass sie ein Pilotprojekt mit Smartwatches in der Produktion gestartet haben. Sie wollten testen, ob die Technologie in ihrem Bereich überhaupt praktikabel eingesetzt werden könne. Die Mitarbeitenden in der Produktion waren anfangs skeptisch. Nachdem die Mitarbeitenden die Smartwatches selbst ausprobieren konnten, haben sie die Technologie nicht nur akzeptiert, sondern auch eigene Ideen entwickelt und Einsatzmöglichkeiten vorgeschlagen:

Ich sehe, dass da eine Lampe blinkt und dass ich da hingehen muss. Ich brauche die Information nicht am Handgelenk. Dann sage ich: Okay, probieren wir es doch trotzdem mal aus. Ja, Moment, so schlecht ist das ja gar nicht. Wenn ich zwischen den Anlagen irgendwo gerade bin und was rumschraube, bekomme ich gar nicht mit, wenn da irgendwas steht. Wenn ich das Signal direkt an meinem Handgelenk habe, dann bekomme ich es mit. Dann kann ich meine Reparaturtätigkeit kurz unterbrechen, die Anlage entstören, dass die wieder weiterläuft und dann wieder weitermachen. Dann hat es „Klick“ gemacht bei den Mitarbeitern. Dann spinnen die auch Ideen. Die sagen: Hey, kann ich über die Smartwatch auch einen Staplerfahrer rufen, dass mir der das nächste Kunststoffgranulat bringt? ²¹ (B8, Pos. 38)

Auch das Ausprobieren und Scheitern an einer Industrie-4.0-Anwendung kann wichtig sein, um wertvolle Erfahrungen zu sammeln. Eine Person erklärt, dass sie mit dem digitalen Zwilling einer Maschine experimentiert haben. Obwohl das Projekt nach einiger Zeit eingestellt wurde, sei es dennoch hilfreich gewesen, da der Umgang mit dieser Industrie-4.0-Anwendung geübt werden konnte. (B2, Pos. 76)

Ein weiterer Zusammenhang zeigt sich zwischen der Gestaltung technischer Systeme und dem im Bereich vorhandenen Wissen und Können im Umgang mit der Anwendung. Die interviewten Personen beschreiben anhand verschiedener Beispiele, dass bei der Einführung von technischen Systemen darauf geachtet werden muss, dass diese bedienbar bleiben. Die Systeme müssen für den Menschen verständlich sein, und auch die Kontrolle über das System müsse beim Menschen bleiben. Eine interviewte Person beschreibt, dass es bei der Einführung autonom arbeitender Systeme notwendig sei, dass die Menschen am Ende auch noch wissen, wie die Systeme funktionieren. Es gebe immer Einzelfälle, die nicht in einem Modell erfasst werden können. Der Mensch muss daher wissen, wann das System sich falsch verhält, und eingreifen können. (B11, Pos. 56) Vier der interviewten Personen beschreiben auch Beispiele und Situationen aus ihrer Erfahrung, in denen mangelnde Erfahrung und fehlende Fachkenntnisse im Umgang mit einem technischen System zu Schwierigkeiten im Produktionsablauf führen können (B2, B4, B6, B10). Eine der interviewten Personen beschreibt die Einführung eines automatisierten Lagersystems. Wenn das System ausfalle, dauere es sehr lange, bis es wieder in Betrieb genommen werden könne. Das System sei zu komplex. Nicht immer können sie die Fehler selbst beheben und müssen oft auf Servicepersonal vom Hersteller warten. Dies stelle sie in ihrem Bereich

21 Was hier natürlich auch betrachtet werden muss, ist, wie sich die Unterbrechungen durch die Benachrichtigungen der Smartwatch auf die Arbeit und die Arbeitsbelastungen der Mitarbeitenden auswirken. Wie verändert sich die Arbeitsbelastung durch die Benachrichtigungen und mögliche Arbeitsunterbrechungen? Führen die Unterbrechungen zu Ablenkungen und Fehlern bei der aktuellen Tätigkeit? Sinkt oder steigt dadurch insgesamt die Performance?

vor Herausforderungen. Ein Lagerstillstand führe direkt zu einem Produktionsstillstand. Bei einem Fehler im Lagersystem sei es auch nicht möglich, Material manuell aus dem Lager zu entnehmen.

Und das ist halt aus meiner Sicht auch schwierig. Wenn ich mich nur auf die Industrie 4.0 und auf die schöne digitale Welt verlasse, dann kann es passieren, dass man halt auch mal ein böses Erwachen hat. Man muss halt schon schauen, wie beim Tesla, da kann man auch nicht mit dem Autopiloten fahren, sondern man muss auch das Lenkrad noch weiterhin da haben, dass wir im Notfall eingreifen können. (B2, Pos. 100)

Aus Sicht dieser Person seien zwei Lösungen denkbar. Entweder müsse entsprechendes Wissen und Können aufgebaut werden, oder es müsse die Möglichkeit bestehen, manuell in das System einzugreifen. Eine andere interviewte Person erläutert in diesem Zusammenhang ein Automatisierungsrisiko bei vollautomatischen Anlagen. Sie beschreibt ein Beispiel bei einem Automobilhersteller: „Hochautomatisiert, können die Stückzahlen nicht liefern, weil zu komplex, kann kein Mensch bedienen.“ (B6, Pos. 66) An dieser Stelle zeigt sich auch das Verständnis der interviewten Personen für den wechselseitigen Zusammenhang zwischen dem Wissen und Können der Mitarbeitenden und der Gestaltung eines technischen Systems.

Als Zusammenhang zwischen Arbeit und Technik werden auch individuelle Erfahrungen und Sichtweisen zur Ersetzung von Arbeit durch Technik thematisiert. Mehrere interviewte Personen berichten von fahrerlosen Transportsystemen für einfache, sich wiederholende Transportaufgaben (B4, B5, B9). Eine Person berichtet, dass sie Leitungssätze mithilfe einer Software digital entwerfen und dann von einem Zulieferbetrieb anfertigen lassen oder mit einer eigenen Maschine automatisiert herstellen. Dadurch entfalle das Ablängen und Beschriften der Leitungen in der Fertigung. (B3, Pos. 24–26) Eine weitere Person berichtet, dass durch die Einführung eines kamera-basierten Montageassistenten ein manueller Prüfschritt bei der Endkontrolle entfallen konnte. Durch die Kontrolle der einzelnen Schritte mit einer Kamera könne ohne Endkontrolle sichergestellt werden, dass alles richtig montiert wurde. (B1, Pos. 78) Eine andere Person berichtet, dass es laufend Initiativen gibt, einzelne manuelle Arbeitsplätze zu automatisieren. Als Beispiele nennt die Person manuelle Sichtkontrollen oder die Automatisierung von Verpackungstätigkeiten. Sie führt weiter aus, dass es eine allgemeine Tendenz gibt, so viel manuelle Arbeit wie möglich zu automatisieren, um die Lohnkosten insgesamt zu senken. (B4, Pos. 56–59) Eine weitere Person erklärt, dass es meist eine reine Kostenentscheidung ist, ob eine Produktionsanlage mit manueller Arbeit oder eine vollautomatische Lösung realisiert wird. In manchen Fällen sei es nicht eindeutig, weil die Kosten für beide Lösungen ähnlich seien, dann gebe es eine Managemententscheidung. (B6, Pos. 66)

Trotz dieser Beispiele für die Ersetzung manueller Arbeit durch Industrie-4.0-Anwendungen wird von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung an vielen Stellen die Wichtigkeit der Auseinandersetzung mit dem Thema betont. Es sei nicht immer ratsam, einfach auf Technologien zu vertrauen und menschliche Arbeit zu ersetzen oder zu verändern. Dies gelte aus Sicht der Gestaltung

von Produktionssystemen, z. B. für Instandhaltungsaufgaben. Eine Person beschreibt, dass die Programmierung und Implementierung von Industrie-4.0-Anwendungen oft mit hohen Kosten verbunden ist. Als Beispiel wird die Stromüberwachung eines Roboters zur vorbeugenden Instandhaltung genannt. Sie haben das Konzept mehrmals versucht umzusetzen, seien aber bisher gescheitert. Gute Softwarelösungen seien hilfreich und könnten in Zukunft vermehrt eingesetzt werden. Das solle aber nur gemacht werden, wo es für den jeweiligen Anwendungsfall sinnvoll sei. (B6, Pos. 36)

Wobei, das kostet auch alles Geld. Also dann sitzt ja immer einer da und schreibt eine Programmierung, der überprüft das, dann stellt er fest: Oh, jetzt ist ein Fehler da. Manchmal muss man sich halt die Frage stellen: Na ja, vor zehn Jahren haben wir auch Teile produziert und Autos gebaut. (B6, Pos. 36)

Es werden Beispiele angeführt, bei denen die Fähigkeiten des Menschen der Automatisierungstechnik als überlegen angesehen werden und daher bewusst manuelle Arbeit gewählt wird.²² Eine Person berichtet auch von Transportaufgaben, die derzeit nicht von FTS übernommen werden können. Beispielsweise können Transporte direkt vom Wareneingang zur Produktionslinie nicht mit FTS durchgeführt werden. Auch können FTS nur ein bestimmtes Gewicht bewegen. Darüber hinaus müssen weitere Aspekte berücksichtigt und Mindestabstände eingehalten werden. Im Fokus stehen heute vorwiegend lange Strecken und einfache Aufgaben. (B4, Pos. 41–42) Eine andere Person beschreibt einen Teilarbeitsschritt der Endkontrolle von Gussteilen. Beim Gießen des Metalls können verschiedene Materialfehler auftreten. Daher müsse ein Mensch am Ende eine Sichtkontrolle durchführen. Eine Automatisierung dieser Sichtkontrolle mit einer Kamera sei aufgrund von Spiegelungen und Reflexion des Materials kaum möglich. Außerdem beschreibt die Person eine haptische Prüfung der Außenverkleidung von Personenkraftwagen, die nur von Menschen durchführbar sei:

Da stehen wirklich Leute da, die mit der Hand ohne Handschuhe Oberflächen anfassen und spüren, passt das oder passt das nicht, weil man kann es messen, ob es passt. Aber der Mensch hat einfach ein anderes Gespür und dann sagt der: Das fühlt sich aber nicht passend an und das ist aber entscheidend im Premium. Wenn sich das Leder nicht schön anfühlt – dieses eine – das kann die Maschine nicht feststellen, der Mensch aber schon. (B6, Pos. 68)

Es werden aber nicht nur Einzelbeispiele genannt, sondern auch allgemeine Erfahrungen und individuelle Sichtweisen zur Ersetzung von Arbeit durch Technik beschrieben. Eine interviewte Person erklärt, dass sie viel manuelle Arbeit einsetzen. Als Hintergrund erläutert die Person die Produktstruktur mit geringen Stückzahlen und hoher Varianz. Hier sei die Flexibilität des Menschen gefragt, sich schnell auf neue Produkte und Aufgaben einstellen zu können. Setze man in diesem Zusammenhang

22 Dabei ist zu beachten, dass der Mensch am Ende nicht nur die Resttätigkeiten ausführt, die nicht von Industrie 4.0-Anwendungen übernommen werden können. Vielmehr muss bewusst hinterfragt werden, welche Aufgaben vom technischen System und welche weiterhin vom Menschen ausgeführt werden sollen. Dies beschreiben beispielsweise auch Fischer et al. (2017b) für die Funktions- und Aufgabenteilung zwischen Mensch und Roboter.

dennoch auf Automatisierung und Digitalisierung, seien die Kosten unverhältnismäßig hoch. Deshalb verzichten sie häufig auf Automatisierung und Digitalisierung und setzen auf manuelle Lösungen. Es sei wichtig, darauf zu achten, dass Industrie-4.0-Anwendungen sinnvoll und nicht zum Selbstzweck eingesetzt werden. Automatisierung und Digitalisierung seien immer dann sinnvoll, wenn Prozesse vereinfacht, Stückzahlen erhöht oder monotone Tätigkeiten reduziert werden können. (B2, Pos. 68–72) Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind sich bewusst, dass auch bei einfachen Tätigkeiten das Ersetzen von Arbeit durch Technik nicht immer möglich und erstrebenswert ist. Eine Produktionsanlage mit einem höheren Anteil an manueller Arbeit sei einfacher zu planen und oft auch einfacher zu erweitern. „Die [Menschen] denken mit, die entwickeln ein Gespür für ihre Arbeit. Die machen die Arbeit dann oft sogar besser als Maschinen und können auch komplexe Wechsel einfach machen. (B6, Pos.66). Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nehmen die Ersetzung von Arbeit durch Technik als Betroffene und Gestaltende wahr, sehen darin aber auch eine Chance für die eigene Entwicklung:

Da hört man dann schon Stimmen laut werden, unten. Na, die nehmen uns alle die Arbeit weg und so was. Aber ich sehe das eher als Chance, weil diese ganzen Dinge, die muss ja auch irgendwie einer betreuen und entwickeln und so etwas. Wird halt dann schon etwas anspruchsvoller, die Arbeit, aber ich mein, wir wachsen ja auch an unseren Herausforderungen und Aufgaben. Deswegen sehe ich das eigentlich positiv. (B4, Pos.34)

Zwischenfazit zu individuellen Erfahrungen und Ansichten über Zweck und Wirkung des Technikeinsatzes

Insgesamt sind die Hintergründe für die Entscheidung für ein bestimmtes technisches System vielfältig. Einige interviewte Personen geben auch mehrere Gründe für die Auswahl an. Dabei spielen sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte eine wichtige Rolle. M. E. ist jedoch auffällig, dass es keineswegs nur technische oder wirtschaftliche Gründe sind, die bei der Entscheidung für ein bestimmtes technisches System berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Aspekt ist, ob die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung oder Personen aus ihrem Umfeld bereits Erfahrungen mit einem technischen System gesammelt haben. Darüber hinaus beschreiben die interviewten Personen auch das vorhandene Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion im Umgang mit dem System als wichtig. Grundsätzlich ist es wichtig, dass das erforderliche Wissen und Können bereits im Unternehmen vorhanden ist. Im Rahmen von Pilotprojekten kann die Einführung einer Anwendung jedoch auch dazu dienen, den Umgang mit einer vielversprechenden Technologie zu erlernen und Erfahrungen zu sammeln. Hinsichtlich des Ersetzens von Arbeit durch Technik werden in der Untersuchung verschiedene Perspektiven deutlich. Einerseits zeigen vielen Erfahrungen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, dass durch die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen manuelle Arbeit ersetzt wird. So werden z. B. einfache Aufgaben in der Produktionslogistik durch FTS ersetzt, oder Kamerasysteme in Verbindung mit Soft-

ware ersetzen manuelle Aufgaben zur Produktprüfung. Aus der Erfahrung und Sicht der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist die Bedeutung manueller Arbeit jedoch hoch. Es werden Beispiele aus der Variantenproduktion oder von nicht wiederholbaren Aufgaben aus der Logistik berichtet. Weiter wird berichtet, dass auch menschliche Fähigkeiten beispielsweise bei der Endkontrolle der Produkte der Automatisierungstechnik überlegen sind. Ein zu schneller Schluss wäre an dieser Stelle, dass es Zusammenhänge zwischen Auflagengrößen der Produkte und den individuellen Sichtweisen der interviewten Personen gibt. Das ist nicht der Fall. Sowohl interviewte Personen aus dem Bereich der Serienfertigung als auch aus der Massenfertigung berichten von der Relevanz manueller Arbeit. Auch nach den Vorstellungen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist eine Automatisierung aller Arbeitsprozesse in der Produktion derzeit nicht das Ziel. Die Unterstützung möglichst vieler Prozesse durch Technik schon eher. Aus Sicht der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung muss der Einsatz von Technik aber konkreten Zielen dienen. Welche Ziele dies genau sind, dazu gibt es unterschiedliche Ansichten.

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse und gestaltungsrelevante Überlegungen aus der Perspektive der Berufsbildungsforschung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die zweifache Problemstellung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende von Industrie 4.0 untersucht. In den vorangegangenen Kapiteln wurde über die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen dieser Beschäftigten berichtet. Diese Hinweise aus der Arbeitspraxis werden in diesem Kapitel zusammengefasst und mit möglichen gestaltungsrelevanten Aspekten aus Sicht der Berufsbildungswissenschaft verknüpft.

Ein zentrales Thema der Untersuchung sind die Erfahrungen von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit Industrie-4.0-Projekten. Diese Einführung neuer Technologien steht in engem Zusammenhang mit der zukünftigen Arbeit und Qualifikation in der Produktion. Die Entwicklungen sind daher u. a. auch von Interesse für die Forschung zu Arbeit und Technik.

Die Auswahl der Forschungsteilnehmenden erfolgte ohne Beachtung von beruflicher oder akademischer Bildung. Die in das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt einbezogenen Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung verfügen in neun von elf Fällen über einen Hochschulabschluss (Kapitel 4.1). Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind in Deutschland jedoch überwiegend beruflich qualifizierte Personen (Kapitel 2.1.2). Zumindest im Rahmen dieser Untersuchung scheint es, dass Industrie-4.0-Projekte häufiger von akademisch qualifizierten Personen durchgeführt werden. Auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Akademisierung in einzelnen Unternehmen und Be-

rufsgruppen der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Thies, 2023) erscheint dies bemerkenswert.

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung berichten in dieser Untersuchung über verschiedene Projekte zur Erfassung und Verwendung von Daten über das Produkt, den Produktionsprozess sowie Maschinen und Anlagen. Es werden neue MES eingeführt und Maschinen und Anlagen über Sensoren angebunden. MES sollen u. a. eine erweiterte Datenerfassung in der Produktion ermöglichen. Diese Daten des Produktes, des Produktionsprozesses sowie der Maschinen und Anlagen sollen die Rückverfolgbarkeit von Prozessen oder Einzelteilen des Produktes sicherstellen. Außerdem sollen durch die Aufbereitung der erfassten Daten Verbesserungspotenziale im Produktionsprozess identifiziert oder etwa optimale Eingriffszeitpunkte für eine vorbeugende Instandhaltung erkannt werden. Einige Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung setzen auch Verfahren der künstlichen Intelligenz ein. Ziel ist die Selbststeuerung einzelner Prozesse. Beispielsweise soll durch Bildklassifikation mit künstlicher Intelligenz die Produktqualität besser beurteilt werden können. Die Beschäftigten arbeiten mit der Modellbildung und Simulation von bspw. Produktionsprozessen und Materialflüssen. Verschiedene Montageassistenzsysteme werden in der Produktion eingeführt. Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung berichten über einen kamerabasierten Montageassistenten zur Unterstützung der Montage und Erfahrungen aus einem Projekt zum Einsatz von Datenbrillen in der Schaltschrankfertigung. Darüber hinaus werden Leichtbauroboter in die Produktion integriert. Diese Leichtbauroboter sollen die Mitarbeitenden in der Produktion bei einzelnen Arbeitsschritten unterstützen oder einzelne Aufgaben wie Schraubvorgänge autonom ausführen. Ein weiteres Themenfeld aus den Industrie-4.0-Projekten sind autonome Transportvorgänge und Materialversorgungskonzepte. Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung arbeiten in Projekten zur Einführung von FTS mit. Diese Systeme sollen Kleinladungsträger oder Paletten autonom zwischen verschiedenen Orten transportieren. Insgesamt deuten viele unterschiedliche Beispiele darauf hin, dass die interviewten Personen umfangreiche Erfahrungen mit der Gestaltung von Produktionssystemen auf dem Weg zu Industrie 4.0 gesammelt haben. Unter anderem wird auch über verschiedene Softwarelösungen berichtet, die bei Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung unterstützen sollen. Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung sind somit Gestaltende des Produktionssystems, aber auch ihrer eigenen Arbeit der Zukunft.

Die thematisierten Industrie-4.0-Anwendungen könnten auch als Fallbeispiele im Weiterbildungskonzept erläutert werden. Wichtig erscheint insbesondere die Auseinandersetzung mit den Einsatzmöglichkeiten der Robotik und der Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter. Eine interviewte Person erwähnt, dass ein Projekt zur Einführung eines Roboters aufgrund mangelnden Wissens über die Einsatzmöglichkeiten abgebrochen wurde. Für die Gestaltung der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter sind aus Sicht der Berufsbildungsforschung z. B. auch

Aspekte der Aufgabenverteilung oder der Qualifizierung zu berücksichtigen (u. a. Fischer et al., 2017b; Windelband & Dworschak, 2018).

Herausforderungen liegen im Umfeld der Sammlung und Verarbeitung von Daten. Daten sind oft nicht oder nur in unbrauchbaren Formaten verfügbar. Vorhandene Daten können häufig auch nicht ohne Weiteres in das benötigte Format umgewandelt werden. (Kapitel 4.2) Diese Herausforderung wird auch in der Forschung als relevante Problemstellung angesehen:

Die Schnittstellenproblematik nach innen und außen durch die unterschiedlichen Datenformate und -systeme sowie die Datensicherheit spielen eine große Rolle bei der betrieblichen Umsetzung von Industrie-4.0-Technologien und werden aufgrund der hohen Relevanz für eine funktionierende Produktion vorsichtig vorangetrieben. (Spöttl, 2018, S. 6)

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erkennen auch die Risiken der Datenerhebung und -verwendung und weisen darauf hin, dass bestimmte Diskussionen zum Thema Datenschutz berechtigt sind (Kapitel 4.2). Aus wirtschaftlichen Gründen erscheint es sinnvoll, möglichst viele Daten des Produktionssystems zu erfassen, aus Sicht des Schutzes personenbezogener Daten oder einer möglichen Überwachung gilt es, die technischen Möglichkeiten der Datenerfassung mit Bedacht einzusetzen. Die Entscheidung über die praktische Umsetzung muss im Einzelfall getroffen werden. Die Anerkennung der Tatsache, dass beide Perspektiven ihre Berechtigung haben, ist bemerkenswert und zugleich wichtig für den Perspektivenwechsel und sollte daher weiter gestärkt werden. Es ist wichtig, dass die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu einer gezielten Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Technik angeregt werden. Ebenso soll der Umgang mit unterschiedlichen Perspektiven und die Fähigkeit zum Perspektivenwechsel vertieft werden.

Auch für die Zukunft sehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Bereich der Datenerfassung und Datenverwendung weitere Anwendungspotenziale. Die Datenerfassung soll ausgeweitet und sicherer gestaltet werden. Die erfassten Daten sollen u. a. auch mit dem digitalen Abbild einer Produktionsmaschine verknüpft werden. Mit dieser digitalen Produktionsmaschine sollen Instandhaltungsprozesse verbessert werden. Auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz könnte weiter ausgebaut werden. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sehen auch FTS als immer wichtigeren Bestandteil der Fabrik. FTS könnten verwendet werden, um modulare Fertigungsinseln lose und flexibel miteinander zu verbinden. Hinter dem von einer interviewten Person beschriebenen Konzept verbirgt sich eine gezielte Veränderung der Organisation durch den Einsatz technologischer Mittel. Konkret erwähnt die interviewte Person auch den Verzicht auf Fließbänder und die Fertigung in Montageinseln. Dieses von der interviewten Person beschriebene Konzept ähnelt der Matrix-Produktion, die mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht wird. Mit dieser Art der Produktionsorganisation ist durch den Verzicht auf starre Fördertechnik und Taktung auch eine mögliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen gegenüber der klassischen Fließfertigung verbunden. (Greschke

& Herrmann, 2014) Diese Organisationsform könnte m. E. auch eine Art der Inselfertigung ermöglichen, wie sie z. B. von Blumenstein & Fischer (1991) beschrieben wird. In diesem menschenzentrierten Fabrikansatz werden teilautonome Arbeitsgruppen mit dem Konzept der Einzelfertigung kombiniert. Die einzelnen Inseln in der Produktion arbeiten weitgehend autonom, sowohl ausführende als auch planende und steuernde Aufgaben sind in der Insel angesiedelt. Es gibt keine strikte Trennung zwischen Kopf- und Handarbeit, sondern eine Aufgabenerweiterung in der Produktion (S. 21–30). Bei dieser neuen Organisationsform der Matrix-Produktion ist auch darauf zu achten, dass die Aufgaben in der Produktion erweitert werden und nicht angestrebt wird, die in der Produktion anfallende geistige Arbeit vollständig durch ein zentrales System zu ersetzen. Dies könnte die Aufgabenvielfalt und die intellektuellen Anforderungen an die Beschäftigten einschränken. Für die konkrete Praxis ist es wichtig, bei der Einführung neuer Organisationsformen auch bewusst über die Auswirkungen auf die Arbeit und die Qualifikation der Mitarbeitenden nachzudenken. Für die wissenschaftliche Gemeinschaft der Berufsbildungsforschung und der Forschung zu Arbeit und Technik erscheint es weiter relevant, die Veränderungen durch die Matrix-Produktion näher zu erforschen und mitzugestalten. Wie verändern sich in dieser neuen Organisationsform die Aufgaben, Handlungsspielräume und Qualifikationsanforderungen der Mitarbeitenden in der Produktion (und der technischen Produktionsplanung und -steuerung)?

Auch die von den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung genannten Industrie-4.0-Anwendungen für die Zukunft könnten geeignete Fallbeispiele für das Weiterbildungskonzept sein.

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie betrachtet. Im Folgenden wird zunächst die Perspektive als Betroffene der digitalen Transformation in der Industrie aufgegriffen. Es werden die Arbeitsaufgaben und die Herausforderungen, mit denen die Beschäftigten bei ihrer täglichen Arbeit konfrontiert sind, thematisiert. Darüber hinaus wird das für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung notwendige Wissen und Können beschrieben. Die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten sind sehr vielfältig. Sie wenden Methoden zur Gestaltung verschiedener Systemebenen von Produktionssystemen an. Auf den oberen Systemebenen analysieren und gestalten sie u. a. die Wertströme in der Fabrik. Auf tieferen Systemebenen werden einzelne Arbeitsplätze mit Methoden wie dem „Cardboard-Engineering“ gestaltet. Die Beschäftigten planen und gestalten Produktionssysteme. Dabei setzen sie z. B. auch Software zur Materialflusssimulation ein. Fabriklayouts werden entworfen und umgesetzt oder einzelne Anlagenteile beschafft und in die Produktion eingeführt. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind auch für die laufende Betreuung bestehender Produktionssysteme verantwortlich. In Abstimmung mit den Mitarbeitenden der Produktion und anderen Beteiligten lösen sie alltägliche Herausforderungen. Zu ihren Aufgaben gehört außerdem die Verbesserung der Produktionssysteme. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung führen darüber hinaus neue Technologien in die

Produktionssysteme ein. Ein Teil dieser Beschäftigten leitet Projekte zur Gestaltung hochautomatisierter Produktionsanlagen. Sie sind für den reibungslosen Ablauf der Projekte von der Anlagenkonzeption bis zur Inbetriebnahme und Stabilisierung der Produktion verantwortlich. Sie arbeiten an der Entwicklung oder Änderung von Produkten mit oder unterstützen beim Aufbau und Erhalt von Wissen und Können.

Diese Ausführungen zu den Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bestätigen die Ergebnisse von Frenz et al. (2016) und Baumhauer (2018) in Bezug auf die Aufgaben der Gestaltung von Technik und Arbeitsorganisation. Die vorliegende empirische Untersuchung gibt jedoch auch Hinweise darauf, dass folgende Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ebenfalls relevant sind:

- Aufgaben zur Abstimmung, Kommunikation und Präsentation
- Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können

Entgegen den Annahmen der Theorie und anderer empirischer Untersuchungen nehmen in der Praxis Aufgaben zur Abstimmung, Kommunikation und Präsentation einen hohen zeitlichen Umfang ein. In der Literatur finden sich Hinweise auf im weiteren Sinne vergleichbare Aufgabenbereiche. Frenz et al. (2016) weisen darauf hin, dass Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch Führungsaufgaben wahrnehmen (S. 36). Auch im Aufgabeninventar des AiKomPass wird „Aufgaben mit anderen Abteilungen koordinieren“ genannt. Die Ausführungen der interviewten Personen in dieser Untersuchung sind zu diesem Aufgabenkomplex jedoch wesentlich umfangreicher als in der Literatur dargestellt. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verstehen dies auch als ihre Aufgabe. Denn auch wenn die Lösung technischer oder arbeitsorganisatorischer Herausforderungen häufig in die unmittelbare Zuständigkeit dieser Beschäftigten fällt, sind sie in der Regel nicht diejenigen, die sie allein lösen. Sie binden Fachleute aus verschiedenen Bereichen ein, erarbeiten gemeinsam Strategien und Teilaufgaben und koordinieren die gemeinsame Lösung der Herausforderung. In der Folge ist die Umsetzung der Aufgaben zu verfolgen und bei Veränderungen eine gemeinsame Anpassung von Strategie und Aufgaben zu erwägen. Termine und Aufgaben müssen gemeinsam mit der Produktion und den Beteiligten abgestimmt und verfolgt werden. Außerdem muss der aktuelle Projekt- und Produktionsstatus vor verschiedenen Interessengruppen präsentiert und vertreten werden.

Wenig Beachtung in der Literatur und bisherigen empirischen Untersuchungen findet auch die Tatsache, dass Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wesentlich zur Qualifizierung anderer Beschäftigter beitragen. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung konzipieren und führen Trainings mit Mitarbeitenden in der Produktion durch, z. B. im Rahmen der Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung. Auch bei der Montage eines neuen Produkts begleiten sie die Mitarbeitenden in der Produktion. Für andere Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dokumentieren sie ihre Erfahrungen mit neuen Technologien. In der Literatur wird dies nur in einzelnen Aufgaben-

sammlungen erwähnt (Kapitel 2.1.1). Auch in der Systematik der Bundesagentur für Arbeit wird dies nur am Rande unter „27304 Technische Produktionsplanung – Hoch komplexe Tätigkeiten“ erwähnt: „Kommunikation und Wissenstransfer zwischen Projektbeteiligten gewährleisten und Kunden bei der Inbetriebnahme von Produkten und Anwendungen unterstützen“ (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 364). Auch in den bisherigen empirischen Untersuchungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind diese Aufgaben bislang weniger Gegenstand der Betrachtungen. Die empirische Untersuchung der vorliegenden Arbeit legt jedoch nahe, dass viele Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung Aufgaben in diesem Bereich wahrnehmen. In der vorliegenden Untersuchung gaben sieben von elf interviewten Personen an, dass sie Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können ausführen (Kapitel 4.4.1). Diese Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind für die Berufsbildungsforschung von besonderer Bedeutung. Bei der Anpassung von Technik oder Arbeitsorganisation in einem Produktionssystem muss auch die Qualifikation der Beschäftigten berücksichtigt werden, denn Technik, Arbeitsorganisation und Bildung/Kompetenz stehen in einem wechselseitigen Zusammenhang (Nierling et al., 2020, S. 178). Darüber hinaus wird durch die Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Förderung von Wissen und Können die Qualifikation der Mitarbeitenden gestärkt.

Bemerkenswert ist weiter, dass sich in der Praxis weniger Aufgaben identifizieren lassen, deren eigentliches Ziel die Gestaltung der Arbeitsorganisation ist. Die Gestaltung der Arbeitsorganisation scheint eher eine Folge anderer Gestaltungsprojekte zu sein, wie die Einführung einer neuen Technologie. Jedoch sind Arbeitsorganisation und Aufgabengestaltung wesentliche Einflussfaktoren einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung (u. a. Blumenstein & Fischer, 1991).

Insgesamt sind die Arbeitstage in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sehr abwechslungsreich. Die Beschäftigten können ihren Arbeitstag in der Regel selbst einteilen. Eine Ausnahme bilden Aufgaben zur Betreuung der Produktionssysteme, wie das Lösen von Störungen in der Produktion. Dabei handelt es sich in der Regel um Aufgaben, die kurzfristig erledigt werden müssen, um z. B. einen Produktionsausfall zu vermeiden. Die Herausforderungen im Arbeitsalltag liegen vorwiegend im Zeitmangel. Die Beschäftigten selbst wünschen sich mehr Zeit für Industrie 4.0-Projekte. Zudem fehlt es für die Umsetzung der Projekte an Fachleuten im Bereich der Informationstechnologie. Die Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verändern sich durch den zunehmenden Einsatz von Software in den Planungsprozessen. Das von Baumhauer (2018) berichtete Beispiel der Digitalisierung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, bei dem ein Teil der Teilnehmenden vor Ort ist und die anderen über einen Videokonferenzdienst zugeschaltet sind (S. 86), hat sich heute als gängige Praxis etabliert. Virtuelle Realität, künstliche Intelligenz oder digitale Schatten von Maschinen und Anlagen verändern auch die Aufgaben in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Gerade in Bezug auf neue Software zeigt sich, dass der Umgang mit neuer Software erlernt und geübt werden muss, dies aber für die Beschäftigten in der technischen Produktionspla-

nung und -steuerung keine Herausforderung darstellt. Sie eignen sich dieses Wissen und Können im Arbeitsprozess selbst an. Vereinzelt wünschen sich Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aber auch mehr Unterstützung beim Erlernen des richtigen Einsatzes und der Nutzung neuer Technologien.

Einem Aspekt muss jedoch mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden: Aufgaben, die bisher eine Präsenz in der Produktion erforderten, könnten in Zukunft zunehmend virtuell erledigt werden. Wichtig erscheint an dieser Stelle u. a. die Frage, wie sich dies auf die Verbindung von Planung und Produktion auswirkt. Bisherige Methoden der Gestaltung des Produktionssystems erfordern eine hohe Präsenz in der Produktion. Wenn heute z. B. eine klassische Wertstromanalyse durchgeführt wird, sind die Beteiligten in der Produktion und analysieren den Prozess vor Ort. Auch die Gestaltung der Arbeitsplätze erfolgt teilweise gemeinsam: Aus Kartons und Kisten wird ein Modell des Arbeitsplatzes gebaut und auf Praxistauglichkeit getestet. Diese Aufgaben könnten in Zukunft zunehmend mobil und ohne tatsächliche Präsenz in der Produktion erledigt werden. In diesem Zusammenhang sind auch die Hinweise einer möglichen Akademisierung des Berufs des „Industrial Engineer“ relevant. Die beruflich qualifizierten Beschäftigten sehen in der zunehmenden Akademisierung eine Gefahr:

Begründet wird diese kritische Haltung unter anderem damit, dass den AQ [akademisch qualifizierten Personen] der Bezug zur Linie, also wichtiges Erfahrungs- und Produktionswissen fehlt, welches man nicht im Studium lernen kann. Demnach ist es notwendig selber Erfahrungen „auf dem Hallenboden“ (Interview IE [Industrial Engineer]) gesammelt zu haben um die Perspektive der Fertigung einnehmen und einen guten Job machen zu können. So wird unter anderem die Erfahrung durch „er weiß wovon er spricht“ (Interview IE) als positiv für die Akzeptanz der Rolle bewertet. Der Aufbau von Erfahrungen ist auch für die Ausführung der Rolle bedeutsam, so kann man den Job nicht durch formale Qualifizierungen, sondern nur durch Erfahrungslernen erlernen. Reine Simulationen durch die Digitalisierung werden daher kritisch gesehen, da der Bezug zu den Menschen verloren geht. (Thies, 2023, S. 12)

Nicht nur die beruflich qualifizierten Beschäftigten sehen einen Verlust dieses Erfahrungswissens, auch die Beschäftigten mit betrieblicher Entscheidungsbefugnis stimmen dem zu:

Einschränkend wird von den CI [Beschäftigten mit betrieblicher Entscheidungsbefugnis] jedoch auch betont, dass durch die Akademisierung der Berufsgruppe ein Verlust des Erfahrungswissens – konkret Produkt- und Prozesswissen – einhergeht. So verfügen BQ [beruflich qualifizierte Personen] über Wissen aus der Produktion und können dieses für die Zusammenarbeit mit den Beschäftigten der Montagelinie nutzen. (Thies, 2023, S. 14)

Meines Erachtens stellt sich die Frage, wie sich das Wissen und die Erfahrung über die Produktionsprozesse und -arbeit der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung langfristig verändern wird. Außerdem stellt sich die Frage, wie sich diese Veränderungen auf die Zusammenarbeit mit den Mitarbeitenden in der Produktion auswirken. Diese Veränderungen und Zusammenhänge bieten Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten.

Während es für die Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung Anknüpfungspunkte an vorhandene Untersuchungen in dieser Berufsuntergruppe gibt, liegen zu Wissen und Können der Beschäftigten wenig fundierte Erkenntnisse vor. Da es sich bei den Berufen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung um Erwerbsberufe handelt, ist bisher wenig über das Wissen und Können dieser Beschäftigten bekannt (Kapitel 2.1.2). Auch die in den vergangenen Jahren umfangreich durchgeführten Studien zu den Veränderungen beruflicher Anforderungen durch Industrie 4.0 liefern nur übergreifende Aussagen, keine spezifischen Erkenntnisse für einzelne Berufsgruppen (Kapitel 2.2.2). Die vorliegende empirische Untersuchung gibt Hinweise darauf, welches Wissen und Können die Beschäftigten benötigen und wie sie sich dieses Wissen und Können aneignen. Eine wichtige Voraussetzung für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie ist das Interesse und die Freude der Beschäftigten am Umgang mit neuen Technologien. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung lernen den Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen in der Regel selbstorganisiert. Eine häufig beschriebene Vorgehensweise zum Aufbau von Wissen und Können zu neuen Technologien ist das direkte Ausprobieren an den Anwendungen. In vielen Fällen greifen die Beschäftigten auch auf die Unterstützung durch Fachleute der einzelnen Systeme zurück. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sehen Überblickswissen in verschiedenen technologischen Fachgebieten und Wissen über Industrie-4.0-Anwendungen aus der Praxis als notwendig an. Weiter erscheint auch ein Grundverständnis im Bereich der Softwareentwicklung wichtig. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung müssen dieses technologische Überblickswissen mit überfachlichen Fähigkeiten verbinden. Relevant ist in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu vermitteln. Kirchherr et al. (2018) bezeichnen „Tech-Translation“ als die Fähigkeit, die es erlaubt, zwischen Fachleuten und involvierten Nicht-Fachleuten zu moderieren (S. 6). Im Gegensatz zum Begriff der Moderation, bei dem sich die moderierende Person weniger in die inhaltliche Entscheidungsfindung einmischen sollte, müssen sich die Beschäftigten in der Produktionsplanung und -steuerung aktiv an Inhalt und Prozess der Entscheidungsfindung beteiligen. Dabei gilt es auch, mit teilweise konkurrierenden Zielen und Perspektiven umzugehen und dennoch eine für alle akzeptable Lösung zu erarbeiten. Sie müssen in der Lage sein, sich mit diesen Personen fachlich über die Produktion und technologische Details auszutauschen. Es gilt, die Anwendungen den verschiedenen Interessengruppen zu erläutern, ihre Vorstellungen zu berücksichtigen oder sie von den Einsatzmöglichkeiten zu überzeugen. Die Beschäftigten benötigen außerdem Fähigkeiten zur Organisation von Aufgaben und Projekten. Die Fähigkeit zur gemeinsamen Problemlösung scheint ebenfalls eine wichtige Rolle zu spielen.

Eine spezifische Förderung von technologischem Wissen und Können erscheint weniger relevant. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung benötigen technologisches Überblickswissen, das sie aber bereits durch ihre berufliche Vorbildung erworben haben. Es ist jedoch notwendig, dass die Beschäftigten mehr

praktische Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen kennenlernen und diese auch mit Fachpersonal diskutieren können. Für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist vor allem auch die Verknüpfung von technologischem Wissen und Können mit fachübergreifenden Fähigkeiten von Bedeutung. Die Fähigkeit, als Schnittstellenfunktion zu wirken und unterschiedliche Perspektiven und Ziele der verschiedenen Beteiligten zu berücksichtigen, sollte weiter vertieft werden. Darüber hinaus ist es wichtig, sich die Zukunft des eigenen Produktionssystems mit Industrie-4.0-Anwendungen vorzustellen und bewusst zu überlegen, was mit Technologie erreicht werden soll. Die Beschäftigten sollten weiter darin unterstützt werden, aus einem abstrakten Ziel ein Projekt abzuleiten und dieses eigenständig von der Idee bis zur tatsächlichen Umsetzung voranzubringen. Es gilt, die richtigen Beteiligten geschickt einzubinden, Ideen und Feedback zu sammeln und sich schrittweise dem Ziel zu nähern.

Die Gründe, warum eine bestimmte Technologie oder ein bestimmter Hersteller für eine Anwendung eingesetzt wird, sind in der Regel vielschichtig. Die Auswahlentscheidungen basieren zum Teil auf technischen Anforderungen oder der Steigerung der Effizienz. Eine wichtige Rolle spielen aber auch andere Faktoren. Erfahrung im Umgang und das Vertrauen in eine Technologie oder einen Hersteller sind ein wesentliches Kriterium für die Auswahlentscheidung. Weiter benötigen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch entsprechendes Wissen und Können, um zu erkennen, ob sich eine Technologie für eine Anwendung eignet. Ist entsprechendes Wissen und Können nicht vorhanden, kann beispielsweise kein passender Anwendungsfall für einen vorhandenen Leichtbauroboter gefunden werden. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nehmen die Ersetzung von Arbeit aus der Perspektive der Betroffenen wahr, sehen darin aber auch die Chance, sich selbst weiterzuentwickeln.

Neben dieser Perspektive als Betroffene sind die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie. Im Folgenden wird die Perspektive als Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie aufgegriffen. Ein Gegenstand der Forschung zu Arbeit und Technik ist u. a. der soziale Ort der Gestaltung: „Die auf die sozialen Orte der Akteure der ‚Arbeit und Technik‘-Gestaltung verteilte Macht, die dort verfügbaren Qualifikationen, die jeweiligen Interessen und Verantwortlichkeiten prägen die Gestaltungsprozesse“ (Rauner, 2018, S. 569). Die vorliegende Untersuchung erweitert das Wissen über diese sozialen Orte der Gestaltung um Aspekte aus der Perspektive der Gestaltenden. Die Gestaltung der Arbeit im Hinblick auf die körperlichen und mentalen Anforderungen des Menschen ist nach Ansicht der interviewten Personen nur zum Teil Aufgabe der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Häufig werden andere Fachfunktionen genannt, die unterstützend eingebunden sind oder deren eigentliche Aufgabe es ist, diese Rahmenbedingungen sicherzustellen. Bei Fragen zur Arbeitsgestaltung gab es häufig Rückfragen zur Klärung des Verständnisses oder der eigentlichen Ziele der Fragestellung. Auch wenn sie nicht immer formal für die Berücksichtigung der Arbeitsbedingungen in der Produktion verantwortlich

sind, lässt die empirische Untersuchung erkennen, dass die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dieses Kriterium dennoch in ihre Überlegungen zur Gestaltung des Produktionssystems einbeziehen. In den Interviews wurde ausführlich über die Anpassung der Technik zur Verringerung körperlicher Belastungen gesprochen. Es werden verschiedene Beispiele angeführt, wie Produktionsanlagen an unterschiedliche menschliche Körpergrößen angepasst oder körperliche Beanspruchungen in der Produktion reduziert werden können. Es werden auch systematische Vorgehensweisen beschrieben, um Schwachstellen in Produktionssystemen hinsichtlich dieser körperlichen Belastungen zu identifizieren. Darüber hinaus lassen die individuellen Sichtweisen der interviewten Personen die Annahme zu, dass sie nicht nur auf die Reduzierung rein körperlicher Belastungen achten, sondern in gewissem Umfang auch mentale Belastungen und eine lernförderliche Arbeitsplatzgestaltung für sie von Bedeutung sind. Die Personen berichteten, dass darauf geachtet werden muss, dass die Mitarbeitenden in der Produktion auch an einem schlechten Tag in der Lage sein müssen, die Arbeit zu erledigen. Dies muss bei der Gestaltung des Produktionssystems berücksichtigt werden. Bei der Gestaltung des Produktionssystems sind nicht nur die messbaren Größen der menschengerechten Arbeitsgestaltung zu berücksichtigen, sondern auch die weniger messbaren Größen, wie ein positives und lebendiges Arbeitsklima. Auch die Schlussfolgerung, dass die Gestaltung des Produktionssystems zum Arbeitsklima beiträgt, ist in diesem Zusammenhang bedeutsam. Ebenso zeigt die Weiterbildung einer Person in Eigeninitiative zur Erstellung benutzerfreundlicher Software, dass nicht nur technische und wirtschaftliche Aspekte bei der Gestaltung des Produktionssystems relevant sind, sondern auch Aspekte einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung. Diese individuellen Einstellungen und Handlungen lassen darauf schließen, dass an verschiedenen Stellen auch auf die mentalen Arbeitsbedingungen und die Lernförderlichkeit der Arbeit geachtet wird. Insgesamt sollte dieser Aspekt weiter gefördert werden, insbesondere vor dem Hintergrund einer möglichen Zunahme mentaler Belastungen durch die fortschreitende Digitalisierung (Kapitel 2.2.1).

Bei der Auswahl einer bestimmten Technologie zeigt sich auch ein wechselseitiger Zusammenhang mit dem Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion. So achten die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung beispielsweise darauf, dass Wissen und Können zu den einzusetzenden Technologien im Unternehmen vorhanden ist. Es wird davon berichtet, dass ein preisgünstigeres Angebot abgelehnt wurde, weil die Systeme nicht integriert oder im laufenden Betrieb nicht betreut werden können. Bei der Auswahl einer Technologie oder eines Herstellers ist auch der wechselseitige Zusammenhang zwischen Technik und Arbeitsgestaltung von Relevanz. So wurde in einem vorgestellten Projekt der Einsatz von Datenbrillen auch aufgrund einer Belastung für die Mitarbeitenden nach ausführlichen Tests überdacht und die Anwendung stattdessen mit Tablets realisiert. Die von Minow (2021) herausgearbeiteten unterschiedlichen Auswirkungen digitaler Assistenzsysteme (S. 189) werden somit auch in der Praxis wahrgenommen und bei der Auswahl einer Industrie-4.0-Anwendung berücksichtigt.

Von großer Bedeutung ist auch die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an der Gestaltung ihrer Arbeit. Wie können Beschäftigte aus anderen Berufsgruppen wissen, wie die Mitarbeitenden in der Produktion in Zukunft arbeiten wollen (Fischer, 2022a)? Die interviewten Personen erachten die Einbindung der Mitarbeitenden aus der Produktion als bedeutungsvoll. Ähnliche Feststellungen machen auch Pfeiffer et al. (2018) in einer Befragung von Mitarbeitenden aus dem Engineering in einem Automobilwerk. In der vorliegenden Untersuchung konnten auch Aktivitäten zur Beteiligung identifiziert werden, die von den Mitarbeitenden in der Produktion ausgehen. Ideen für Einsatzpotenziale von FTS kommen teilweise direkt aus der Produktion. Es wird von Mitarbeitenden aus der Produktion berichtet, die sich für den Einsatz von Smartwatches begeistern und Ideen für weitere Anwendungspotenziale einbringen. Was in diesem Kontext vielleicht noch wichtiger ist: Genau hier sieht diese interviewte Person einen der entscheidenden Schritte auf dem Weg zu Industrie 4.0. Jedoch werden – wie auch Pfeiffer et al. berichtet – auch in dieser Untersuchung in vielen Fällen die Mitarbeitenden aus der Produktion erst spät in den Gestaltungsprozess einbezogen. Ein frühzeitiger Einbezug der Mitarbeitenden aus der Produktion scheint von hoher Bedeutung für die Arbeit der Zukunft (Kapitel 2.2.1). Neben den von Pfeiffer et al. genannten innovativen Beteiligungsformaten erscheint m. E. auch die von einer interviewten Person angesprochene Simulation von Produktionslinien und deren Darstellung mittels virtueller oder erweiterter Realität eine Möglichkeit, Mitarbeitende aus der Produktion früher in den Gestaltungsprozess einzubeziehen. Auch Brödner & Oehlke (2018) sehen diese Anwendungen als vielversprechend für die Arbeitsgestaltung an. Es könnte die Einflussnahme von Mitarbeitenden aus der Produktion erweitern und die Genese erster Erfahrungen mit der Produktionsanlage im virtuellen Stand der Anlage ermöglichen. (S. 565) Die Gestaltung der digitalen Transformation in der Industrie erfolgt nicht ausschließlich top-down. Die Beschäftigten in der technischen Produktplanung und -steuerung bringen ihre Ideen ein, aber auch die Mitarbeitenden in der Produktion gestalten teilweise mit. Beide Aspekte müssen im Weiterbildungskonzept vertieft werden. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung sollen weiter befähigt werden, eigene Ideen von der Ideenfindung bis zur Umsetzung zu begleiten, und auch dazu angeregt werden, die Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltungsprozesse zu fördern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie sind die Erfahrungen und individuellen Sichtweisen der Gestaltenden auf das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wirken bei der Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion mit Industrie-4.0-Anwendungen mit. Bemerkenswert ist auch die Aussage einer interviewten Person, dass den Mitarbeitenden in der Produktion im Rahmen von Schulungen oder Unterweisungen nicht nur die eigentlichen Arbeitsabläufe gezeigt werden müssen, sondern auch tiefere Einblicke in das System. Die Mitarbeitenden in der Produktion sollen befähigt werden, über die Umsetzung der Industrie-4.0-Anwendung nachzudenken, Optimierungspotenziale selbstständig zu erkennen und zu bewerten. Auch

bei anderen Themen unterstützen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung den Aufbau von Wissen und Können in der Produktion. Die Qualifizierung findet häufig direkt an den Systemen oder Anwendungen statt. Wie auch Pfeiffer et al. (2018) für Beschäftigte aus dem Engineering berichten, erachten die meisten Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion als wichtig.

Das Wissen und Können der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Qualifizierung von Mitarbeitenden in der Produktion muss weiter gefördert werden. Sie sollten in pädagogischen Grundlagen und auch in praktischen Handlungsweisen zur Gestaltung und Durchführung von Trainings gefördert werden.

Es gibt Bemühungen, menschliche Arbeit durch Technik zu ersetzen. Dies konnte auch in verschiedenen Industrie-4.0-Projekten festgestellt werden. Es werden manuelle Sichtprüfungen durch Kamerasysteme ersetzt, einfache Transportaufgaben von FTS übernommen oder auch die bisher manuelle Arbeit der Konfektionierung von Leitungen an eine Maschine übertragen. Andererseits wird auch von hohen Investitionskosten für den Einsatz von Technik berichtet und der Flexibilität manueller Arbeit weiter ein hoher Stellenwert zugeschrieben. Im Zusammenhang mit Kompetenz und Technik wurde auch darauf hingewiesen, dass der Mensch nicht immer durch Technik ersetzt werden soll und kann. In der empirischen Untersuchung wird von Aufgaben in der Produktion berichtet, die einen erfahrenen Blick oder ein Gespür erfordern. Diese Aufgaben sollen und können nicht durch Technologie ersetzt werden. Weiter sprechen die interviewten Personen davon, dass es in der Produktion immer Situationen geben wird, die nicht deterministisch geplant werden können. Es ist beispielsweise bei der Einführung von autonom agierenden Anwendungen notwendig, dass die Menschen am Ende noch wissen, wie die Systeme funktionieren. Es gibt immer Einzelfälle, die in einem Modell nicht zu erfassen sind. Der Mensch muss daher wissen, wann das System fälschligt und eingreifen können. Diese Notwendigkeit scheint sich durch Erfahrungen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit dem sogenannten Automatisierungsparadox zu bestätigen. Es wurde davon berichtet, dass Anlagen in Produktion und Logistik so umfangreich mit neuer Technologie ausgestattet wurden, dass die Systeme am Ende von den vorhandenen Mitarbeitenden nicht mehr bedient werden konnten. Störungen von Logistiksystemen, die von den Mitarbeitenden vor Ort nicht gelöst werden können und keinen manuellen Eingriff zulassen, unterbrechen und bestimmen womöglich zum Teil den Produktionsprozess. Die Erfahrungen der interviewten Personen zeigen die Notwendigkeit, darauf zu achten, dass die Technik für den Menschen bedienbar bleibt. Eine der interviewten Personen zieht den Schluss: Es ist entscheidend, von Anfang an entsprechendes Wissen und Können nahe am Ort des Geschehens aufzubauen oder die Systeme so zu gestalten, dass ein manueller Eingriff jederzeit möglich ist. Die interviewten Personen bringen auch immer wieder die Relevanz des für sie nachvollziehbaren Sinns des Technikeinsatzes in die Interviews ein. Sie merken an, dass Industrie-4.0-Technologien nicht zum Selbstzweck eingesetzt werden dürfen. Industrie-4.0-Technologien

müssen dann eingesetzt werden, wenn etwa Abläufe vereinfacht, der Stückzahloutput erhöht oder monotone Tätigkeiten reduziert werden können. Hier gilt es anzuknüpfen und die Idee weiterzuentwickeln. Mit der Einführung neuer Technologien in die Produktionssysteme sollen neben wirtschaftlichen Zielen auch die Arbeitsbedingungen in der Produktion verbessert und ein lernförderliches Umfeld für die Mitarbeitenden in der Produktion geschaffen werden. Wie dies im Kontext der Gestaltung von Produktionssystemen auf dem Weg zu Industrie 4.0 genauer gesagt im konkreten Fall eines spezifischen Industrie-4.0-Projektes in der Praxis aussehen kann, gilt es in der Situation bewusst zu überlegen. In der Praxis gibt es unterschiedliche Auffassungen über den Einsatz der Technik und die Gestaltung der Produktionssysteme. M. E. ist vorwiegend wichtig, bewusst darüber nachzudenken, wie Technik eingesetzt wird und welche Folgen ihr Einsatz haben könnte.

Diese empirische Untersuchung wurde mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung durchgeführt, die selbst schon Erfahrung mit Industrie-4.0-Projekten gesammelt haben. Das war eine Voraussetzung für die Auswahl der interviewten Personen. Die dargestellten Ergebnisse könnten einen hohen Umsetzungsstand von Industrie 4.0 implizieren. Es kann mit dieser Untersuchung jedoch kaum ein Schluss auf die tatsächliche Durchdringung der Industrie mit diesen Technologien und Paradigmen getroffen werden. Für diese qualitative Untersuchung wurde bewusst ein enger Ausschnitt aus vergleichsweise weit fortgeschrittenen Bereichen gewählt.

5 Ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung

5.1 Gestaltungsprinzipien für die betriebliche Weiterbildung von Betroffenen und Gestaltenden der digitalen Transformation in der Industrie

Bei der Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes steht die Beantwortung der Frage im Mittelpunkt: Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein?

Es wurde ein Leitfaden und Gestaltungsprinzipien für die Erstellung und Detailplanung von Weiterbildungsmaßnahmen erarbeitet. Dieser Leitfaden richtet sich u. a. an die Akteure im Bereich der betrieblichen Bildung. Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit Erfahrungen aus Industrie-4.0-Projekten wurden als Forschungsteilnehmende in den Forschungs- und Entwicklungsprozess einbezogen. Auf diese Weise konnten Informationen über ihre Erfahrungen und ihre individuellen Sichtweisen auf die zweifache Problemstellung als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie gewonnen werden. Das Weiterbildungskonzept für die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurde auf Basis wissenschaftlicher Literatur, der aktuellen Arbeitspraxis und den Veränderungen im Hinblick auf die digitale Transformation in der Industrie erstellt. Es soll die Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende gleichermaßen unterstützen. Die primären Adressaten des Weiterbildungskonzeptes sind Beschäftigte dieser Berufsuntergruppe, die noch keine oder wenig Erfahrung mit Industrie-4.0-Projekten haben. Insgesamt wurden mit dieser Untersuchung Ausschnitte gezeigt, in denen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung einen hohen Beitrag zur Gestaltung der Produktionssysteme leisten. Auch wenn sie sicher nicht alle Entscheidungen treffen, lassen sie dennoch ihre Erfahrungen und individuellen Sichtweisen in die Gestaltung der Produktionssysteme und der Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion einfließen. Das Weiterbildungskonzept soll auch einen Beitrag zur menschenzentrierten Gestaltung von Arbeit und Technik leisten. So sollen an verschiedenen Stellen Impulse gesetzt werden, die ein Bewusstsein für die menschenzentrierte Gestaltung von Arbeit und Technik schaffen. Darüber hinaus soll das Gestaltungswissen der Beschäftigten in der Produktionsplanung und -steuerung in diesem Zusammenhang vertieft werden. Durch das Weiterbildungskonzept sollen die Beschäftigten befähigt werden, die Produktion auf dem Weg der digitalen Transfor-

mation in der Industrie bewusst und ganzheitlich mitzugestalten. Deswegen sind Lernelemente zur Gestaltung aus den Perspektiven Technik, Arbeitsgestaltung, Bildung/Kompetenz sowie der Schnittstellen enthalten.

Vor der Entwicklung einer kontextspezifischen Lösung für die praktische Problemstellung empfehlen Euler & Sloane (2018) die Festlegung von Gestaltungsprinzipien (S. 784). Auf der Grundlage der wissenschaftlichen Literatur, der Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung und mit Impulsen für eine menschenzentrierte Gestaltung von Arbeit und Technik wurden erste Gestaltungsprinzipien als ein Rahmen für dieses Weiterbildungskonzept erarbeitet. Ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie sollte u. a. die in Tabelle 23 aufgeführten Gestaltungsprinzipien berücksichtigen.

Tabelle 23: Gestaltungsprinzipien für die Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Quelle: Eigene Darstellung)

Entwurf von Gestaltungsprinzipien
<ol style="list-style-type: none"> 1. Es kommt nicht allein auf technologisches Wissen und Können an. Vielmehr muss anhand von Praxisbeispielen aufgezeigt werden, wie Industrie-4.0-Anwendungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher betrieblicher/gesellschaftlicher Interessen konkret im Betrieb gestaltet werden können und welche Auswirkungen dies jeweils hat. 2. Fachübergreifende Fähigkeiten sind zu berücksichtigen. Dazu gehören u. a. soziale Fähigkeiten, organisatorische Fähigkeiten, die Fähigkeit zur Problemlösung und die Fähigkeit zwischen verschiedenen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu moderieren. 3. Die Fähigkeiten zur Initiierung und Steuerung von Gestaltungsprozessen als Schnittstelle zwischen Produktion und anderen Beteiligten müssen weiter entwickelt werden. 4. Das Wissen und Können für das Training und die Unterweisung der Mitarbeitenden in der Produktion muss weiter entwickelt werden. 5. Die Teilnehmenden sollen in die Lage versetzt werden, eine Zielvorstellung (mit Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz als (wechselseitig) zusammenhängende Perspektiven) des eigenen Produktionssystems mit Industrie-4.0-Technologien zu entwickeln. 6. Die Teilnehmenden sollen frühzeitig ein eigenes Projekt zur Gestaltung des Produktionssystems in ihrem Verantwortungsbereich konzipieren und umsetzen. 7. Selbstständiges Erarbeiten von Lerninhalten und Phasen des Austausches mit den anderen Teilnehmenden und der Trainingsleitung sind zu kombinieren. 8. Es müssen Lernelemente im Prozess der Arbeit und durch eigenes Erleben integriert werden.
Impulse zu einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung
<ol style="list-style-type: none"> 9. Die Teilnehmenden sollen dazu angeregt werden, über den Zweck des Technikeinsatzes nachzudenken. 10. Das Wissen über die Gestaltung der Arbeitsorganisation muss erweitert werden. Mentalen Belastungen, aber auch lernförderlichen Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion muss mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. 11. Die Teilnehmenden sollen dabei unterstützt werden, die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an den Gestaltungsprozessen frühzeitig zu initiieren.

Im Folgenden werden die Gestaltungsprinzipien begründet und genauer erläutert.

1) Es kommt nicht allein auf technologisches Wissen und Können an. Vielmehr muss anhand von Praxisbeispielen aufgezeigt werden, wie Industrie-4.0-Anwendungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher betrieblicher/gesellschaftlicher Interessen konkret im Betrieb gestaltet werden können und welche Auswirkungen dies jeweils hat.

Ein Gedanke des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes ist es, die Akteure – die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung – in den Mittelpunkt zu stellen. Aus diesem Grund müssen in erster Linie auch ihre Wünsche und Bedürfnisse berücksichtigt werden. Breit angelegte Untersuchungen zu den Veränderungen beruflicher Anforderungen vor dem Hintergrund der digitalen Transformation in der Industrie deuten darauf hin, dass unterschiedliches technologisches Wissen und Können in Zukunft immer wichtiger wird (Kapitel 2.2.2). Für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung scheint technisches Grundwissen aus Berufsbildung oder Studium ausreichend. Was aus Sicht der Beschäftigten fehlt, ist das Wissen über konkrete praktische Anwendungsbeispiele von Industrie 4.0. (Kapitel 4.4.2) Im Rahmen einer Weiterbildungsmaßnahme ist daher die Vorstellung und Erläuterung verschiedener Industrie-4.0-Anwendungen in der Praxis wichtig. Wichtig erscheint an dieser Stelle vor allem auch der Besuch anderer Produktionsstätten und der Austausch mit anderen Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung über Industrie-4.0-Anwendungen in der Produktion vor Ort (Kapitel 5.3).

2) Fachübergreifende Fähigkeiten sind zu berücksichtigen. Dazu gehören insbesondere soziale Fähigkeiten, organisatorische Fähigkeiten, die Fähigkeit zur Problemlösung und die Fähigkeit zwischen verschiedenen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu moderieren.

Im Gegensatz zu technologischem Wissen und Können zeigen sich bei fachübergreifendem Wissen und Können eine größere Übereinstimmung mit breit angelegten Studien zu Veränderungen beruflicher Anforderungen im Kontext des digitalen Wandels in der Industrie. Wie in den breit angelegten Studien scheinen auch in der technischen Produktionsplanung und -steuerung fächerübergreifende Fähigkeiten zukünftig immer wichtiger (Kapitel 2.2.2). Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung beschreiben vorwiegend soziale Fähigkeiten, organisatorische Fähigkeiten und Fähigkeiten zur Problemlösung als wichtig für ihre Arbeit. (Kapitel 4.4.2) Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung müssen Informationen aus der Produktion verstehen und nachvollziehbar auch an Nichtfachleute kommunizieren können. Wichtig erscheint auch die Aushandlung verschiedener Aspekte zwischen den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung und den beteiligten Fachleuten und Nicht-Fachleuten. Für die Anforderungen an die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung muss dieses Konzept noch weiter gedacht werden. So beschreibt eine interviewte Person die Notwendigkeit, eine Person zu haben, die die Fachleute der künstlichen Intelligenz und der Produktionstechnologie versteht, zwischen ihnen vermittelt und in der Lage ist, eine gute Entscheidung für die Produktion herbeizuführen (Kapitel 4.4.2).

3) Die Fähigkeiten zur Initiierung und Steuerung von Gestaltungsprozessen als Schnittstelle zwischen Produktion und anderen Beteiligten müssen weiter entwickelt werden.

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben häufig eine Schnittstellenfunktion zwischen der Produktion und anderen Beteiligten oder Interessengruppen. Sie müssen sich mit verschiedenen Personengruppen abstimmen, z. B. mit Mitarbeitenden in der Produktion, mit Zulieferbetrieben, mit Fachleuten aus der Informationstechnologie oder mit dem Management. (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2) Sie haben großen Einfluss auf die Gestaltung des Produktionssystems und damit auch auf die Arbeit, die Handlungsspielräume und das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion (Kapitel 4.5). Die Aufgabe besteht auch darin, die Anforderungen der Produktion nach außen zu vertreten. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung müssen in der Lage sein, eine aktive Rolle in der Problemlösung zu übernehmen und gemeinsame Entscheidungen in heterogenen Gruppen zu erarbeiten.

4) Das Wissen und Können für das Training und die Unterweisung der Mitarbeitenden in der Produktion muss weiterentwickelt werden.

Die Beschäftigten wirken wesentlich an der Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion mit. Sie qualifizieren Mitarbeitende in der Produktion zu Industrie-4.0-Anwendungen, aber auch zu anderen Themen wie neuen Prozessen oder der Montage neuer Produkte. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verfügen in der Regel über eine technische Bildung (Kapitel 2.1.2). Dies trifft auch auf die in dieser Studie interviewten Personen zu (Kapitel 4.1). Über pädagogische Zusatzqualifikationen verfügen diese Beschäftigten nur teilweise, z. B. Personen mit Meisterprüfung über die darin integrierte „Ausbildung der Ausbilder (ADA)“. Für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind daher Zusatzqualifikationen zur Gestaltung von Trainings und Unterweisungen erforderlich.

5) Die Teilnehmenden sollen in die Lage versetzt werden, eine Zielvorstellung (mit Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz als (wechselseitig) zusammenhängende Perspektiven) des eigenen Produktionssystems mit Industrie-4.0-Technologien zu entwickeln.

Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung weisen auf die Bedeutung der Entwicklung einer Zielvorstellung für das eigene Produktionssystem mit Industrie-4.0-Anwendungen hin (Kapitel 4.4.2). Ebenso ist es wichtig, dass sich die Beschäftigten mit den Abläufen, Prozessen und der Arbeit in der eigenen Produktion auseinandersetzen. Das Wissen über die eigene Produktion ist aus Sicht der Praxis wichtig für die Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0 (Kapitel 4.4.2). Auch in der Literatur empfehlen verschiedene Ansätze zur Einführung von Industrie 4.0 zunächst die Entwicklung einer Zielvorstellung (u. a. Merz, 2016, S. 101; Geleş et al., 2017, S. 42; Schuh et al., 2020, S. 15). Im Gegensatz zu diesen Ansätzen aus der Literatur müssen für die Entwicklung der Zielvorstellung Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz als (wechselseitig) zusammenhängende Perspektiven betrachtet werden (Kapitel 2.2.1).

6) Die Teilnehmenden sollen frühzeitig ein eigenes Projekt zur Gestaltung des Produktionssystems in ihrem Verantwortungsbereich konzipieren und umsetzen.

Eine frühzeitige Projektarbeit ist wichtig, um einen Transfer zwischen den theoretischen Inhalten und einzelnen Übungen und der praktischen Anwendung im Gesamtkontext zu gewährleisten. Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung lernen selbstorganisiert und häufig im Prozess der Arbeit (Kapitel 4.4.2). Diese Art der Aneignung von Wissen und Können ist auch im Rahmen einer Projektarbeit gefragt.

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung weisen zudem darauf hin, dass es für die Akzeptanz von Weiterbildungsmaßnahmen in den Unternehmen wichtig ist, frühzeitig einen konkreten betrieblichen Nutzen nachzuweisen (Kapitel 4.4.2).

7) Selbstständiges Erarbeiten von Lerninhalten und Phasen des Austausches mit den anderen Teilnehmenden und der Trainingsleitung sind zu kombinieren.

Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung bringen sich den Umgang mit neuen Technologien oder Anwendungen häufig selbstständig bei. Sie lernen eigenständig und selbstorganisiert. Für die Erweiterung von Wissen und Können verwenden sie verschiedene Methoden und Quellen (Kapitel 4.4.2). Eine Herausforderung für die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist die zeitliche Belastung. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben vielfältige Aufgaben und müssen zum Teil auch kurzfristig auf Störungen in der Produktion reagieren (Kapitel 4.4.1). Das Weiterbildungskonzept sollte daher so gestaltet werden, dass es unkompliziert in den Arbeitsalltag der Teilnehmenden integriert werden kann. Die zeitliche Einteilung des Lernens sollte teilweise von den Teilnehmenden selbst bestimmt werden können, während die Lerninhalte auch in dieser nicht zeitgebundenen Phase weitgehend durch das Weiterbildungskonzept vorgegeben werden. Eine vergleichbare Strategie für derartige Herausforderungen wird auch von Ahrens et al. (2018) für Meister/innen oder Techniker/innen mit Personalverantwortung im Engineering-Bereich berichtet. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass Phasen des gemeinsamen Austauschs zwischen den Teilnehmenden und der Trainingsleitung (Lernende und Lehrende) eingeplant werden. Um ein ganzheitliches Verständnis (Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz sowie der wechselseitigen Zusammenhänge) zu fördern, ist auch das Einnehmen unterschiedlicher Betrachtungsperspektiven notwendig. Darüber hinaus sollten auch in Phasen des selbstständigen Lernens Fachleute für Fragen zur Verfügung stehen. Dies könnte durch die Trainingsleitung oder eine erfahrene Person aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung erfolgen. Trotz selbstständiger Erarbeitung und gemeinsamer Austauschphasen sind auch theoretische Inhalte und eine praktische Anleitung durch die Trainingsleitung wichtig. Auf diese Weise können den Teilnehmenden neue Impulse gegeben werden (Kapitel 5.3).

8) *Es müssen Lernelemente im Prozess der Arbeit und durch eigenes Erleben integriert werden.*

Die empirische Untersuchung zeigt, dass der Umgang mit Industrie-4.0-Technologien von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung vorwiegend durch Ausprobieren an praktischen Anwendungen erlernt wird. Die Beschäftigten lernen den Umgang mit den Technologien auch häufig im Prozess der Arbeit (Kapitel 4.4.2). Diese Erprobung und das Sammeln von Erfahrungen an realen Anwendungen müssen in Weiterbildungsmaßnahmen integriert werden.

9) *Die Teilnehmenden sollen dazu angeregt werden, über den Zweck des Technikeinsatzes nachzudenken.*

Neben vielen technischen und wirtschaftlichen Gründen für die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen nennen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung weitere Gründe. Eine Vollautomatisierung ist auch nach den Vorstellungen dieser Beschäftigten nicht das Ziel. Für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung muss der Einsatz von Technik einem nachvollziehbaren Zweck dienen. Dabei geht es nicht nur darum, die Produktion wirtschaftlicher zu gestalten. Es werden auch Gründe genannt, die auf eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen abzielen (Kapitel 4.5.3). So wird z. B. häufig der Einsatz der Anwendungen zur Verringerung körperlicher Belastungen genannt (Kapitel 4.5.1). Einzelne Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung wollen Industrie-4.0-Anwendungen auch einsetzen, um monotone Arbeit zu reduzieren (Kapitel 4.5.3). Dennoch sollten diese Überlegungen zur Arbeitsgestaltung bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen m. E. weiter vertieft und geschärft werden. Wie dies in den einzelnen Projekten konkret umgesetzt werden kann, muss im individuellen Fall überlegt werden. Daher sollten die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu einer bewussten Auseinandersetzung mit dem Zweck des Technikeinsatzes angeregt werden.

10) *Das Wissen über die Gestaltung der Arbeitsorganisation muss erweitert werden. Mentalen Belastungen, aber auch lernförderlichen Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion muss mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.*

Die empirische Untersuchung gibt Hinweise darauf, dass bei der Gestaltung des Produktionssystems die körperlichen Anforderungen der Mitarbeitenden in der Produktion im Mittelpunkt stehen, während die mentalen Anforderungen weniger in die Betrachtung einbezogen werden (Kapitel 4.5.1). Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von Fähigkeiten und Persönlichkeit in der Produktion setzen einen gewissen Handlungsspielraum und ein angemessenes Maß an mentaler Beanspruchung voraus (Volpert & Weber, 2018, S. 399). Dies haben auch schon Kagermann et al. im Abschlussbericht Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 gefordert:

Entscheidend für eine erfolgreiche Veränderung, die durch die Beschäftigten positiv bewertet wird, sind neben umfassenden Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen

die Organisations- und Gestaltungsmodelle von Arbeit. Dies sollten Modelle sein, die ein hohes Maß an selbstverantwortlicher Autonomie mit dezentralen Führungs- und Steuerungsformen kombinieren. Den Beschäftigten sollten erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume sowie Möglichkeiten zur Belastungsregulation zugestanden werden. (Kagermann et al., 2013, S. 27)

In der Literatur werden verschiedene Aufgaben zur gezielten Gestaltung der Arbeitsorganisation genannt (Kapitel 2.1.1 und 2.1.2). In der Praxis scheint die Organisation der Arbeit eher eine Folge anderer Gestaltungsmaßnahmen zu sein, wie die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen wie FTS (Kapitel 4.6). Es ist daher wichtig, die Relevanz und die Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeitsorganisation in die Weiterbildungsmaßnahme zu integrieren. Die Teilnehmenden müssen verschiedene Möglichkeiten der Arbeitsorganisation in der Produktion kennenlernen und die jeweiligen Auswirkungen auf die Beschäftigten in der Produktion berücksichtigen und diskutieren. Dabei sollen die mentalen Belastungen, aber auch die Lernförderlichkeit der Arbeit im Vordergrund stehen.

Auch die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen kann eine Möglichkeit zur Reduzierung mentaler Belastungen in der Produktion und zur Förderung der Lernförderlichkeit der Arbeit sein. Darüber hinaus ist es wichtig, bei der Gestaltung der Arbeitsorganisation den Gesamtzusammenhang zu berücksichtigen. So sind z. B. bei der Anreicherung von Aufgaben auch Fragen der Überforderung und der Anpassung der Entlohnung zu berücksichtigen (Kapitel 5.3).

11) Die Teilnehmenden sollen dabei unterstützt werden, die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an den Gestaltungsprozessen frühzeitig zu initiieren.

Grundsätzlich ist es wichtig, die Menschen in die Gestaltung ihrer Arbeit einzubeziehen (Kapitel 2.2.1). Aus der empirischen Untersuchung geht hervor, dass die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung das Erfahrungswissen der Mitarbeitenden aus der Produktion zu Maschinen, Produkten und Produktionsprozessen schätzen (Kapitel 4.5.2). Weiter liefert die Untersuchung Hinweise dazu, dass die Mitarbeitenden in der Produktion geeignete Ideen zum Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen einbringen können (Kapitel 4.5.3). Daher ist es wichtig, die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung dabei zu unterstützen, eine frühzeitige Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltungsprozesse initiieren zu können.

5.2 Kontextspezifisches Weiterbildungskonzept

Das Weiterbildungskonzept ist als Leitfaden angelegt. Im Leitfaden finden sich die Lernziele und ein Vorschlag für die inhaltliche Gestaltung (Didaktik). Außerdem wird an verschiedenen Stellen darauf eingegangen, wie die einzelnen Inhalte vermittelt werden könnten (Methodik).

Verantwortliche für die betriebliche Bildung können diesen Leitfaden zur Gestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung verwenden. Das Weiterbildungskonzept basiert auf fünf Weiterbildungsmodulen (Abbildung 26). Diese Weiterbildungsmodule sind wiederum in verschiedene Lernmodule aufgegliedert.

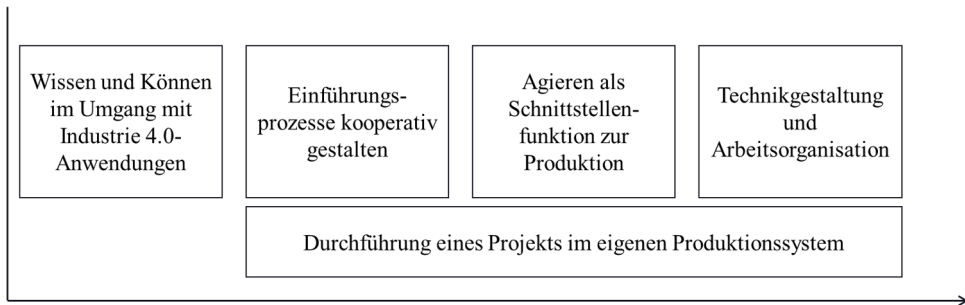


Abbildung 26: Module des Weiterbildungskonzeptes (Quelle: Eigene Darstellung)

Der zeitliche Ablauf der einzelnen Weiterbildungsmodule kann flexibel gestaltet werden. So gibt es keine zwingende Reihenfolge der Bearbeitung der einzelnen Module. Empfohlen wird jedoch der Start mit dem Modul „Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen“. Dieses Weiterbildungsmodul gibt einen Einblick in verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen aus der Praxis. Der Einstieg in dieses Modul bietet den Teilnehmenden Anregungen zur Entwicklung erster Ideen für die Umsetzung von Projekten im eigenen Produktionssystem. Damit soll auch das Interesse der Teilnehmenden an der Weiterbildungsmaßnahme gestärkt werden. Das Modul „Einführungsprozesse kooperativ gestalten“ könnte auch zu einem früheren Zeitpunkt gestartet werden, um eine frühzeitige Einbindung der Mitarbeitenden aus der Produktion in die Projekte der Teilnehmenden zu ermöglichen. Das Weiterbildungsmodul „Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem“, in dem die Teilnehmenden ein eigenes Projekt aus ihrer Praxis bearbeiten, sollte möglichst früh begonnen und parallel zu den anderen Modulen durchgeführt werden. So können einzelne Elemente aus den Modulen während des Projektes parallel in der Praxis angewendet werden.

Für die einzelnen Module wird ein zeitlicher Rahmen von ein bis zwei Tagen empfohlen. Der zeitliche Aufwand und die gesamte Durchführungsdauer des Projektes sind größer. Insgesamt kann und soll das Projekt sehr individuell gestaltet werden. Es ist jedoch auch mit Projektlaufzeiten von mehr als einem Jahr zu rechnen. Es erscheint daher sinnvoll, auch die anderen Weiterbildungsmodule über ein Jahr zu verteilen. Dies kann entweder in Form von Blöcken geschehen oder indem die einzelnen Weiterbildungsmodule in einzelne Lernmodule aufgeteilt und diese kontinuierlich über ein Jahr verteilt durchgeführt werden.

Damit soll auch die zeitliche Belastung der Teilnehmenden reduziert werden. Wenn möglich, sollte ein Teil der Lernmodule auch als webbasierte Kurse entwickelt

werden. So könnten z. B. verschiedene Kurzvorträge der Trainingsleitung durch dieses Konzept ersetzt werden. Dies hätte den Vorteil, dass die Teilnehmenden selbst entscheiden könnten, wann sie ein Lernmodul bearbeiten. Wichtig sind aber auch Phasen gemeinsamer Reflexion und des Austausches. Es wird daher empfohlen, die Phasen der Diskussion als Präsenzveranstaltungen zu gestalten. Auch eine Anlehnung an das Konzept des „Flipped Classroom“ (u. a. van Treeck et al., 2013, S. 7 f.) erscheint in diesem Zusammenhang denkbar und geeignet. Die Teilnehmenden könnten sich im Vorfeld selbstständig und zeitunabhängig mit den theoretischen Inhalten in Form von Lernvideos, webbasierten Kursen oder auch Literatur auseinandersetzen. Anschließend werden in einer gemeinsamen Arbeitsphase im Plenum Fragen zu den Inhalten geklärt, Erfahrungen ausgetauscht und der Transfer auf das eigene Produktionssystem diskutiert.

Die Förderung des Wissens und Könnens für das Training und die Unterweisung der Mitarbeitenden in der Produktion ist durch verschiedene Impulse und Übungen ein begleitendes Element des Gesamtkonzeptes. Damit wird ein hoher Wechsel zwischen theoretischen und praktischen Lehr-/Lernelementen angestrebt. Außerdem können die Fähigkeiten und Fertigkeiten für das Lehren und Trainieren dann teilweise direkt in den praxisnahen Ablauf integriert werden (Kapitel 5.2.2, 5.2.2 und 5.2.5).

Nach Abschluss der Weiterbildungsmaßnahme könnte nach einem halben Jahr ein gemeinsames Treffen zum Erfahrungsaustausch stattfinden. Die Anwendung des Gelernten kann besprochen werden und auch die Rückmeldungen der Teilnehmenden könnten in zukünftige Weiterbildungskonzepte einfließen.

5.2.1 Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen

Lernziele

Im Anschluss an das Modul „Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen“ sollen die Teilnehmenden in der Lage sein, verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen aus der Praxis wiederzugeben. Sie sollen die technischen und wirtschaftlichen Aspekte von Industrie-4.0-Anwendungen sowie die Auswirkungen auf die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion verstehen. Die Teilnehmenden sollen Industrie-4.0-Anwendungen nach verschiedenen Kriterien bewerten und die Übertragbarkeit auf ihr eigenes Produktionssystem beurteilen können. Sie sollen einzelne Grundlagen des Lernens und Lehrens in der Berufsbildung verstehen und verschiedene praktische Elemente der Gestaltung von betrieblichen Trainings abrufen können.

Umsetzungsbeispiel

Im Modul werden verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen vorgestellt und mit den Teilnehmenden diskutiert. Die Teilnehmenden werden auch ermutigt, Industrie-4.0-Anwendungen aus ihrer eigenen Praxis vorzustellen. Das Weiterbildungsmodul ist in verschiedene Lerneinheiten gegliedert (Abbildung 27).

Kurzvortrag	Diskussion	Kurzvortrag	Eigene Erprobung	Vorführung	Präsentation der Teilnehmenden
Vorstellung Industrie 4.0-Anwendungen	Industrie 4.0-Anwendungen: Übertragbarkeit und Auswirkungen	Allgemeine Aspekte des Lernens und Lehrens und die Gestaltung von betrieblichen Trainings	Generative Sprachmodelle: Frage- und Kommunikationsstrategien und eigene Erprobung	Besichtigung realer Anwendungen (Betriebsbesichtigung)	Vorstellung eines eigenen Anwendungsfalls im Plenum
Leichtbauroboter					
Wissensmanagement					

Abbildung 27: Weiterbildungsmodul – Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen (Quelle: Eigene Darstellung)

Zunächst gibt es eine kurze Einführung in die Geschichte und in die Grundlagen von Industrie 4.0. Im Anschluss werden verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen in Kurzvorträgen vorgestellt. Die Präsentation kann durch die Trainingsleitung selbst oder durch Fachleute der jeweiligen Anwendung aus der Praxis erfolgen. Als Anwendungsbeispiele können u. a. Leichtbauroboter in der Montage oder mobiles Wissensmanagement im Produktionsumfeld dienen (Tabelle 24).

Tabelle 24: Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen (Quelle: Eigene Darstellung)

<p><i>Bohrmaschinenmontage (Fügen und Einpressen)</i></p> <p>Die Aufgabenstellung besteht aus dem Fügen eines Flansches an ein vormontiertes Motorgehäuse, dem Einpressen des vormontierten Ankers und dem Einlegen der Baugruppe in ein Magazin. Die Anwendung ist als Roboter-Mensch-Kooperation konzipiert. Der Mensch übernimmt die Vormontage des Motorgehäuses und des Ankers sowie die komplette Teilebereitstellung. Der Leichtbauroboter übernimmt das Einpressen des vormontierten Ankers. Im Beispiel wird der Leichtbauroboter am Engpass des Fertigungsprozesses eingesetzt, um die Taktzeit des Gesamtsystems zu verbessern. Zudem wird die Ergonomie verbessert. Das manuelle Einpressen des Ankers ist für die Mitarbeitenden sehr belastend. (Bauer et al., 2016, S. 41)</p> <p><i>Getriebegehäuseverschraubung (Schrauben)</i></p> <p>Verschiedene Getriebegehäuse müssen mit 30–36 Schrauben mit 104 Nm verschraubt werden. In diesem Anwendungsbeispiel arbeiten Mensch und Leichtbauroboter synchron. Der Mensch legt die Schrauben bereit. Während der Leichtbauroboter die Schrauben anzieht, kann der Mensch das nächste Werkstück vorbereiten. Der gesamte Arbeitsprozess ist für die Mitarbeitenden weniger belastend, da die schwere Arbeit des Festziehens der Schrauben vom Leichtbauroboter übernommen wird. Durch das gleichzeitige Arbeiten von Leichtbauroboter und Mensch verkürzt sich die Dauer des gesamten Arbeitsprozesses. (Bauer et al., 2016, S. 42)</p> <p><i>Allgemeines zum Einsatz von Leichtbaurobotern in der Montage</i></p> <p>Mit der Einführung der Leichtbauroboter soll auch eine Höherqualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion erreicht werden. Die Erstinbetriebnahme des Systems soll durch Fachpersonal erfolgen. Die Mitarbeitenden in der Produktion sollen jedoch aktiv eingebunden werden. Ziel ist es, dass die Mitarbeitenden in der Produktion nicht nur Störungen im System beheben können, sondern auch in der Lage sind, den Leichtbauroboter durch einfache Programmierverfahren wie das Einlernen an veränderte Bedingungen anzupassen. Beispielsweise sollen die Mitarbeitenden in der Lage sein, den Leichtbauroboter selbstständig an Produktänderungen anzupassen.</p> <p>Die Dokumentation von Erfahrungen während der Arbeit soll durch ein mobiles Wissensmanagement unterstützt werden. Die Kernidee des Konzeptes lässt sich als „YouTube für die Industrie“ beschreiben. Mitarbeitende können Inhalte in Form von Videos, Fotos oder auch Sprachmemos aufzeichnen und an das System übergeben. Das System soll automatisch Metadaten wie die der Maschine, an der das Video erstellt wurde, hinterlegen. Andere Mitarbeitende können sich das Video ansehen, wenn sie an dieser oder einer ähnlichen Maschine arbeiten, und so möglicherweise wertvolle Informationen erhalten. Mobile Endgeräte wie Tablets, Smartphones, Datenbrillen und Smartwatches können für die Erstellung und den Abruf der Inhalte genutzt werden. Alle Mitarbeitenden haben Zugang und können das System mit ihrem Wissen</p>

füllen. Bei Herausforderungen im Arbeitsalltag können die Mitarbeitenden auf das dokumentierte Wissen und die Erfahrungen anderer zurückgreifen. Es sollen keine Vorgaben gemacht werden, was genau hochgeladen werden kann. Die Mitarbeitenden sollen selbst entscheiden können, was für sie wichtig ist. Die Mitarbeitenden können die Inhalte hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit und Relevanz bewerten. So wird das System Schritt für Schritt verbessert. Das System kann vorab mit bekannten Daten zu Maschinen und Anlagen befüllt werden. Auch Wartungspläne und Dokumentationen für Betrieb und Instandhaltung können hinterlegt werden. (Brandl et al., 2015)

Dies sind nur zwei mögliche Beispiele. Es sollte eine größere Anzahl unterschiedlicher Anwendungen erläutert werden. Die Struktur der Industrie-4.0-Projekte aus dieser Arbeit kann als Hilfestellung für die Recherche und Aufbereitung weiterer Industrie-4.0-Anwendungen herangezogen werden:

- Datenerfassung und Datenverwendung
- Digitale Modellierung und Simulation
- Autonome Materialversorgung
- Montageassistenzsysteme
- Robotik in der Montage (Kapitel 4.2)

Bei den Beispielen ist darauf zu achten, dass nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems betrachtet oder möglichst innovative Technologien zum Einsatz kommen, sondern auch auf Veränderungen der Arbeit und Qualifikation in der Produktion geachtet wird. Anschließend werden die verschiedenen Industrie-4.0-Anwendungen im Plenum diskutiert. Die Teilnehmenden werden auch dazu angeregt, eigene Beispiele aus ihrer Praxis vorzustellen. Neben den technologischen Aspekten sollen auch Perspektiven der Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion berücksichtigt werden. Zur Anregung der Diskussion könnten folgende Fragen gestellt werden:

- Ist die Industrie-4.0-Anwendung auf Ihren Arbeitsbereich übertragbar? Wie kann die Anwendung konzeptionell verändert werden, um für Ihren Arbeitsbereich in geeigneter Weise einsetzbar zu sein?
- Wie verändert sich die Arbeit der Mitarbeitenden in der Produktion/Produktionsplanung und -steuerung durch den Einsatz dieser Industrie-4.0-Anwendung?
- Welches Wissen und Können benötigen die Mitarbeitenden in der Produktion/Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der Einführung und dem Betrieb der Industrie-4.0-Anwendung?

In der nächsten Lerneinheit erfahren die Teilnehmenden mehr über allgemeine Aspekte des Lernens und Lehrens in der Berufsbildung und über die Gestaltung betrieblicher Trainings. Dazu erfolgt eine Präsentation durch die Trainingsleitung. Beispielsweise könnte die Trainingsleitung folgende Aspekte im Zusammenhang mit Lernen und Lehren vorstellen:

- Individuelle Lerntypen und warum es wichtig ist, die Lernenden über verschiedene Eingangskanäle anzusprechen (Döring, 2008, S. 139 f.)
- Angemessener Schwierigkeitsgrad von Aufgaben und dessen Beitrag zur Motivation (Döring, 2008, S. 141)

- Abstimmung von Inhalten, Methoden und Zielen der Qualifizierung in Abhängigkeit von Merkmalen der Teilnehmenden (z. B. Kenntnisstand, Interessen) (Döring, 2008, S. 35 f.)
- Grundlagen und praktische Hinweise zur Gestaltung eines betrieblichen Trainings
 - Übersicht verschiedener Methoden
 - Gestaltung des Ablaufs eines Trainings
 - Evaluierung und Feedback (Döring, 2008, S. 70 f.)

Anschließend findet ein Erfahrungsaustausch im Plenum statt. Im Vordergrund stehen dabei die Erfahrungen mit dem eigenen Lernverhalten und Lernerfolg sowie die Erfahrungen der Teilnehmenden mit der Gestaltung eigener betrieblichen Trainings oder Unterweisungen.

Im nächsten Modul soll eine praktische Einführung in den Umgang mit einem generativen Sprachmodell gegeben werden. Dieses Modul kann von der Trainingsleitung flexibel an die Bedürfnisse der Teilnehmenden und die aktuelle Entwicklung der Technologie angepasst werden. Denkbar wäre z. B. eine Einführung in das Prompt-Engineering (Frage- und Kommunikationsstrategien mit einem Sprachmodell) und den praktischen Einsatz von Sprachmodellen. Dazu sollte die Trainingsleitung zunächst eine Einführung in Frage- und Kommunikationsstrategien mit einem Sprachmodell geben. Dies könnte mithilfe von „A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT“ von White et al. (2023) erfolgen. Anschließend können die Teilnehmenden die Handhabung anhand von praktischen Übungen und eigenen Beispielen üben. Unter anderem könnten einzelne Elemente der Projektplanung eines Industrie-4.0-Projektes mit dem Sprachmodell vorbereitet werden. Anschließend sollen die Teilnehmenden diskutieren, wie diese Technologie ihre eigene Arbeit verändern könnte und welche Szenarien wünschenswert wären.

Im nächsten Lernmodul werden gemeinsam konkrete Industrie-4.0-Anwendungen erkundet. Dies kann auf verschiedene Weise umgesetzt werden. Eine geeignete und empfohlene Umsetzung wäre der Besuch einer anderen Produktionsstätte oder eines kooperierenden Unternehmens. Die Teilnehmenden benötigen die Gelegenheit, Industrie-4.0-Anwendungen in einer realen Umgebung zu besichtigen. Dort sollen gemeinsam verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen im realen Arbeitsumfeld besichtigt und bestenfalls von Fachleuten demonstriert werden. Die Teilnehmenden sollen außerdem die Möglichkeit haben, Fragen zu den Industrie-4.0-Anwendungen zu stellen. Abschließend erstellen die Teilnehmenden einen Steckbrief mit den wichtigsten Daten zu einem Industrie-4.0-Projekt aus ihrer Praxis. Wenn einige der Teilnehmenden noch kein eigenes Projekt kennen, können sie auch auf Anwendungen zurückgreifen, die sie während der Besichtigung in der Praxis gesehen oder im Internet recherchiert haben. Diese sollten dann an die Gegebenheiten des eigenen Produktionssystems angepasst werden. Diese Steckbriefe werden im Plenum präsentiert. Während des gesamten Moduls sollen die Teilnehmenden immer wieder ermutigt werden, eigene Beispiele aus der Praxis einzubringen. Die Teilnehmenden sollen auch dazu

angeregt werden zu diskutieren, wie Einsatzpotenziale für Industrie-4.0-Anwendungen gefunden werden können. Bei der Präsentation der Steckbriefe können die folgenden Fragen den Austausch zwischen den Teilnehmenden anregen:

- Wie sind Sie auf die Idee für diesen Anwendungsfall gekommen und wie haben Sie eine geeignete Technologie gefunden?
- Hat jemand bereits einen ähnlichen Anwendungsfall in die Praxis umgesetzt?
- Was waren die Herausforderungen bei der Umsetzung und was haben Sie gelernt?

Begründung der Vorgehensweise und Lerneinheiten

Die Einarbeitung in neue Technologien gelingt den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nach eigenen Aussagen problemlos. Sie eignen sich das Wissen und Können zu Industrie-4.0-Anwendungen in Eigeninitiative und selbstorganisiert an. Bei der Frage, welche Anwendungsmöglichkeiten es gibt und wie diese auf das eigene Arbeitsfeld übertragen werden können, wünschen sich die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung Unterstützungsangebote. Eine der Schlüsseltechnologien von Industrie 4.0 ist die kollaborative Robotik (Pistorius, 2020, S. 3). Anwendungen der Mensch-Roboter-Kollaboration werden von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als relevant für die Zukunft eingeschätzt (Kapitel 4.3). Eine Person gab in den Interviews auch konkret an, nach Einsatzmöglichkeiten für einen Schraubroboter gesucht zu haben, jedoch keine geeignete Anwendung gefunden zu haben (Kapitel 4.2). Auch aus der Perspektive der beruflichen Bildung müssen verschiedene Herausforderungen bei der Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter berücksichtigt werden. Beispielsweise sollten die Aufgaben zwischen Mensch und Roboter so verteilt werden, dass die Stärken beider Seiten optimal genutzt werden und nicht am Ende der Mensch nur die Aufgaben übernimmt, die der Roboter nicht ausführen kann. (Fischer et al., 2017b) Windelband & Dworschak (2018) zeigen anhand von praktischen Beispielen, wie die Integration von Leichtbaurobotern je nach Ausgestaltung der Anwendung eine Aufwertung oder Abwertung von Produktionsarbeit und Qualifikation bedeuten kann (S. 73 f.).

Mobiles Wissensmanagement im Produktionsumfeld stellt die Relevanz der Erfahrung der Mitarbeitenden in der Produktion in den Mittelpunkt. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung schätzen die Erfahrung der Mitarbeitenden in der Produktion (Kapitel 4.5.2). Auch mit diesem Beispiel sollen die Zusammenhänge der Gestaltung von Industrie-4.0-Anwendungen mit Arbeit und der Qualifikation in der Produktion aufgezeigt werden. Anstelle von starren Anweisungen durch eine zentrale Instanz werden die Arbeitsmittel von den Mitarbeitenden in der Produktion selbst erstellt und bewertet.

Die Diskussion im Plenum soll die Teilnehmenden dazu anregen, die einzelnen Industrie-4.0-Anwendungen genauer zu betrachten und zu überlegen, wie diese in ihrem Produktionssystem umgesetzt werden können. Eine Einordnung der Praxistauglichkeit für das eigene Produktionssystem und ggf. eine Übertragung der vorge-

stellten Beispiele auf das eigene Produktionssystem ist vorgesehen. Fragen aus unterschiedlichen Perspektiven zu Industrie-4.0-Anwendungen sollen die Teilnehmenden dazu anregen, über die Möglichkeiten und Auswirkungen des Technikeinsatzes in der Produktion nachzudenken. Außerdem sollen sie angeregt werden, darüber nachzudenken, wie einzelne Industrie-4.0-Anwendungen so gestaltet werden können, dass sie zur Aufwertung von Arbeit und Qualifikation in der Produktion beitragen.

Die Impulse zu allgemeinen Aspekten des Lernens und Lehrens in der Berufsbildung und zur Gestaltung betrieblicher Trainings sollen den Teilnehmenden die theoretischen Grundlagen für das Lehren und Trainieren in der Berufsbildung vermitteln. Ein Unterschied zwischen improvisiertem und professionellem Handeln in der Lehre besteht darin, dass sich professionelles Handeln an den vorliegenden Erkenntnissen der Lernforschung orientiert (Döring, 2008, S.132). Deswegen ist ein grundlegendes Verständnis von Lernen und Lehren auch für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und deren Aufgabe der Qualifizierung von Mitarbeitenden in der Produktion von großer Bedeutung. Die im Umsetzungsbeispiel beschriebenen Einblicke in das Lernen und Lehren sollen den Teilnehmenden verdeutlichen, dass Menschen unterschiedlich lernen. Darüber hinaus sollen sie erkennen, wie die Gestaltung von Aufgaben zur Lernmotivation beitragen kann und wie spezifische Merkmale der Teilnehmenden bei der Gestaltung von Lernsituationen berücksichtigt werden müssen. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung qualifizieren andere Beschäftigte im Umgang mit realen Objekten wie einer technischen Anlage, einem Produktionsprozess oder einer Software (Kapitel 4.4.1). Um die Beschäftigten bei der Konzeption und Durchführung dieser Qualifizierungsmaßnahmen zu unterstützen, werden auch praktische Hinweise zur Gestaltung von Trainings in das Weiterbildungskonzept integriert.

Das Lernmodul zur Einführung in den Umgang mit generativen Sprachmodellen soll eine neue Anwendung aufgreifen, die in die Arbeit von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung Einzug halten könnte. Damit soll ein Aspekt aus Sicht der Betroffenen thematisiert werden. Es handelt sich um eine Anwendung, deren Einsatz in der Praxis erprobt wird und die auch einzelne Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung verändern könnte (Kapitel 1.1). Diese Lerneinheit sollte von der Trainingsleitung flexibel an die technologischen Veränderungen in diesem Bereich angepasst werden.

Der Besuch einer anderen Produktion ermöglicht es den Teilnehmenden, eigene Erfahrungen mit Industrie-4.0-Anwendungen in der Praxis zu sammeln. Eine Begehung und Erprobung an realen Objekten erscheint geeignet und notwendig, da Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung den Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen insbesondere durch eigenes Erleben und Ausprobieren erlernen. Die Besichtigung realer Anwendungen in der Praxis ist für die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung von großer Bedeutung, was auch durch die Evaluation noch einmal verdeutlicht wurde (Kapitel 5.3). Es sei wichtig, Industrie-4.0-Anwendungen in der Praxis zu sehen, um sich von der Praxistauglichkeit zu überzeugen. Darüber hinaus wollen die Beschäftigten direkt mit den Fachleuten

vor Ort sprechen, um Informationen über Einsatzmöglichkeiten, Gestaltungsmöglichkeiten und auch Herausforderungen aus erster Hand zu erhalten.

Durch die Präsentation eigener Beispiele aus der Praxis sollen die Teilnehmenden in die Gestaltung des Moduls einbezogen werden. So werden verschiedene Beispiele aus anderen Unternehmen oder anderen Produktionsstandorten mit unterschiedlichen Organisationsstrukturen und Technisierungsgraden vorgestellt. Auf diese Weise lernen die Teilnehmenden unterschiedlichen Industrie-4.0-Anwendungen und auch unterschiedliche Herausforderungen kennen. Die Aufgabe der Trainingsleitung ist es, die Aufmerksamkeit auch auf die Perspektiven der Arbeitsgestaltung und der Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden zu lenken. Darüber hinaus wird die Vernetzung der Teilnehmenden untereinander angestrebt, um auch nach Abschluss der Weiterbildungsmaßnahme einen Austausch über Industrie-4.0-Anwendungen zu erhalten.

Dieses erste Weiterbildungsmodul dient zur Einführung in Industrie-4.0-Anwendungen in der Praxis. Damit die Teilnehmenden im Verlauf der Weiterbildung möglichst viele Beispiele kennenlernen, werden auch in die anderen Module verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen aus der Praxis integriert. Weiter sollen die Teilnehmenden im Verlauf der Weiterbildungsmaßnahme zunehmend eine ganzheitliche Sichtweise entwickeln, um den Einsatz von Industrie 4.0 möglichst aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und die wechselseitigen Abhängigkeiten unterschiedlicher Perspektiven zu erkennen. Sie sollen auch lernen, Industrie-4.0-Anwendungen bewusst so zu gestalten, dass die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion nicht vernachlässigt, sondern bestenfalls gestärkt werden.

5.2.2 Einführungsprozesse kooperativ gestalten

Lernziele

Nach Abschluss des Weiterbildungsmoduls „Einführungsprozesse kooperativ gestalten“ können die Teilnehmenden Einsatzpotenziale und Grenzen verschiedener Möglichkeiten zur Simulation von Produktionsanlagen beurteilen. Sie haben ein Verständnis für das Kriterium der Gebrauchstauglichkeit eines technischen Systems und dafür, dass die Gebrauchstauglichkeit nur durch die Nutzenden beurteilt werden kann. Die Teilnehmenden kennen verschiedene Vorgehensweisen, um die Mitarbeitenden in der Produktion in Gestaltungsprozesse einzubeziehen. Sie verstehen, welches Wissen den Mitarbeitenden in der Produktion zugänglich sein muss, damit sie ihre Arbeitswelt mitgestalten können. Die Teilnehmenden können das Paradigma von „Open Innovation“ beschreiben und die Hintergründe erklären.

Umsetzungsbeispiel

Das Weiterbildungsmodul ist in sechs verschiedene Lerneinheiten unterteilt (Abbildung 28). In diesem Modul soll zunächst ein Impuls gegeben werden, warum es wichtig ist, die eigentlichen Nutzenden in die Gestaltung eines Produktionssystems einzubeziehen. Gemeinsam sollen Möglichkeiten der kooperativen Gestaltung erarbeitet werden. Es wird herausgearbeitet, welches Wissen den Mitarbeitenden in der Produktion zugänglich gemacht werden muss, damit sie sich aktiv an der Gestaltung betei-

gen können. Anschließend wird beispielhaft gezeigt, wie nach dem Paradigma von „Open Innovation“ Mitarbeitende in der Produktion zu Mitgestaltenden ihrer Arbeit gemacht werden können.

Vorführung	Diskussion	Gruppenarbeit	Gruppenarbeit	Kurzvortrag/ Diskussion	Diskussion
Simulation von Produktions- anlagen	Bewertung von technischen Systemen nach verschiedenen Kriterien	Möglichkeiten und Barrieren der kooperativen Gestaltung	Wissen und Können der Mitarbeitenden zur Gestaltung	Innovative Beteiligungs- formen „Open Innovation“ mit 3D Druck	Rückblick, Feedback und Diskussion

Abbildung 28: Weiterbildungsmodul – Einführungsprozesse kooperativ gestalten (Quelle: Eigene Darstellung)

Zu Beginn des Moduls werden verschiedene Möglichkeiten zur Simulation von Elementen des Produktionssystems erprobt (Tabelle 25). Es soll ein Einblick in die Möglichkeiten von Simulation und virtueller Realität bei der Planung von Produktionssystemen gegeben werden. Die Teilnehmenden sollen erkennen, wofür die Software eingesetzt werden kann und wo die Grenzen liegen. Dazu wird ein beispielhaftes Produktionssystem als digitales Modell vorbereitet. Die Trainingsleitung führt mit den Teilnehmenden verschiedene Simulationen am digitalen Produktionssystem durch. Dabei werden technische und wirtschaftliche Aspekte simuliert, aber auch versucht, weniger quantifizierbare Kriterien zu simulieren.

Tabelle 25: Simulation und virtuelle Realität im Umfeld des Produktionssystems (Quelle: Eigene Darstellung)

Mithilfe verschiedener Simulationssoftware soll ein digital nachgebildetes Produktionssystem auf Einsatzfähigkeit hin untersucht werden. Für eine möglichst ganzheitliche Betrachtung besteht das Produktionssystem aus automatisierten und manuellen Arbeitsplätzen. Untersucht werden betriebswirtschaftliche und technische Fragestellungen sowie Aspekte der Arbeitsgestaltung. Das digitale Modell und die Software sind bereits vorhanden. Die Trainingsleitung führt die Teilnehmenden in den Umgang mit der Software ein, zeigt verschiedene Möglichkeiten auf und lässt die Teilnehmenden selbst ausprobieren.

- Mit der Software „Plant Simulation“ wird die Anlage zunächst hinsichtlich technischer Größen wie Durchsatz oder Auslastung einzelner Arbeitsplätze untersucht, um etwa Engpässe zu identifizieren (u. a. Eley, 2012; Feldkamp, 2020).
- Mit der Software „Editor menschlicher Arbeit (ema)“ werden in einem nächsten Schritt manuelle Arbeitsplätze und Tätigkeiten der Mitarbeitenden simuliert. Dabei werden wirtschaftliche und ergonomische Aspekte berücksichtigt (u. a. Leidholdt et al., 2016; Schönherr & Arnold, 2016).
- In einem weiteren Schritt wird die Produktionsanlage mithilfe von Brillen zur Darstellung von virtueller Realität in einer digitalen Umgebung erkundet. Ziel ist es, auch nicht quantifizierbare Kriterien wie die Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen (u. a. Kunz, 2020).

Anschließend soll eine Diskussion darüber angeregt werden, ob damit die Praxistauglichkeit der Produktionsanlage sichergestellt werden kann. Ziel der Übung ist es, den Teilnehmenden zu zeigen, dass es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, Teilsysteme zu simulieren und wie diese Systeme zur Planung von Produktionsanlagen beitragen können. Es soll auch deutlich werden, dass eine deterministische Planung aller Details

von zentraler Stelle aus nicht möglich ist. Insbesondere die Gebrauchstauglichkeit eines technischen Systems muss beispielsweise von den Nutzenden beurteilt werden.

In der nächsten Lerneinheit sollen sich die Teilnehmenden mit der Frage auseinandersetzen, wie die Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltung von Industrie-4.0-Anwendungen einbezogen werden können. Zunächst wird diskutiert, welche Funktionen in den verschiedenen Produktionsbereichen der Teilnehmenden vorkommen und warum es wichtig ist, möglichst alle von der Veränderung betroffenen Mitarbeitenden einzubeziehen. Mitarbeitende aus der Produktion sollen frühzeitig in die Grundkonzeption der Anlagen einbezogen werden und auch eigene Ideen einbringen können. Die Teilnehmenden werden in zwei Gruppen aufgeteilt. Die beiden Gruppen arbeiten parallel an folgenden zwei Themen:

1. Welche Möglichkeiten gibt es, die Mitarbeitenden in der Produktion in diese Gestaltungsprozesse einzubeziehen?
2. Welche Barrieren stehen einer Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an diesen Gestaltungsprozessen entgegen?

Die Ergebnisse werden im Plenum vorgestellt und diskutiert.

Im nächsten Schritt findet die gemeinsame Arbeit im Plenum unter der Moderation der Trainingsleitung zu folgender Frage statt: „Welches Wissen muss den Mitarbeitenden in der Produktion bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen zur Verfügung stehen, damit sie die Anwendung weiter mitgestalten können?“ Die Teilnehmenden sollen lernen, dass nicht nur die für die eigentliche Arbeitsaufgabe relevanten Informationen erlernt und eingeübt werden müssen, sondern dass umfassendere Aspekte erklärt werden sollten. Mögliche Beispiele für gemeinsam mit den Teilnehmenden zu erarbeitendes Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion wären:

- Integration des technischen Systems in den Arbeitsprozess und Gesamtprozess der Herstellung des Produkts
- Gestaltungsmöglichkeiten des Systems (z. B. Programmierung oder Änderung von Abläufen, Änderungen bei Einführung neuer Produktvarianten)
- Technischer Aufbau und Funktionsweise des Systems und einzelner Komponenten
- Gesetzliche Vorschriften, sicherheitstechnische Aspekte, technische und soziale Standards
- Wirtschaftliche und umweltrelevante Interessen
- (Subjektive) Unternehmensinteressen (z. B. Farbgestaltung des Systems, Verwendung bestimmter Hersteller)

Zur Moderation und Dokumentation der gemeinsamen Arbeit an der Fragestellung soll ein Online-Whiteboard wie Miro (<https://miro.com/de/>) verwendet werden. Die Teilnehmenden sollen auch einen Zugang zum Online-Whiteboard erhalten und an der Gestaltung aktiv mitwirken können.

Anschließend erfolgt eine Kurzpräsentation der Trainingsleitung zum Paradigma des „Open Innovation“. Das Konzept betrachtet Forschung und Entwicklung als ein offenes System. Ideen können sowohl von innen als auch von außen kommen. (Chesbrough et al., 2006, S. 1) Dies gilt im weiteren Sinne auch für die Gestaltung des Produktionssystems. Innovationen für Produktionssysteme können nicht nur zentral entstehen, sondern auch aus anderen Bereichen kommen, z. B. aus der Produktion selbst. Weiter wird ein Anwendungsbeispiel zu 3D-Druck und Open Innovation in der Produktion von der Trainingsleitung erläutert (Tabelle 26). Hier ist es auch wichtig, dass die Trainingsleitung deutlich macht, dass die Mitarbeitenden in der Produktion bei diesem Beispiel auch vollständige Arbeitsaufgaben übernehmen.

Tabelle 26: 3D-Druck und Open Innovation in der Produktion (Quelle: Eigene Darstellung)

>Mit 3D-Druck können innerbetriebliche Vorrichtungen und Hilfsmittel für Montage- und Prüfanlagen hergestellt werden. Die Hilfsmittel können kurzfristig nach der Idee konstruiert und innerhalb weniger Stunden produziert, getestet und optimiert werden. Bei Volkswagen wurden beispielsweise mithilfe von 3D-Druck Schablonen für die passgenaue Platzierung der Fahrzeugbeschriftung oder Schutzabdeckungen für die Felgen bei der Reifenmontage gedruckt. Auch in der Qualitätssicherung kommt der 3D-Druck zum Einsatz. Hier werden z. B. komplexe Stecker auf ein „Negativ“ gesetzt, um die Passgenauigkeit zu gewährleisten. Dieses Negativ wird im 3D-Drucker ausgedruckt. Durch diese und weitere Maßnahmen können in diesem Bereich jährlich bis zu 250.000 EUR für die externe Herstellung von Werkzeugen eingespart werden. (Fischer et al., 2018, S. 105) Nach diesem Konzept können die Mitarbeitenden ihre eigenen Ideen von der Problemstellung über die Konstruktion bis hin zur Serienreife in der Produktion eigenverantwortlich umsetzen. Mitarbeitende in der Produktion werden angeregt, eigene Ideen und Verbesserungen einzubringen und können diese mit einfachen CAD-Tools selbstständig konstruieren und ausdrucken. Die Mitarbeitenden werden im Umgang mit dem System geschult und es stehen Fachleute für Fragen zur Verfügung. Die ausgedruckten Werkzeuge können dann direkt von den Mitarbeitenden getestet und gegebenenfalls optimiert werden.

Abschließend soll in einer Phase des Rückblicks und der Diskussion ein Feedback der Teilnehmenden zum Modul erfolgen. Gemeinsam werden die im Modul gewonnenen Erkenntnisse zusammengetragen und der Transfer in die Praxis diskutiert. Ebenso sollen die Teilnehmenden von ihren eigenen Erfahrungen berichten, wie sie die Mitarbeitenden in der Produktion einbinden und welche Herausforderungen und Lösungsansätze es aus ihrer Sicht gibt.

Begründung der Vorgehensweise und Lerneinheiten

In diesem Modul wird viel Zeit darauf verwendet, zu sensibilisieren und zu informieren. Die Teilnehmenden sollen die Bedeutung der kooperativen Gestaltung einer Industrie 4.0 verstehen. Mit der Demonstration und gemeinsamen Erprobung von Simulationen im Produktionsumfeld wird den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein Beispiel für eine Industrie-4.0-Anwendung veranschaulicht. Die Beschäftigten sollen verstehen, dass die verschiedenen Leistungsparameter bis zu einem gewissen Grad bereits im Vorfeld durch eine Simulation erprobt werden können. Weiter können verschiedene Szenarien hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit verglichen werden. Simulationssoftware kann auch dazu beitragen, die körperliche Belastung der Mitarbeitenden in der Produktion abzuschätzen. Wichtig ist es aber auch zu verstehen, dass Simulation Grenzen hat. Dies soll dazu beitragen, dass

die Teilnehmenden über den Einsatz von Technik nachdenken (Kapitel 4.5.3). Weiter soll durch die Erkundung der Produktionsanlage mittels virtueller Realität eine Möglichkeit aufgezeigt werden, die Nutzenden der Anlage frühzeitig einzubinden und so eine erste Abschätzung der Gebrauchstauglichkeit in einem frühen Stadium zu ermöglichen. Darüber hinaus ermöglicht es auch den Mitarbeitenden in der Produktion, Ideen einzubringen und ihre Arbeit selbst mitzugestalten.

Die Gruppenarbeit zu kooperativen Einführungsprozessen soll die Teilnehmenden dazu anregen, über verschiedene Möglichkeiten nachzudenken, wie Mitarbeitende aus der Produktion in Gestaltungsprozesse eingebunden werden können und welche Barrieren es dabei möglicherweise gibt. Durch die eigene Bearbeitung des Themas durch die Teilnehmenden sollen möglichst praxisnahe Hinweise und Handlungsstrategien entwickelt werden. Die empirische Untersuchung zeigt, dass das Erfahrungswissen über Produktion, Maschinen und Prozesse von den Beschäftigten geschätzt wird. Die Einbindung erfolgt jedoch meist spät im Prozess und ist eher auf die Schaffung von Akzeptanz ausgerichtet. (Kapitel 4.4.1) Es sollte daher gemeinsam diskutiert werden, wie eine Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion bereits in der Konzeptionsphase oder bei der Ideenfindung möglich ist.

Die gemeinsame Arbeit an der Frage des Wissens der Mitarbeitenden in der Produktion im Kontext der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen ist aus zwei Gründen relevant. Aus Sicht verschiedener interviewter Personen ist es wichtig, den Mitarbeitenden in der Produktion nicht nur die Abläufe und Funktionen eines technischen Systems zu erklären, die für die Ausführung ihrer eigentlichen Arbeitsaufgabe notwendig sind. Die Mitarbeitenden in der Produktion sollen die Hintergründe der Einführung einer neuen Industrie-4.0-Anwendung verstehen und auch das Wissen und die Fähigkeiten haben, das System mitzugestalten und zu optimieren (Kapitel 4.5.2). Aber auch aus der Perspektive der gestaltungsorientierten Berufsbildung ist es relevant, den Mitarbeitenden in der Produktion umfassendere Informationen zur Verfügung zu stellen:

Gestaltungsorientierung als ein Grundsatz für die Gestaltung des berufsbildenden Unterrichts erfordert mehr als die Bedienung und Handhabung von Technik. Sie umfasst die Fähigkeit, erklären zu können, warum Technik eine bestimmte und keine andere Gestalt hat. Sie beschränkt sich nicht auf das Funktionieren von Technik. (Hägele & Knutzen, 2001, S. 14)

Um eine Industrie 4.0 mitgestalten zu können, benötigen die Mitarbeitenden in der Produktion daher mehr Informationen, als sie zur Erfüllung ihrer eigentlichen Arbeitsaufgaben benötigen. Die gemeinsame Arbeit an einem Online-Whiteboard soll den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch eine Möglichkeit zur Zusammenarbeit mit verschiedenen Beteiligten aufzeigen.

Das Paradigma des „Open Innovation“ soll als eine Möglichkeit vorgestellt werden, die Mitarbeitenden auch schon zur Ideenfindung in die Gestaltungsprozesse einzubinden (Pfeiffer et al., 2018, S. 125). Wie Klotz (2006) treffend zusammenfasst, ist es

auch für Unternehmen wichtig, Innovation und Mitgestaltung durch jedes Individuum zu ermöglichen:

Doch Innovation ist etwas, was jederzeit und überall stattfindet – nämlich überall dort, wo jemand etwas anders macht, als er es gestern machte, wo jemand mehr tut als er muss oder etwas anderes tut, als er sollte. Auf die Summe all dieser kleinen Veränderungen kommt es letztlich an, hieran entscheidet sich, wie beweglich und erfolgreich ein Unternehmen oder die Gesellschaft insgesamt ist. (Klotz, 2006, S. 97)

Die Erläuterung anhand eines Beispiels für eine Industrie-4.0-Anwendung zum 3D-Druck (Tabelle 26) erweitert wiederum das Wissen zu Praxisbeispielen von Industrie 4.0 für Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Das Beispiel ist zudem so angelegt, dass die Mitarbeitenden nicht nur ihre eigenen Ideen mit dem 3D-Druck umsetzen können, sondern auch die Planung, Umsetzung und Kontrolle in eine ganzheitliche Aufgabe integriert sind. Damit sollen auch Impulse für die Entwicklung ganzheitlicher Arbeitsaufgaben und lernförderlicher Arbeitsgestaltung gegeben werden.

5.2.3 Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion

Lernziele

Nach Abschluss des Weiterbildungsmoduls „Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion“ verstehen die Teilnehmenden, was bei der Kommunikation mit verschiedenen Zielgruppen zu beachten ist. Sie können den eigenen Produktionsprozess zielgruppenorientiert analysieren und zielgruppengerecht präsentieren. Sie können verschiedene Instrumente zur zielgruppenspezifischen Kommunikation anwenden. Die Teilnehmenden verstehen die verschiedenen Perspektiven im Unternehmen und können sich in diese hineinversetzen. Die Teilnehmenden können beurteilen, ob eine Lernsituation für die Umsetzung mit der Leittextmethode geeignet ist, diese konzipieren und durchführen.

Umsetzungsbeispiel

Das Weiterbildungsmodul gliedert sich in sieben Lerneinheiten (Abbildung 29). Eine übergeordnete Fallstudie zur Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung bildet den Rahmen des Moduls. In den einzelnen Lerneinheiten sollen die Teilnehmenden mit unterschiedlichen Methoden und Medien die Idee und erste Konzepte zur Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung mit verschiedenen Zielgruppen abstimmen.

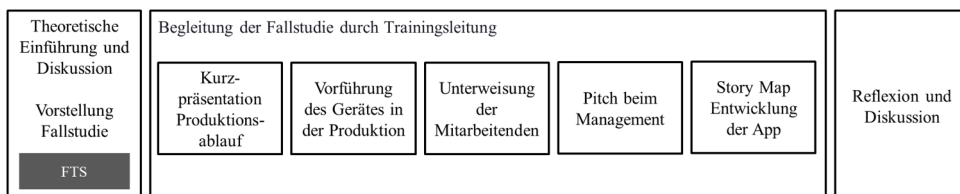


Abbildung 29: Weiterbildungsmodul – Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion (Quelle: Eigene Darstellung)

Zu Beginn des Weiterbildungsmoduls werden die theoretischen Grundlagen zum Modul von der Trainingsleitung in einem Kurzvortrag vorgestellt. Dazu wird eine Einführung in die Notwendigkeit und in Handlungsstrategien zum Perspektivenwechsel und zur Moderation heterogener Gruppen gegeben. Weiter werden die Grundlagen zur Kommunikation und Kooperation als Grundlage des Umgangs mit Menschen erarbeitet. Optional: Durchführung eines Rollenspiels zwischen der Trainingsleitung und einer Person aus der Gruppe der Teilnehmenden. In diesem Rollenspiel übernimmt die Trainingsleitung die Rolle einer Fachperson (bspw. ärztliche oder rechtsanwaltliche Fachperson) aus dem Alltag. Ziel ist es, den Teilnehmenden Herausforderungen in der Kommunikation zwischen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu veranschaulichen.

Anschließend findet eine Diskussion über diese theoretischen Aspekte und den Bezug zur Arbeitspraxis der Teilnehmenden statt. Ein wesentliches Element der Diskussion soll auch der Perspektivenwechsel sein. Mögliche Fragen für die Diskussion könnten sein:

- Welche Beteiligten sind für die Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung aus ihrer Sicht relevant?
- Welche Herausforderungen ergeben sich in der Kooperation und Kommunikation mit diesen Beteiligten?
- Wie kann die Perspektive der anderen Beteiligten erkundet und verstanden werden?
- Welche Erwartungen, Wünsche oder Befürchtungen haben verschiedene Beteiligte in Bezug auf die Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung?

Im weiteren Verlauf wird das Anwendungsbeispiel der Fallstudie durch die Trainingsleitung vorgestellt. Eine mögliche Industrie-4.0-Anwendung für die Fallstudie ist die Einführung eines FTS und die Entwicklung einer Anwendung (App) zur Kommunikation mit dem System (Tabelle 27).

Tabelle 27: Fahrerlose Transportsysteme (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Logistik soll entlastet werden. Heute sammeln die Mitarbeitenden der Produktionslogistik die leeren Kleinladungsträger auf einer Palette und transportieren sie mehrmals täglich manuell mit einem Handhubwagen zu einer zentralen Sammelstelle. Die Fertigprodukte werden auf Paletten an den Montagelinien abgeholt. Die Paletten mit den Fertigprodukten müssen regelmäßig von den Mitarbeitenden der Produktionslogistik zum Versand gebracht werden. Sie sollen prüfen, ob der Einsatz eines FTS in ihrem Bereich sinnvoll ist. Das System soll Paletten mit Kleinladungsträgern innerhalb einer Halle transportieren. Über eine App soll dem FTS ein Auftrag erteilt werden. Die Anwendung soll in die bestehende IT-Infrastruktur integriert werden.

Anschließend wird im Plenum diskutiert, wer über das Projekt informiert werden soll und wie die Idee und erste Konzepte gemeinsam erarbeitet werden können. Eine mögliche Variante könnte sein, ein FTS in der Produktion vorzuführen und auszuprobieren, eine Präsentation vor dem Management durchzuführen und die Entwicklung einer App für die IT zu beschreiben und zu diskutieren. Es sollen zielgruppengerechte Methoden und Medien eingesetzt werden. Die Aufgabe der Trainingsleitung besteht

auch darin, während der gesamten Fallstudie immer wieder die Rolle der Fachleute oder der involvierten Nicht-Fachleute zu übernehmen und Fragen zu den einzelnen Ausarbeitungen zu stellen.

Die Teilnehmenden sollen zunächst eine Kurzdarstellung des eigenen Produktionssystems erstellen. Ziel ist es vor allem, die innerbetriebliche Logistik als Grobkonzept zu erfassen und darzustellen. Die Teilnehmenden sollen sich auch mit den Arbeitsabläufen im Produktionsumfeld auseinandersetzen. Die Kurzpräsentationen werden anschließend im Plenum vorgestellt.

Im nächsten Lernmodul wird die Vorstellung des FTS vor den Mitarbeitenden in der Produktion simuliert. Zu diesem Zweck sollte ein FTS zur Verfügung gestellt werden. Dazu teilen sich die Teilnehmenden in Kleingruppen auf. Die Hälfte der Teilnehmenden jeder Kleingruppe übernimmt die Rolle der Mitarbeitenden in der Produktion. In Rollenspielen wird die Vorstellung des FTS simuliert und Ideen sowie Anforderungen der Mitarbeitenden in der Produktion gesammelt.

Anschließend soll mit der Leittextmethode (u. a. Schelten, 2002) eine Methode zur Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion vorgestellt und geübt werden. Die Trainingsleitung erläutert zu Beginn die Vorgehensweise und gibt mögliche Anwendungsbeispiele für den Einsatz in der Praxis. Anhand eines praktischen Beispiels wird die Leittextmethode vorgestellt. Beispiele hierfür könnten folgende sein:

- Wechsel zwischen automatischem und manuellem Betrieb
- Fahren des FTS in die Ladestation im manuellen Betrieb
- Einlernen von neuen Haltestellen und neuen Fahrtrouten
- Überwachung von Störungen und Anomalien am FTS mithilfe einer Software
- Wartungsaufgaben

Die Teilnehmenden sollen die Methode in Rollenspielen mit anderen Teilnehmenden selbst erproben. Die Teilnehmenden verfassen Leittexte zu einem der genannten Themen. Danach tauschen sie die Leittexte aus und nehmen die Rolle der Adressaten des Textes ein. Im Anschluss an die praktischen Übungen tauschen sich die Teilnehmenden über ihre Erfahrungen aus und diskutieren die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Leittextmethode. Die Trainingsleitung kann an dieser Stelle auch einen Vergleich mit der 4-Stufen-Methode ziehen, bei der die Mitarbeitenden in der Produktion weniger geistig eingebunden werden, sondern nur die praktische Ausführung gezeigt und geübt wird (Schelten, 2002). Wichtig erscheint dann auch die Erläuterung und Diskussion, warum die Leittextmethode der 4-Stufen-Methode vorzuziehen ist.

Anschließend wird die Präsentation der Idee zur Einführung des FTS vor dem Management geprobt. Die Teilnehmenden sollen hier üben, wie das Management von einer Idee begeistert und überzeugt werden kann. Dies soll durch eine Präsentation der Idee nach dem Konzept des „Elevator Pitch“²³ geschehen. Dazu wird zunächst ein beispielhafter Vortrag von der Trainingsleitung vorgestellt. Danach bereiten die Teil-

23 Unter einem „Elevator Pitch“ wird die Präsentation einer Geschäftsidee in kurzer Zeit verstanden. In Anlehnung an die Dauer einer Fahrstuhlfahrt sollte die Dauer 30 bis 60 Sekunden nicht überschreiten. Ziel ist es, den Adressaten neugierig zu machen und die Voraussetzungen für eine Einladung zu einem Termin zu schaffen. (Helmold et al., 2022, S. 151f.)

nehmenden einen eigenen „Elevator Pitch“ vor. Die Teilnehmenden sollen sich einen kurzen Vortrag vorbereiten und sich überlegen, welche Fragen ihnen in diesem Zusammenhang gestellt werden könnten. In Kleingruppen stellen sich die Teilnehmenden den „Elevator Pitch“ gegenseitig vor. Auch das gegenseitige Feedback und das Stellen und Beantworten kritischer Fragen soll geübt werden.

Damit Fachleute aus dem Bereich der Informationstechnologie eine App erstellen können, sollen die Teilnehmenden eine „Story Map“²⁴ für die App beschreiben. Dazu erklärt die Trainingsleitung zunächst die Hintergründe, was unter einer Story Map zu verstehen ist und wie eine Umsetzung erfolgen kann. Eine Möglichkeit ist die Beschreibung von Patton & Economy (2015), die über die Beschreibung eines Alltagsbeispiels in die Erstellung einer Story Map einführen (S. 73 f.). Mithilfe von Klebezetteln erstellen die Teilnehmenden in Kleingruppen eine Story Map zur Funktionsweise der App. Die Trainingsleitung unterstützt und gibt Hinweise und Verbesserungsvorschläge.

In einer abschließenden Phase der Reflexion und Diskussion wird das Modul gemeinsam kurz zusammengefasst. An dieser Stelle soll noch einmal ein Perspektivwechsel gewagt und die Herausforderungen, Ansprüche und Ängste anderer Beteiligter erkundet werden. Die Teilnehmenden sollen auch aufgefordert werden, von ihren eigenen Erfahrungen zu berichten. Gemeinsam sollen Lösungsstrategien diskutiert werden.

Begründung der Vorgehensweise und Lerneinheiten

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nehmen bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen eine Schnittstellenfunktion zwischen der Produktion und verschiedenen anderen Beteiligten ein (Kapitel 4.4.1). In diesem Weiterbildungsmodul sollen die Fähigkeiten der Teilnehmenden gefördert werden, in dieser Funktion Einfluss zu nehmen und Gestaltungsprozesse aktiv zu initiieren und zu steuern. Dazu müssen auch überfachliche Fähigkeiten gefördert werden.

Die empirische Untersuchung legt nahe, dass Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Prozess der Arbeit und im Umgang an praktischen Beispielen lernen (Kapitel 4.4.2). Die Umsetzung des Moduls durch eine Fallstudie zur Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung dient daher auch dazu, ein möglichst praxisnahes Umfeld zu schaffen. Als Beispiel wird ein Projekt zur Einführung eines FTS vorgeschlagen. Die empirische Untersuchung gibt auch Hinweise darauf, dass die Einführung eines FTS zu einer Aufwertung der Arbeit in der Produktion und zur Entlastung der Mitarbeitenden führen kann (Kapitel 4.5.1). Das Beispiel kann und soll an die betrieblichen Rahmenbedingungen angepasst werden.

Die Einführung in Fähigkeiten zur Kommunikation und Kooperation dient dazu, den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die theoretischen Grundlagen zu diesen Fähigkeiten zu vermitteln. Für die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind neben technologischem Wissen

24 Darstellung der Anforderungen an das Produkt in einer Form, die mit einer Landkarte vergleichbar ist. Die Produktanforderungen ergeben sich aus den Interaktionen der Nutzenden mit dem Produkt. (Patton & Economy, 2015)

und Können auch die angeführten überfachlichen Fähigkeiten von Bedeutung. Die Einführung über die Theorie dient dazu, den Teilnehmenden die Hintergründe und Bedeutung zu erläutern. Mit den theoretischen Konzepten sollen auch Handlungsstrategien für den Transfer in die Praxis zur Verfügung gestellt werden. Auch im Rahmen der Evaluation wurde in mehreren Gesprächen der Wunsch nach einer theoretischen Einführung zu Beginn des Moduls zum Ausdruck gebracht (Kapitel 5.3).

Eine wichtige Grundlage für die Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist das Wissen über das eigene Produktionssystem. Wissen und Erfahrung über Produktionsabläufe, -strukturen und -prozesse werden auch in der Praxis als wichtig erachtet (Kapitel 4.4.2). Die Teilnehmenden sollen sich daher mit den komplexen Zusammenhängen in ihren eigenen Produktionssystemen auseinandersetzen und üben, diese zu verbalisieren und darzustellen.

Beteiligte und Schnittstellen, mit denen die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung bei der Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung zusammenarbeiten, sind u. a.: Mitarbeitende in der Produktion, Fachleute aus dem Bereich der Informationstechnologie und das Management.

In diesem Modul sollen die Teilnehmenden die Inhalte zu wesentlichen Teilen selbst in Gruppen erarbeiten und in Rollenspielen anwenden. Es sollen verschiedene Möglichkeiten des zielgruppengerechten Informationsaustausches vorgestellt werden. So wird für jede der drei oben genannten Beteiligten beispielhaft eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie der Austausch von Informationen und Ideen erfolgen kann. Durch diese Vorgehensweise sollen die Teilnehmenden üben, mit verschiedenen Zielgruppen zu kommunizieren und zusammenzuarbeiten. Sie sollen sich mit den möglichen Zielen und Vorgehensweisen der anderen Beteiligten vertraut machen. Dadurch soll auch ein Perspektivenwechsel ermöglicht werden. Dies soll die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in ihrer Schnittstellenfunktion und in ihrer Wirkung als Vertretung der Produktion unterstützen.

Die simulierte Demonstration und Erprobung des FTS mit den Mitarbeitenden in der Produktion soll durchgeführt werden, weil es nach Einschätzung der Beschäftigten aus der Produktionsplanung und -steuerung wichtig ist, die Mitarbeitenden in der Produktion selbst an den Systemen ausprobieren zu lassen (Kapitel 4.5.2). Auch aus Sicht der Berufsbildungsforschung ist es wichtig, dass die Mitarbeitenden aus der Produktion möglichst früh im Einführungsprozess Erfahrungen an den Maschinen und Anlagen sammeln und mitgestalten können (Kapitel 2.2.1).

Die Teilnehmenden werden mit der Leittextmethode vertraut gemacht, um einen planmäßigen Ansatz für die Unterweisung der Mitarbeitenden in der Produktion in umfangreichen Tätigkeiten zu erlernen. Mit der Leittextmethode soll Wissen und Können über eine Tätigkeit vermittelt werden, und zwar im Rahmen einer vollständigen Handlung: Information, Planung, Entscheidung, Ausführung, Kontrolle, Bewertung. Die Mitarbeitenden in der Produktion werden damit auch weiter systematisch zum Nachdenken über die zu bewältigende Arbeitstätigkeit angeleitet. (Schelten, 2002) Ferner werden die Mitarbeitenden in der Produktion durch die Leittextmethode weiter zur Mitgestaltung befähigt. Sie werden bewusst zum Nachdenken, Hinterfragen und Ver-

bessern von Arbeitsprozessen und Technik angeregt. Auch die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung halten die Information und Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion über die eigentliche Tätigkeit hinaus in Trainings für wichtig (Kapitel 4.5.2). In der empirischen Untersuchung wurden Situationen wie die Einweisung von Mitarbeitenden in der Montage bei der Einführung eines neuen Produktes thematisiert. In dieser exemplarischen Situation der Unterweisung ist das Demonstrieren, Erproben und Einüben am realen Objekt wichtig. (Kapitel 4.4.1). Dies wird im Weiterbildungskonzept auch konkret an einem Beispiel der Wartung und Instandhaltung eines FTS geübt. So können die Teilnehmenden den Umgang mit der Methode erlernen und haben auch einen Bezug zu den Einsatzmöglichkeiten. Darüber hinaus werden Impulse gegeben, welche Aufgaben den Mitarbeitenden in der Produktion beim Einsatz von FTS übertragen werden können. Die Aufgaben wurden so gewählt, dass das FTS für die Mitarbeitenden in der Produktion nicht zu einem undurchschaubaren System wird, sondern dass sie den aktuellen Betriebszustand einsehen und sowohl Wartungs- als auch Gestaltungsaufgaben durchführen können. Der Vergleich mit der 4-Stufen-Methode soll den Teilnehmenden auch verdeutlichen, dass bei anderen Formen einer Unterweisung die Mitarbeitenden in der Produktion nicht aktiv einbezogen und zum Hinterfragen angeregt werden. Vielmehr wird ein Arbeitsprozess detailliert vorgegeben, der von den Mitarbeitenden in der Produktion möglichst identisch umgesetzt werden soll.

Das Lernelement zur Präsentation einer Idee mit der Vorgehensweise des „Elevator Pitch“ soll die Beschäftigten befähigen, ihre Ideen auch gegenüber dem Management gekonnt zu platzieren. Ideen und Vorschläge zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen erfordern häufig die Freigabe von personeller Unterstützung oder Kapital zur Umsetzung. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sollen daher qualifiziert und ermutigt werden, sich zu zeigen und das Management für gute Ideen zu begeistern.

Für eine erfolgreiche Kommunikation mit Fachleuten aus dem Bereich der Informationstechnologie ist eine Einführung in das Erstellen einer „Story Map“ vorgesehen. Dies soll die Beschäftigten auch qualifizieren, die Abläufe und Prozesse bei der Erstellung von Software besser zu verstehen. Durch dieses bessere Verständnis sollen auch die Möglichkeiten zur Initiierung und Gestaltung von Anwendungen durch die Teilnehmenden gefördert werden. Darüber hinaus werden die Teilnehmenden erneut angeregt, über die Abläufe in ihrem Verantwortungsbereich nachzudenken.

In der Abschlusss Diskussion wird der Schwerpunkt noch einmal auf den Perspektivenwechsel gelegt. Die Evaluation der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung hat gezeigt, dass für sie die Fähigkeit zum Perspektivenwechsel von zentraler Bedeutung ist. Für die Erarbeitung gemeinsamer Entscheidungen ist es wichtig, die Perspektive der anderen Beteiligten zu verstehen (Kapitel 5.3).

5.2.4 Technikgestaltung und Arbeitsorganisation

Lernziele

Nach Abschluss des Weiterbildungsmoduls „Technikgestaltung und Arbeitsorganisation“ verstehen die Teilnehmenden, dass heute vorgenommene Gestaltungen in der Produktion die Zukunft der Arbeit und Qualifikation in der Produktion (und auch der Produktionsplanung und -steuerung) mitbestimmen. Sie verstehen, dass mit der Einführung neuer Technologien oder Organisationsformen auch weniger vorhersehbare Risiken verbunden sein können. Die Teilnehmenden sind in der Lage, verschiedene Formen der Organisation aufzuzählen und deren Auswirkungen auf die Arbeit und Bildung der Mitarbeitenden abzuschätzen. Sie verstehen, dass es Wechselwirkungen zwischen Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden gibt. Die Teilnehmenden hinterfragen den Einsatz von Technik und können Hypothesen zu den Folgen aufstellen. Sie können verschiedene (technologische) Innovationen der betrieblichen Bildung benennen und deren Einsatzmöglichkeiten für das eigene Produktionssystem einschätzen.

Umsetzungsbeispiel

Dieses Weiterbildungsmodul besteht aus sechs Lerneinheiten (Abbildung 30). Das Modul beginnt mit einem Kurzvortrag zur Gestaltbarkeit von Industrie 4.0 durch die Trainingsleitung. Anschließend sollen sich die Teilnehmenden im Rahmen einer Gruppenarbeit mit den historischen Veränderungen der Arbeit auseinandersetzen. Zudem werden (technologische) Innovationen in der betrieblichen Bildung von den Teilnehmenden in Einzelarbeit erschlossen. Danach stellt die Trainingsleitung verschiedene Möglichkeiten der Arbeitsorganisation vor. Die nächste Lerneinheit besteht aus einer parallelen Gruppenarbeit zur Gestaltung von Technik. Abschließend wird ein Anwendungsbeispiel zur Matrix-Produktion nach Greschke & Herrmann (2014) vorgestellt. Die einzelnen Module werden durch Diskussionen und den Austausch von Erfahrungen ergänzt.

Kurzvortrag/ Diskussion	Gruppenarbeit/ Diskussion	Einzelarbeit/ Diskussion	Kurzvortrag/ Diskussion	Gruppenarbeit	Kurzvortrag/ Diskussion
Wir entscheiden wie die Zukunft aussehen soll	Veränderungen von Arbeit während den Industriellen Revolutionen	Innovationen der betrieblichen Bildung	Möglichkeiten der Arbeits- organisation	Gestaltung von Technik	Matrix- Produktion

Abbildung 30: Weiterbildungsmodul – Arbeitsorganisation und Technikgestaltung (Quelle: Eigene Darstellung)

Zu Beginn des Moduls ist ein Impulsvortrag durch die Trainingsleitung vorgesehen. Der Vortrag soll aufzeigen, dass es keinen Determinismus der Technik gibt, sondern dass wir es sind, die Industrie 4.0 und die Arbeit der Zukunft gestalten. Dazu werden Beispiele angeführt, wie der Einsatz einer Technologie unterschiedliche Auswirkungen auf die Arbeit und die Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden in der Produktion haben kann. Als ein Beispiel können etwa die von Windelband & Dworschak (2018)

beschriebenen unterschiedlichen Konzepte zum Einsatz von Leichtbaurobotern und deren Auswirkungen auf die Arbeit und Qualifikation in der Produktion dienen. In einer Diskussion sollen auch die Teilnehmenden ihre Erfahrungen einbringen und eigene Beispiele und Lösungsstrategien erläutern.

Im nächsten Lernelement sollen die Teilnehmenden in Gruppenarbeit die Veränderungen von Technologie, Arbeit und Qualifikation in den verschiedenen Phasen der industriellen Revolutionen erarbeiten und anschließend im Plenum vorstellen. Als grobe Orientierung können folgende Anhaltspunkte dienen:

- *Erste Industrielle Revolution:* Mechanische Produktionsanlagen, Wasser und Dampf, Webstühle in England, Fabrik statt Heimarbeit
- *Zweite Industrielle Revolution:* Massenproduktion, Elektrizität, Automobilproduktion und Schlachthöfe, Taylorismus
- *Dritte Industrielle Revolution:* Elektronik und Informationstechnologie, Automatisierung von Arbeitsschritten, Wissensarbeit
- *Vierte Industrielle Revolution:* Verknüpfung von realer und digitaler Welt, weitere Automatisierung, Freiheit, Selbstständigkeit und Teilhabe oder digitaler Taylorismus?

Es soll eine Diskussion darüber angestoßen werden, wie sich Arbeit auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 verändern könnte. Weiterhin soll diskutiert werden, was lohnenswerte Ziele für die Arbeit der Zukunft sein könnten. Als methodische Unterstützung können hier auch das 9-Felder-Denken aus dem Konzept des erfinderischen Problemlösens (Meitinger et al., 2023) oder Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse (Kosow & Gaßner, 2008) eingesetzt werden. Die Teilnehmenden sollen auch die Möglichkeit haben, ihre Erfahrungen einzubringen: Haben Sie in Ihrem eigenen Arbeitsfeld bereits Veränderungen von Arbeit und Qualifizierung durch Digitalisierung wahrgenommen?

Eine weitere Lerneinheit ist die eigene Erarbeitung verschiedener (technologischer) Innovationen im Bereich der betrieblichen Bildung durch die Teilnehmenden. Sie sollen darüber nachdenken, welche Innovationen im Zusammenhang mit Digitalisierung und Industrie 4.0 auch für die betriebliche Bildung genutzt werden können. Dazu gibt die Trainingsleitung an verschiedenen Stellen Impulse und Informationen, um die Teilnehmenden in ihrer Arbeit zu unterstützen. Mögliche Beispiele sind u. a.:

- Offene Onlinekurse (u. a. Deimann & Friedl, 2020)
- Selbstgesteuertes Mikro-Lernen (u. a. Ahrens et al., 2018)
- Lernfabriken (u. a. Teichmann et al., 2022)
- Lernen mit virtueller Realität (u. a. Jenewein, 2018a)
- Gamification im Kontext des betrieblichen Lernens (u. a. Heilbrunn & Sammet, 2017)

Die Teilnehmenden sollen selbst im Internet recherchieren und die Informationen in einem Online-Whiteboard aufbereiten. Zum Abschluss werden die Ergebnisse gemeinsam im Plenum zusammengeführt und die Anwendungspotenziale und Herausforderungen der einzelnen Innovationen diskutiert.

Im weiteren Verlauf werden in einem Kurzvortrag der Trainingsleitung verschiedene Möglichkeiten der Organisation der Produktion vorgestellt. Es werden verschiedene Organisationstypen der Produktion erläutert (Abbildung 31).

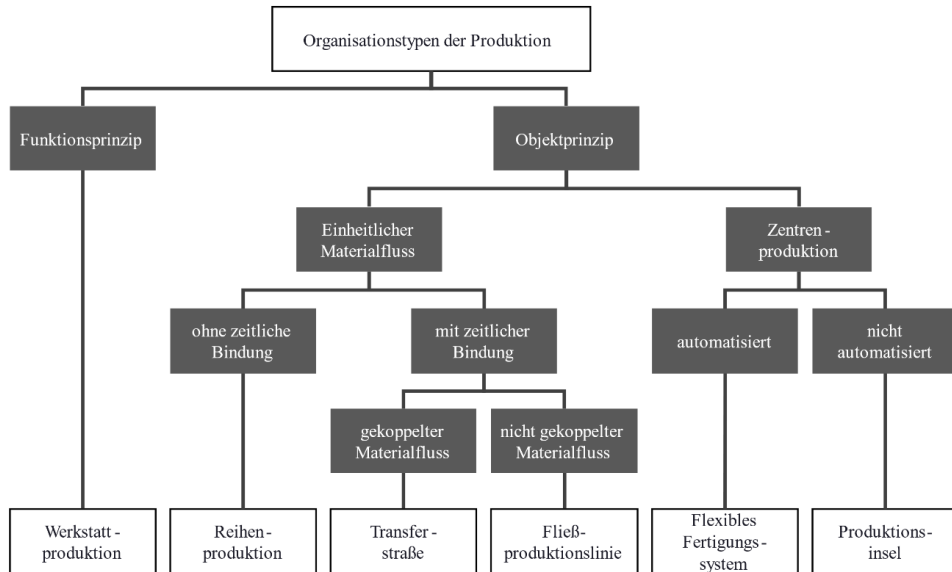


Abbildung 31: Organisationstypen der Produktion (Quelle: Eigene Darstellung nach Günther & Tempelmeier, 2020, S. 11)

Dabei geht es um die geeignete Organisation der Produktion in Abhängigkeit von Art und Menge der hergestellten Produkte. Die Gestaltung der Technik wird im Zusammenhang mit den verschiedenen Organisationsformen diskutiert. Die Auswirkungen dieser organisatorischen Gestaltung auf die Arbeit der Mitarbeitenden in der Produktion sollen ebenfalls untersucht werden. Ebenso sollen Möglichkeiten des Arbeitswechsels, der Arbeitsausweitung und der Arbeitserweiterung („Job-Rotation“, „Job-Enlargement“ und „Job-Enrichment“) vorgestellt und diskutiert werden (Marrenbach & Geiger, 2019). In einer Diskussion über verschiedene Möglichkeiten der Organisation der Produktion sollen die Teilnehmenden Erfahrungen über Organisationsformen in ihrem Produktionssystem austauschen.

Anschließend soll eine parallele Gruppenarbeit zur Technikgestaltung durchgeführt werden. Es sollen mehrere Gruppen gebildet werden, die sich mit folgenden Fragen beschäftigen:

- Welche Anforderungen müssen bei der Gestaltung von Technik berücksichtigt werden? Betrachtung aus folgenden Perspektiven: Kunden, betrieblich Beschäftigte (aus technischer Produktionsplanung und -steuerung, Produktion und Instandhaltung) und Gesellschaft.
- Wie können Produktionssysteme so gestaltet werden, dass einerseits die für einen effizienten Betrieb notwendige Transparenz gegeben ist und andererseits die persönlichen Daten der Mitarbeitenden geschützt werden?

Die Ergebnisse der parallelen Gruppenarbeit werden im Plenum vorgestellt und diskutiert.

Im abschließenden Lernelement wird das Konzept der Matrix-Produktion von der Trainingsleitung vorgestellt (Tabelle 28). Insbesondere sollen Praxisbeispiele vorgestellt und gemeinsam untersucht werden. Es werden mögliche Einflüsse auf Arbeitsorganisation und die Qualifikation der Mitarbeitenden diskutiert.

Tabelle 28: Matrix-Produktion (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Matrix-Produktion soll eine flexible Fließfertigung ohne Taktung ermöglichen. Die Arbeitsstationen sind in Form einer Matrix angeordnet. Ein flexibles Transportsystem (z. B. FTS) ermöglicht den Transport der Produkte zwischen den einzelnen Arbeitsstationen. Die Produkte steuern nur die Arbeitsstationen an, die für ihre Bearbeitung erforderlich sind. Durch redundante und parallele Arbeitsstationen erfolgt ein Abgleich zwischen Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf. Eine Steuerungslogik soll durch geeignete Zuordnung der Produkte zu den Arbeitsstationen eine hohe Auslastung des Gesamtsystems sicherstellen. (Greschke & Herrmann, 2014, S. 688; Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 & acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2022)

Der Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 & acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2022) hat verschiedene Matrix-Produktionssysteme aus der Praxis analysiert und beschrieben:

- Halbleiterproduktion bei Infineon Dresden
- Fertigung von Karosserien bei Daimler Truck Peking
- Montage von Antriebskomponenten bei SEW-EURODRIVE Bruchsal
- Baugruppen-Vormontage bei Audi Ingolstadt
- Komponentenfertigung und -prüfung bei XENON Dresden
- Software zur Steuerung einer Matrix-Produktion SAP
- Integration von fahrerlosen Transportsystemen bei NODE Robotics

Abschließend werden die Teilnehmenden gebeten, die Erkenntnisse aus dem Modul für ihre tägliche Arbeit in Bezug auf die Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen zu beschreiben. In einer gemeinsamen Diskussion werden die Lernziele des Moduls rückblickend zusammengetragen und die Zielerreichung besprochen.

Begründung der Vorgehensweise und Lerneinheiten

Der Impulsvortrag zur Gestaltbarkeit einer Industrie 4.0 zu Beginn des Moduls soll die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung dafür sensibilisieren, dass sie es sind, die die Zukunft der Arbeit in der Industrie mitgestalten. Inwieweit die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung bewusst darüber nachdenken, dass sie mit jeder Technologieeinführung auch Aspekte der Arbeit und Qualifikation der Beschäftigten in der Produktion mitgestalten, kann durch die empirische Untersuchung nicht abschließend geklärt werden (Kapitel 4.6). Eine Auseinandersetzung mit diesen (wechselseitigen) Zusammenhängen soll daher angeregt werden. Das Beispiel der Leichtbauroboter von Windelband & Dworschak (2018) dient dazu, die Thematik von einer abstrakten Ebene auf konkrete und zugängliche Beispiele zu übertragen.

Mit der Lerneinheit zu (technologischen) Innovationen in der betrieblichen Bildung sollen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch mit den Möglichkeiten von Innovationen im Bereich des betrieblichen Lernens vertraut gemacht werden. Es soll ein Anstoß gegeben werden, neue Technologien auch

zur Verbesserung der Qualifikation der Mitarbeitenden zu verwenden. Darüber hinaus soll das Interesse der Beschäftigten geweckt werden, sich weiter mit Aspekten des betrieblichen Lernens zu beschäftigen. Die Beschäftigten können Impulse für den Einsatz neuer Technologien für das Lernen im Betrieb geben und damit die Qualifikation im Betrieb stärken.

Die Gruppenarbeit zu den Veränderungen von Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden im Zuge industrieller Revolutionen soll das Verständnis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung für die Zusammenhänge weiter schärfen. Es soll erarbeitet werden, dass die Einführung neuer Technologien die Produktionsarbeit verändern kann. Dies kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Arbeit und die Qualifikation des Einzelnen und der Gesellschaft haben. Die Beschäftigten sollen daher lernen, bei Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen mit Technik situationsbezogen über mögliche Auswirkungen nachzudenken.

Die empirische Untersuchung hat gezeigt, dass körperliche Arbeitsbelastungen in der Produktion im Fokus stehen, mentale Arbeitsbelastungen und Aspekte einer lernförderlichen Arbeitsgestaltung hingegen weniger Aufmerksamkeit erhalten. Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von Fähigkeiten und zur Persönlichkeitsentwicklung setzen Handlungsspielräume und eine angemessene mentale Belastung voraus (Volpert & Weber, 2018, S. 399). Mit dem Vortrag und der anschließenden Diskussion über verschiedene Organisationsformen sollen auch Möglichkeiten und Aspekte zur Reduzierung der mentalen Arbeitsbelastung und der Gestaltung einer lernförderlichen Arbeitsumgebung in den Mittelpunkt gerückt werden.

Mit der parallelen Gruppenarbeit zu Fragen der Technikgestaltung werden die Teilnehmenden dazu angeregt, über praktische Lösungen nachzudenken. Dabei sollen sie Ideen und Überlegungen für ihre eigene Arbeitspraxis entwickeln. Bei der Erarbeitung von Lösungsansätzen werden auch Zielkonflikte zwischen den Teilnehmenden deutlich, die einen Perspektivwechsel erfordern. Der Umgang mit Datenschutz ist für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ein wichtiges und herausforderndes Thema, daher soll über praktische Lösungsansätze nachgedacht werden (Kapitel 4.2).

Ein modulares, flexibles Fertigungskonzept, das mit FTS vernetzt ist, wird von einem der interviewten Personen als interessantes Projekt für die Zukunft beschrieben (Kapitel 4.3). Dies wurde auch für das Weiterbildungskonzept aufgegriffen. Mit der Matrix-Produktion wird den Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung eine weitere Industrie-4.0-Anwendung vorgestellt. Die Organisation der Produktion nach dem Konzept der Matrix-Produktion steht in engem Zusammenhang mit dem Wandel zu einer Industrie 4.0 (Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 & acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2022). Weiter bietet diese Art der Organisation nach der Ansicht von Greschke & Herrmann (2014) ein großes Potenzial zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Auch dieses Konzept kann in der Praxis unterschiedlich gestaltet werden. Zum einen könnten klassische Fertigungsinseln lose miteinander verbunden werden. Getaktete Fließbänder könnten durch flexi-

ble FTS ohne Taktbindung ersetzt werden. Dies bietet Chancen für die Arbeit und die Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion. Andererseits erscheint auch die Aufteilung der Arbeit in kleine Arbeitsschritte und die Steuerung des Systems durch eine zentrale Instanz möglich. Die Teilnehmenden sollen die Gestaltungsmöglichkeiten dieser Industrie-4.0-Anwendung als aktuelles Praxisbeispiel verstehen und das Nachdenken über die Auswirkungen auf die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden üben.

5.2.5 Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem

Lernziele

Nach Abschluss des Weiterbildungsmoduls „Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem“ können die Teilnehmenden eine Zielvorstellung ihres Produktionssystems mit Industrie-4.0-Anwendungen entwickeln. Sie betrachten dabei die verschiedenen Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden sowie die wechselseitigen Zusammenhänge und bewerten die Auswirkungen potenzieller Projekte. Die Teilnehmenden können aus einem abstrakten Zukunftsbild von Industrie 4.0 ein konkretes Projekt entwickeln. Sie können einen strukturierten Ablauf des Projektes planen, das Projekt durchführen und Lösungsvorschläge für auftretende Herausforderungen erarbeiten. Die Teilnehmenden können ein einfaches Trainingskonzept im Kontext der Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung entwerfen und durchführen.

Umsetzungsbeispiel

In diesem Weiterbildungsmodul bearbeiten die Teilnehmenden ein eigenes Projekt (Abbildung 32). Sie sollen zunächst überlegen, wie das von ihnen betreute Produktionssystem langfristig verbessert werden kann und eine Zielvorstellung mit Industrie-4.0-Technologien entwickeln. Im nächsten Schritt sollen sie aus der abstrakten Zielvorstellung ein konkretes Projekt ableiten. Anschließend sollen sie das Projekt eigenständig planen und umsetzen. Weiter sollen sie ein Konzept zum Training der Mitarbeitenden entwerfen und durchführen.

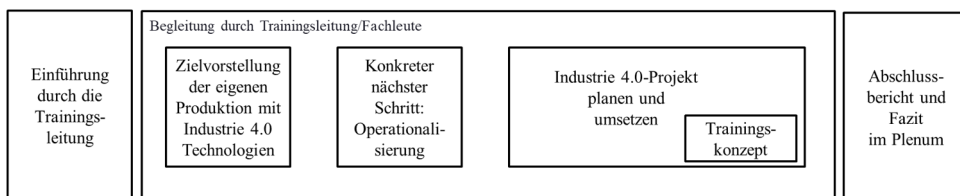


Abbildung 32: Weiterbildungsmodul – Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem (Quelle: Eigene Darstellung)

In diesem Weiterbildungsmodul setzen die Teilnehmenden ein eigenes Industrie-4.0-Projekt um. Dabei werden sie von der Trainingsleitung oder Fachleuten begleitet. Zu Beginn ist es wichtig, die Teilnehmenden über die Anforderungen und den Zeitauf-

wand des Projektes zu informieren. Sie sollen die Möglichkeit erhalten, das Projekt frühzeitig in ihren Arbeitsalltag einzuplanen und in ihrem Arbeitsbereich abzustimmen. Anhand eines Beispiels soll den Teilnehmenden der Ablauf eines vergleichbaren Projektes veranschaulicht werden. Auch im Beispielpjekt soll eine Zielvorstellung der Produktion, die Umsetzung eines konkreten Projektes und ein Konzept für das Training der Mitarbeitenden in der Produktion erläutert werden.

In einem ersten Schritt sollen die Teilnehmenden eine Zielvorstellung²⁵ für das von ihnen betreute Produktionssystem mit Industrie-4.0-Technologien entwickeln. Dazu sollen sie zunächst die aktuellen Produktionsprozesse, die Technologien zur Unterstützung der Produktionsprozesse und Aspekte zur Arbeit und Qualifikation in ihrem Produktionssystem erarbeiten. Sie sollen sich überlegen, wie die Produktion und die Prozesse in ihrem Umfeld in fünf Jahren aussehen könnten. Die folgenden Fragen können als Hilfestellung dienen:

- Wo liegen die derzeitigen Schwachstellen?
- Wo sehen andere Beteiligte die Schwachstellen (Management, Mitarbeitende in der Produktion usw.)?
- Wie könnte die Wirtschaftlichkeit durch den Einsatz von Technologie verbessert werden?
- Wie könnten die Arbeitsbedingungen in der Produktion verbessert werden?

Insgesamt sollte sich die Ausarbeitung um die Frage drehen, wie durch den Einsatz von Technologien und Konzepten einer Industrie 4.0 das Produktionssystem nach verschiedenen Kriterien verbessert werden kann. Dabei sind auch die Perspektiven und wechselseitigen Beziehungen zwischen Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden zu berücksichtigen. Zum Abschluss dieser Phase stellen die Teilnehmenden den Ist-Zustand und eine mögliche Zielvorstellung im Plenum vor.

Anschließend soll der nächste Schritt auf dem Weg zu dieser Zukunftsvorstellung festgelegt werden. Dieser nächste Schritt soll dann als Projektsteckbrief definiert und im Plenum vorgestellt werden. Als Projekt für die Projektarbeit kann auch ein bereits geplantes oder laufendes Projekt verwendet werden. Dabei sollen auch mögliche Veränderungen durch Umsetzung des Projektes in Bezug auf die Arbeit und Bildung/Kompetenz der Mitarbeitenden berücksichtigt werden.

Im Anschluss daran wird mit der Planung und Umsetzung des Projektes begonnen. Bei der Umsetzung ist auch auf einen strukturierten Ansatz mit der Anwendung von Methoden des Projektmanagements und auf die gezielte Information und den Austausch mit den Beteiligten zu achten. Die Teilnehmenden sollen an dieser Stelle auch ein Konzept für das Training der Mitarbeitenden in der Produktion entwerfen und umsetzen. Dabei ist darauf zu achten, dass neben den eigentlichen auszuführenden Tätigkeiten auch Hintergrundinformationen zur Industrie-4.0-Anwendung und Möglichkeiten der Gestaltung erläutert werden.

25 Wenn es eine konkrete Strategie oder Zielvorgaben seitens des Unternehmens gibt, sollten diese natürlich an dieser Stelle berücksichtigt werden.

Zum Abschluss des Weiterbildungsmoduls stellen die Teilnehmenden ihre Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Projektarbeit vor. Hier wird nochmals der Bezug zu den anderen Modulen hergestellt. Die Teilnehmenden sollen die Einführung der Industrie-4.0-Anwendung als Gesamtprojekt vorstellen (Beispiel einer Industrie-4.0-Anwendung). Sie sollen über ihre Erfahrungen mit Herausforderungen und Lösungsansätzen in der Zusammenarbeit mit anderen Beteiligten berichten (Agieren als Schnittstellenfunktion). Es geht auch darum, zu beschreiben, wie sie vorgegangen sind, um die Mitarbeitenden in der Produktion einzubeziehen (Einführungsprozesse kooperativ gestalten). Sie reflektieren die Auswirkungen ihres Projektes auf die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion (Technikgestaltung und Arbeitsorganisation). Sie stellen das Trainingskonzept und ihre Erfahrungen als Lehrende im Plenum vor.

Am Ende des Moduls soll ein gemeinsames Resümee über die gesamte Weiterbildungsmaßnahme gezogen werden. Die Teilnehmenden sollen berichten, was sie in den einzelnen Modulen gelernt haben, und vor allem ihre Wünsche für die Zukunft dieser Weiterbildungsmaßnahme äußern.

Begründung der Vorgehensweise und Lerneinheiten

In diesem Modul werden die in den einzelnen Modulen erlernten theoretischen Aspekte und praktischen Übungen von den Teilnehmenden anhand einer Projektarbeit in die Praxis übertragen. Dies soll die Fähigkeit der Teilnehmenden zur Lösung von Problemen fördern und den Transfer des in den anderen Modulen erworbenen Wissens und Könnens in die Praxis sicherstellen. Darüber hinaus soll das bereits etablierte Lernen im Prozess der Arbeit und das selbstständige Lernen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gefördert werden (Kapitel 4.4.2).

Es soll frühzeitig ein erkennbarer Praxisnutzen für die Teilnehmenden und das Unternehmen geschaffen werden. Dadurch soll die Akzeptanz des Weiterbildungskonzeptes gefördert werden. Die Relevanz und Wirksamkeit einer ähnlichen Strategie wurde von einer Person in den Interviews beschrieben (Kapitel 4.4.2).

Die Auseinandersetzung mit den aktuellen Produktionsprozessen, der technologischen Unterstützung und der Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion soll die Teilnehmenden dazu anregen, über das von ihnen betreute Produktionssystem aus verschiedenen Perspektiven nachzudenken. Durch die Entwicklung einer Zielvorstellung sollen sich die Teilnehmenden bewusst mit wünschenswerten Veränderungen auseinandersetzen. Unter anderem wurde in der empirischen Untersuchung darauf hingewiesen, dass es wichtig ist, bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen eine Vorstellung von der Zukunft zu entwickeln (Kapitel 4.4.2). Darüber hinaus wird durch das Erarbeiten von wünschenswerten Verbesserungen und die Entwicklung einer Zielvorstellung auch der nachvollziehbare Zweck des Einsatzes einer Industrie-4.0-Anwendung sichergestellt (Kapitel 4.5.3).

Die Phase der Operationalisierung soll den Teilnehmenden helfen, aus einer Idee oder einer abstrakten Zielvorstellung einen ersten konkreten Schritt abzuleiten und ein Projekt zu definieren. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung

sollen ihr Wissen und Können in der strukturierten Planung und Durchführung von Projekten weiter verbessern. Sie sollen verschiedene Methoden des Projektmanagements anwenden. Damit sollen die organisatorischen Fähigkeiten und das Wissen und Können im Projektmanagement der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gestärkt werden (Kapitel 4.4.2). Ein wesentlicher Aspekt der Einführung einer Industrie-4.0-Anwendung ist die umfassende Qualifikation der Mitarbeitenden. Mit der Entwicklung eines einfachen Trainingskonzeptes sollen die in den anderen Modulen einzeln und teilweise theoretisch betrachteten Aspekte zur Gestaltung betrieblicher Trainings in die Praxis umgesetzt werden. Durch die Vorstellung des Projektes im Plenum sollen die Präsentationsfähigkeiten der Teilnehmenden verbessert werden. Die Vorträge dienen auch dem gemeinsamen Erfahrungsaustausch. Die Teilnehmenden sollen von den Herausforderungen und Lösungsstrategien der anderen Teilnehmenden lernen. Außerdem sollen Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen ausgetauscht werden. Bei Bedarf können sich die Teilnehmenden in Zukunft bei ähnlichen Ideen untereinander in Verbindung setzen. Das Feedback am Ende des Trainings dient der Evaluation und Weiterentwicklung des Weiterbildungskonzeptes.

5.3 Evaluation der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes

Nach dem Entwurf einer Lösung für die praktische Problemstellung und der Erarbeitung erster Gestaltungsprinzipien sieht der Prozess des DBR vor, diese Komponenten mit der Praxis zu evaluieren und zu verfeinern (Euler & Sloane, 2018; Euler, 2014). Auch im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurden die Gestaltungsprinzipien und der entwickelte Prototyp des Weiterbildungskonzeptes mit der Praxis diskutiert und geschärft.

Die Erfahrungen aus der Praxis wurden durch die interviewten Personen aus der Berufsuntergruppe der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung eingebracht (Kapitel 3.1.2). Da es sich bei der Entwicklung einer Intervention im Rahmen des DBR zunächst um eine auf einen engen Kontext beschränkte Lösung handeln soll, wurde hier der gleiche Kontext wie für die empirische Untersuchung gewählt. Daher wurden die interviewten Personen bewusst auch für das Feedback als geeignete Forschungsteilnehmende ausgewählt (Kapitel 4.1, Tabelle 21).

In einem Gespräch mit jedem einzelnen der Forschungsteilnehmenden wurden die Gestaltungsprinzipien und die Hintergründe für die Notwendigkeit jedes einzelnen Prinzips erläutert. Des Weiteren wurden die einzelnen Weiterbildungsmodule und Hintergründe ausführlich durch den Forscher erläutert. Zu Beginn wurde thematisiert, dass das Ziel des Gesprächs kein Vortrag sein soll, sondern ein offener Austausch über die Gestaltungsprinzipien und das Weiterbildungskonzept. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden auch Fragen an die Forschungsteilnehmenden gestellt. So wurde nach Verbesserungsvorschlägen, Meinungen zu einzelnen Aspekten oder ab-

schließlich auch danach gefragt, ob aus Sicht der Forschungsteilnehmenden grundsätzliche Aspekte fehlen. Für jedes Gespräch wurde eine Dauer von einer Stunde angesetzt. Die Länge der Kommentare der einzelnen Forschungsteilnehmenden in den Feedbackgesprächen war sehr unterschiedlich. Zum Teil gab es nur wenige und vereinzelte zustimmende Impulse, zum Teil eine intensive und positive Diskussion des Themenkomplexes, aber auch abweichende Meinungen und konstruktive Hinweise zur Anpassung der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes. Die Rückmeldungen wurden durch Anpassungen der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes eingearbeitet und so beides geschärft. Aus Gründen der Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Forschungs- und Entwicklungsprozesses ist die erste Fassung der Gestaltungsprinzipien unverändert als Anhang angefügt.

Die Informationen und Anmerkungen der Forschungsteilnehmenden wurden vom Forscher während des Gesprächs stichpunktartig dokumentiert. Im Folgenden werden die Rückmeldungen aus der Evaluation zusammengefasst und die Änderungen am Weiterbildungskonzept und an den Gestaltungsprinzipien dargestellt.

Gestaltungsprinzipien

Die Gestaltungsprinzipien wurden von den Forschungsteilnehmenden durchwegs als nachvollziehbar und angemessen beurteilt. Zu den folgenden Gestaltungsprinzipien wurden ergänzende Anmerkungen und Vorschläge gemacht.

2) Fachübergreifende Fähigkeiten sind zu berücksichtigen. Dazu gehören insbesondere soziale Fähigkeiten, organisatorische Fähigkeiten, die Fähigkeit zur Problemlösung und die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu moderieren.

Der Begriff „Tech-Translation“ in der ursprünglichen Fassung des Gestaltungsprinzips hat zu Missverständnissen geführt (u. a. B6, B8). Der Begriff wurde lediglich als Übersetzung zwischen verschiedenen technischen Disziplinen verstanden. Es geht dabei aber auch um die Fähigkeiten, den Informationsaustausch zwischen Fachleuten und Nicht-Fachleuten und gemeinsame Entscheidungen zu fördern. Der Begriff wurde gestrichen und das Gestaltungsprinzip sinngemäß umformuliert.

7) Selbstständiges Erarbeiten von Lerninhalten und Phasen des Austausches mit den anderen Teilnehmenden und der Trainingsleitung sind zu kombinieren

Für die Beschäftigten ist es wichtig, auch in Phasen des nicht zeitgebundenen selbstständigen Lernens eine inhaltliche Struktur zu haben. Die Lernelemente in den Phasen des selbstständigen Lernens sollten ebenfalls durch die Weiterbildungsmaßnahme vorgegeben werden. Darüber hinaus sei es wichtig, auch in Phasen des selbstständigen Lernens eine fachlich kompetente Ansprechperson zu haben, die bei Fragen oder Herausforderungen unterstützen kann. (B5) Die Phasen der selbstständigen oder gemeinsamen Erarbeitung von Inhalten in Kombination mit Phasen der gemeinsamen Reflexion sollten jedoch auch nicht zu ausgeprägt sein. Theoretische Module und um-

fassende Anregungen von Fachleuten sind ebenfalls von großer Bedeutung. Die eigenständige Erarbeitung gebe oftmals zu wenig neue Impulse. (B10) Diese Anmerkungen der Forschungsteilnehmenden wurden in der Beschreibung des Gestaltungsprinzips ergänzt.

10) Das Wissen über die Gestaltung der Arbeitsorganisation muss erweitert werden. Mentalen Belastungen, aber auch lernförderlichen Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion muss mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Eine Person berichtete, dass die mentale Belastung der Mitarbeitenden in der Produktion auf dem Weg zu Industrie 4.0 bei ihnen nicht zunehme. Der Trend gehe eher in Richtung einer stärkeren Unterstützung der Mitarbeitenden in der Produktion und auch einer Reduzierung der mentalen Belastungen. Die Person nennt als Beispiel die Reduzierung der Komplexität von Entscheidungen. Die Bereitstellung von aufbereiteten Informationen ermögliche es den Mitarbeitenden in der Produktion heute viel effizienter und einfacher zu entscheiden, welcher Auftrag als Nächstes produziert werden könne. Früher sei dies z. B. in der Nachtschicht mit großer Unsicherheit über die Materialverfügbarkeit vor Ort verbunden gewesen oder musste erst aufwendig geprüft werden. Heute sei diese Entscheidung einfacher, da die Verfügbarkeit transparent dargestellt werde. (B8)

Eine andere Person weist darauf hin, dass bei einer Erweiterung oder Anreicherung der Aufgaben die Arbeitsbelastung der Mitarbeitenden und auch der Gesamtkontext berücksichtigt werden müsse. Durch eine Arbeitsausweitung („Job-Enlargement“) oder Arbeitserweiterung („Job-Enrichment“) könne die Komplexität der Arbeit durch die Vielfalt der Aufgaben so zunehmen, dass einzelne Mitarbeitende überfordert seien. Darüber hinaus könne auch das erhöhte Arbeitsvolumen zu Belastungen führen. Außerdem sei es wichtig, bei der Einführung neuer Anwendungen oder Technologien darauf zu achten, dass die Mitarbeitenden in der Produktion auch damit umgehen können. Es muss frühzeitig überlegt werden, welche Aufgaben die Mitarbeitenden in Zukunft ausführen sollen und welches Wissen und Können sie dafür benötigen. (B1) Langfristig seien im Zusammenhang mit neuen Aufgaben auch Aufstiegsperspektiven wichtig und Fragen der Entlohnung zu berücksichtigen (B3).

In die Erläuterungen und Begründungen zum Gestaltungsprinzip wurde ein Hinweis auf die Bedeutung der Berücksichtigung des Gesamtzusammenhangs im Hinblick auf die aktuelle Situation und mögliche Anpassungen der Organisation aufgenommen.

9) Die Teilnehmenden sollen dazu angeregt werden, über den Zweck des Technikeinsatzes nachzudenken.

11) Die Teilnehmenden sollen dabei unterstützt werden, die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion an den Gestaltungsprozessen frühzeitig zu initiieren.

In Verbindung mit den Gestaltungsprinzipien 9 und 11 weist eine Person darauf hin, dass es wichtig sei, über den nachvollziehbaren Zweck des Technikeinsatzes nachzudenken und diesen auch den Mitarbeitenden in der Produktion zu erklären (B2).

Weiterbildungskonzept:

Die Anmerkungen der Forschungsteilnehmenden zum Weiterbildungskonzept wurden den einzelnen Modulen zugeordnet. Die Hinweise und die daraus resultierenden Anpassungen des Weiterbildungskonzeptes werden im Folgenden erläutert.

Hinsichtlich des methodischen Gesamtansatzes zeigen die Rückmeldungen, dass eine Kombination aus virtuellen Lernmodulen und Lernmodulen vor Ort eine geeignete und von den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung weitgehend bevorzugte Alternative darstellt. (u. a. B1, B6)

Von mehreren Forschungsteilnehmenden wurden Fragen zur geplanten Dauer der Weiterbildungsmaßnahme und zur Abfolge der einzelnen Weiterbildungsmodule gestellt. Eine Person hatte die Idee, nach einem halben Jahr ein weiteres Treffen zum Erfahrungsaustausch und zur Aufrechterhaltung des Netzwerkes einzuplanen (B10). Im Weiterbildungskonzept wurde ein Vorschlag zur Dauer der Weiterbildungsmaßnahme ergänzt und die Anregung eines Treffens nach Abschluss aufgenommen.

1) Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen

Für das Modul „Wissen und Können im Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen“ hat sich im Feedbackprozess weiter die Bedeutung der Besichtigung realer Industrie-4.0-Anwendungen vor Ort in anderen Produktionsstätten oder Unternehmen bestätigt. Es sei wichtig, mit den Verantwortlichen vor Ort zu sprechen und sich selbst ein Bild davon zu machen, wie alles funktioniert (B1). Dabei sei die Erläuterung der Industrie-4.0-Anwendungen vor Ort durch Fachleute wichtig, die z. B. die Hintergründe der Entwicklung des Anwendungsfalles und die Herausforderungen bei der Einführung und im produktiven Betrieb erläutern können. (B6) Grundsätzlich wäre es auch denkbar, eine Lernfabrik zu besuchen und dort ein Beispielprojekt umzusetzen (B1). Auch die Erläuterung von Industrie-4.0-Anwendungen in der Theorie ist sinnvoll, kann aber den Einblick in die reale Praxis nicht ersetzen (B6).

Das Weiterbildungskonzept wurde an dieser Stelle geschärft, um zu verdeutlichen, wie wichtig es ist, dass die Teilnehmenden Industrie-4.0-Anwendungen auch in der Praxis erleben und mögliche Fragen an Fachleute richten können.

2) Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion

In der Diskussion des Moduls „Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion“ wurde von mehreren Forschungsteilnehmenden angesprochen, dass auch der Wechsel zwischen verschiedenen Perspektiven eine wesentliche Rolle in ihrer Arbeit spiele und im Weiterbildungskonzept berücksichtigt werden müsse (B2, B4, B9). Unterschiedliche Beteiligte in Industrie-4.0-Projekten haben unterschiedliche Vorstellungen, Ziele, Wünsche oder Befürchtungen. Die Beschäftigten aus der technischen Pro-

duktionsplanung und -steuerung nennen in den Feedbackgesprächen hierzu verschiedene Beispiele und Bewältigungsstrategien:

- Berücksichtigung der unterschiedlichen Wertvorstellungen und Lebensziele der Mitarbeitenden. Es gebe Menschen, die sich im Beruf verwirklichen möchten, andere sähen ihren Lebensinhalt in der Familie oder in einem Hobby. (B1)
- Es gebe konkurrierende Ziele und damit verbundene Interessenkonflikte seien normal. Es sei wichtig, diese aufzudecken und sich darüber auszutauschen. (B2)
- Ängste und Wünsche der Betroffenen seien zu erkunden und darauf einzugehen. Etwa haben Mitarbeitende, die derzeit Gabelstapler fahren, bei der Einführung eines FTS die berechtigte Sorge, durch das FTS ersetzt zu werden. Im Unternehmen der Person bedeute dies zwar nicht den Verlust des Arbeitsplatzes, sondern eine Veränderung der Aufgaben, dennoch sei eine umfassende Kommunikation und Aufklärung über die Möglichkeiten notwendig. (B1)

Im Weiterbildungsmodul „Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion“ wurden in der Einführungsphase Elemente zur Förderung der Fähigkeit zum Perspektivenwechsel ergänzt. Darüber hinaus wurden Elemente zur vertieften Auseinandersetzung mit verschiedenen Perspektiven in die Diskussion zum Abschluss des Moduls aufgenommen.

Die Vorgehensweise bei der Einführung in das Modul und dem Start der Fallstudie direkt zu Beginn wurde in den Feedbackgesprächen mehrfach angesprochen. Aus Sicht der Forschungsteilnehmenden erfolgt der Übergang zur Fallstudie zu früh (B2). Zunächst sollte der theoretische Hintergrund erläutert werden und eine gemeinsame Diskussion über mögliche Rollen und Beteiligte stattfinden (B4). Die folgenden praktischen Anregungen wurden von den Forschungsteilnehmenden eingebracht:

- Als Einstieg könnte ein Theoriemodul dienen, in dem psychologische Hintergründe für den Umgang mit Menschen vorgestellt oder gemeinsam erarbeitet werden (B9).
- Es könnten Spielkarten verteilt werden, auf denen Rollen und Menschenbilder dargestellt sind. Die Teilnehmenden könnten so verschiedene Positionen einnehmen und dann anhand von Fallbeispielen über verschiedene Themen aus dem Arbeitskontext diskutieren, um zu lernen, mit verschiedenen Rollen, Menschen und ihren Perspektiven umzugehen. (B4)
- Die Aspekte der Zusammenarbeit und des Umgangs mit Menschen könnten noch stärker betont werden. Um die Rolle der Übersetzung und der Vermittlung zwischen Fachleuten und Nicht-Fachleuten besser zu verstehen, könnte auch ein Beispiel aus dem Alltag dienen. Die Kommunikation zwischen medizinischem Personal und Patienten sei ein mögliches Beispiel. Grenzen und Hindernisse für den Informationsaustausch zwischen den beiden Rollen, wie die Verwendung von Fachtermini und das Nichtverstehen durch Nicht-Fachleute, sollten erarbeitet werden. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sollten in der Lage sein zu erkennen, wann Nicht-Fachleute dem Informationsfluss nicht mehr folgen können. Gleichzeitig sollten sie in der Lage sein, den

Fachleuten geschickt zu vermitteln, dass sie dem Informationsfluss nicht mehr folgen können. Die Beschäftigten sollten in der Lage sein, zu erkennen, ob ein Informationsaustausch zwischen beiden stattfindet und ggf. geschickt einzugreifen, ohne dass die gegenseitige Wertschätzung leidet. (B9)

- Die verschiedenen Beteiligten an der Schnittstelle und mögliche konkurrierende Ziele können entweder vorgestellt werden oder von den Teilnehmenden selbst erarbeitet werden (B2).

Insgesamt sei es auch wichtig, die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Bereichen und Funktionen fördern zu können (B5). Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung agieren wie eine „Spinne im Netz“, sie müssen die Fäden zusammenhalten und die verschiedenen Aufgaben, Projekte und die vielfältigen Funktionsbereiche koordinieren (B8).

Im Weiterbildungskonzept wurde der Fallstudie ein Theoriemodul vorangestellt. In diesem Theoriemodul sollen die Grundlagen der Kommunikation und Kooperation als Basis für den Umgang mit Menschen erarbeitet und das Einnehmen unterschiedlicher Perspektiven geübt werden. Zusätzlich wurde optional die Durchführung eines Rollenspiels aus dem Alltag als Ergänzung angeboten, um die Relevanz der Fähigkeit zur „Tech-Translation“ zu veranschaulichen.

3) Einführungsprozesse kooperativ gestalten

Ein wesentlicher Aspekt bei der Information und Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion sei auch, dass sie den Zweck der Einführung der Industrie-4.0-Anwendung verstehen. Über einen nachvollziehbaren Zweck der Einführung einer neuen Technologie oder Anwendung müsse vor Beginn eines Projektes nachgedacht werden. Dieser Hintergrund könne dann auch den Mitarbeitenden in der Produktion erklärt werden. Nur wenn die Mitarbeitenden die Hintergründe verstehen, könne auch eine Akzeptanz für die Technologie geschaffen werden. (B2)

In das Weiterbildungskonzept wurde eine Lerneinheit zu diesem Themenkomplex aufgenommen: „Welches Wissen muss den Mitarbeitenden in der Produktion bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen zur Verfügung stehen, damit sie die Anwendung weiter mitgestalten können?“

Darüber hinaus wurde im Rahmen der Evaluation hinterfragt, wer aus dem Kreis der Mitarbeitenden in der Produktion in Projekte zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen einbezogen werden sollte. (B1, B5) Auch aus Sicht der Forschungsteilnehmenden ist dieser Begriff weit zu fassen und umfasst nicht nur die direkt am Wertschöpfungsprozess beteiligten Mitarbeitenden, sondern z. B. auch Mitarbeitende, die Instandhaltungsarbeiten durchführen, Mitarbeitende, die Maschinen einrichten oder Mitarbeitende, die technologische Herausforderungen in der Produktion lösen (B1). Auch die relevanten Personen aus der Arbeitssicherheit oder dem Betriebsrat sind frühzeitig in die Projekte einzubinden (B1, B5). Möglichst alle Mitarbeitenden, die direkt oder indirekt von der Veränderung betroffen sind, seien in das Projekt einzubeziehen (B5). Im Weiterbildungskonzept wurde ergänzt, dass überlegt werden muss,

welche Funktionen im Unternehmen vorhanden sind, welche Beschäftigten von Veränderungen betroffen sind und warum es wichtig ist, alle Betroffenen einzubeziehen.

4) Technikgestaltung und Arbeitsorganisation

Zwei Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung waren der Ansicht, das Modul „Technikgestaltung und Arbeitsorganisation“ enthalte zu viele theoretische Lerneinheiten (B2, B4). Es wurde empfohlen, mehr praktische Inhalte oder Phasen der selbstständigen Erarbeitung von Inhalten oder Gruppenarbeit einzubauen:

- Es könnte auch erklärt werden, wie Technik und Arbeitsorganisation zusammenhängen. Eine Erläuterung anhand von Beispielen oder Bildern könnte hilfreich sein. (B2)
- Es sind zu viele Präsentationen und theoretische Elemente enthalten; es könnten mehr Methoden eingebaut werden, die die Teilnehmenden in die Aktivitäten einbeziehen. Eine andere Möglichkeit wäre, die Inhalte durch praktische Beispiele konkreter zu machen. (B4)

Eine weitere Anregung der Forschungsteilnehmenden war es, die Gruppenarbeit zum Wandel der Arbeitswelt methodisch stärker zu strukturieren. Eine Idee wäre z. B., nach dem Konzept des „erfinderischen Problemlösens“ und dem darin enthaltenen 9-Felder-Denken vorzugehen (u. a. Meitinger et al., 2023). Dies rege zum Nachdenken an und ermögliche eine systematische Analyse von Vergangenheit und Gegenwart sowie einen Blick in die Zukunft. (B9)

Die Auseinandersetzung mit dem Umgang und der Erhebung von Daten sei praxisnah und wichtig, da es sich dabei tatsächlich um eine der häufigsten Herausforderungen in der Praxis handle. In diesem Aspekt gebe es auch oft unterschiedliche Ansichten, die häufig auch nachvollziehbar sind. (B10)

In das Weiterbildungskonzept wurde das Lernelement zur gemeinsamen Erarbeitung von (technologischen) Innovationen in der betrieblichen Bildung aufgenommen. Durch die Verknüpfung des Themas mit neuen Technologien und die gemeinsame Bearbeitung der Inhalte über ein Online-Whiteboard wird angestrebt, mehr Abwechslung in das Modul einzubringen.

5) Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem

Im Hinblick auf das Modul „Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem“ wurde von den Forschungsteilnehmenden zurückgemeldet, dass das Projekt ein wichtiger Bestandteil des Weiterbildungskonzeptes sei. Zwei Personen betonen in diesem Zusammenhang, dass für sie das Lernen an praktischen Beispielen und im Arbeitsprozess wichtig sei. (B2, B5) Die anfängliche Bezeichnung des Moduls „Transfer und Problemlösung im Kontext des eigenen Produktionssystems“ wurde auf Anregung der Forschungsteilnehmenden auf „Durchführung eines Projektes im eigenen

Produktionssystem“ angepasst. Die Bezeichnung zeigte sich nach den Rückmeldungen aus der Praxis als zu abstrakt. (B10)

Eine Person weist auf die Notwendigkeit einer frühzeitigen und umfassenden Information der Teilnehmenden über die Projektarbeit hin. Es handele sich um ein umfangreiches und zeitintensives Projekt, das sich voraussichtlich über mehrere Monate erstrecken werde. Daher sei es wichtig, zu Beginn des Trainings klar zu kommunizieren, wie das Projekt exemplarisch aussehen könnte und welche Erwartungen an die Teilnehmenden gestellt werden. Nur so könnten die Teilnehmenden dies in ihrem Bereich koordinieren, ggf. Projektideen und Anforderungen aufgreifen und auch zeitlich in ihren Arbeitsalltag einplanen. (B1)

Außerdem wurde Feedback zur Entwicklung der Zielvorstellung gegeben. Gibt es im Unternehmen bereits Initiativen zur digitalen Transformation der Produktion, so seien diese zu berücksichtigen und die Zielvorstellung und das Projekt so zu gestalten, dass sie in das Gesamtbild integriert werden können. (B9) Darüber hinaus sollte es auch möglich sein, bestehende Zielvorstellungen oder Projekte zu übernehmen. Die Projektarbeit soll mit einem bereits begonnenen oder geplanten Projekt durchgeführt werden können. (B8) Im Hinblick auf einzelne Technologien könne es auch schwierig sein, eine detaillierte Zielvorstellung zu entwickeln. Beispielsweise ließe sich ohne ein tieferes Verständnis von künstlicher Intelligenz nicht beantworten, ob eine bestimmte Herausforderung durch ihren Einsatz gelöst werden könne. (B11)

Die Beziehung des Projektes zu den anderen Modulen wurde ebenfalls angesprochen. Das Projekt könne stärker mit den anderen Modulen verknüpft werden. Die theoretischen Grundlagen und praktischen Übungen, die in den anderen Modulen durchgeführt werden, könnten im Projekt zu einem Ganzen integriert werden. Im Projekt könnte dann auch der Transfer in die Praxis und in den Kontext des eigenen Produktionssystems erfolgen. (B9)

Zu beachten sei auch, dass die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung nicht immer diejenigen sind, die das Projekt eigenständig umsetzen. So erklärt eine Person, dass ihre Aufgabe vorwiegend darin besteht, die Idee zu liefern. Die Auswahl der geeigneten Technologie erfolge dann z. B. durch die Fachleute aus dem Technologiebereich. Es sei aber möglich, das Projekt bis zur Umsetzungsstrategie zu beschreiben. Das Projekt könne nach der Entscheidung zur Umsetzung auch an den zuständigen Fachbereich übergeben werden. (B9)

Zu Beginn des Weiterbildungskonzeptes wurde ein Hinweis auf die umfassende Information der Teilnehmenden über die Anforderungen und den möglichen Zeitaufwand des Projektes aufgenommen. Dies soll anhand eines Beispielprojektes durch die Trainingsleitung verdeutlicht werden. Darüber hinaus wurden Hinweise in das Konzept aufgenommen, dass bestehende Strategien im Unternehmen zu berücksichtigen sind und bereits geplante oder laufende Projekte als Projektarbeit genutzt werden können. Am Ende des Projektes soll in der Abschlusspräsentation noch einmal der Bezug zu den anderen Modulen hergestellt werden. Hier sollen die Teilnehmenden über ihre Erfahrungen und Erkenntnisse berichten.

Gesamtzusammenhänge und übergreifende Themen

In einem Feedbackgespräch wurde zudem betont, dass es wichtig sei, eigene Erfahrungen zu sammeln. So sei z. B. die Erfahrung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit der Arbeit in der Produktion wichtig. Ein Bestandteil des Weiterbildungskonzeptes könne aus Sicht dieser Person auch die eigene Arbeit der Teilnehmenden in der Produktion sein. Damit ließe sich eine Basis schaffen, um neue Ideen zur Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen besser beurteilen zu können. Durch die Kombination mit der eigenen praktischen Erprobung verschiedener Anwendungen und Technologien können vorhandene Vorbehalte abgebaut und Ideen für das eigene Produktionssystem entwickelt werden. (B3)

Eine inhaltliche Unterscheidung könnte zwischen den Modulen „Agieren als Schnittstelle zur Produktion“ und „Einführungsprozesse kooperativ gestalten“ vorgenommen werden. In beiden Modulen gehe es auch um die Einbeziehung der Mitarbeitenden in der Produktion. (B10) Das ursprünglich enthaltene Brainstorming zur Erfassung der Ideen der Mitarbeitenden in der Produktion im Modul „Agieren als Schnittstelle zur Produktion“ wurde durch ein Lernelement zur Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion ersetzt.

6 Zusammenfassung und reflektierende Betrachtung der Arbeit

6.1 Durchführung der Untersuchung und Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zusammengefasst und die Durchführung der wissenschaftlichen Untersuchung beschrieben.

Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung stehen in der digitalen Transformation der Industrie vor einer zweifachen Herausforderung. Als Betroffene verändern sich ihre eigenen Aufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können. Als Gestaltende stehen sie vor der verantwortungsvollen Aufgabe, auf die Arbeit der Mitarbeitenden in der Produktion zu achten. Dies ist der Ausgangspunkt für die zentrale Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit:

Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage werden zunächst die theoretischen Grundlagen der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel 2.1) sowie der digitalen Transformation in der Industrie (Kapitel 2.2) erarbeitet. In der betriebswirtschaftlichen, ingenieurwissenschaftlichen und berufsbildungswissenschaftlichen Forschung werden in der Literatur unterschiedliche Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Hinblick auf die Gestaltung des Produktionssystems genannt (Kapitel 2.1.2). Die Berufe der technischen Produktionsplanung und -steuerung sind den Erwerbsberufen zuzuordnen. Der Zugang zu diesen Berufen erfolgt über verschiedene Wege der beruflichen Aus- und Weiterbildung oder über ein Hochschulstudium. (Kapitel 2.1.2) Bisherige empirische Untersuchungen zur technischen Produktionsplanung und -steuerung liefern Informationen zu Aufgaben der Gestaltung des Produktionssystems, geben aber kaum Hinweise aus der Perspektive der Beschäftigten als Betroffene und Gestaltende (Kapitel 2.1.3). Die digitale Transformation in der Industrie wird mit unterschiedlichen Zielen und Schwerpunkten verfolgt. Daraus ergeben sich Chancen und Risiken für die Arbeit und die Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion. (Kapitel 2.2.1) Mit dem Wandel zur Industrie 4.0 verändern sich auch die Aufgaben und Anforderungen an die Beschäftigten. Die vorhandenen empirischen Untersuchungen zur Veränderung von Wissen und Können sind auf einem hohen Abstraktionsniveau und lassen nur wenige Rückschlüsse auf Veränderungen bei den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu. (Kapitel 2.2.2) Wissenschaftlich erarbeitete Weiterbildungskonzepte im Kontext der digitalen Transformation sind für andere Zielgruppen konzipiert und bie-

ten nur bedingt Anknüpfungspunkte für das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Insbesondere die in dieser Arbeit relevante Perspektive als Gestaltende wurde bisher nicht berücksichtigt. (Kapitel 2.2.3)

Die wenigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Arbeitspraxis in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und die Notwendigkeit, ein Weiterbildungskonzept mit der betrieblichen Praxis zu verknüpfen, erfordern die Konzeption einer empirischen Untersuchung (Kapitel 3). Aufgrund des gleichzeitigen Interesses an wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Gestaltung der Praxis ist die Arbeit in den Rahmen des DBR eingebettet (Kapitel 3.1). Mit Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung wird in Form von problemzentrierten Interviews gemeinsam die zweifache Problemstellung als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie erarbeitet (Kapitel 3.2). Die Auswertung der Daten erfolgt mit der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Kapitel 3.3).

Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung berichten über verschiedene Industrie-4.0-Projekte zur Datenerfassung und -verwendung, autonome Transportprozesse und Materialversorgungskonzepte, Simulation von Produktionsprozessen, Montageassistenzsysteme, Leichtbauroboter und unterstützende Softwarelösungen (Kapitel 4.1). Als besonders interessant für die Zukunft werden von den Beschäftigten Datenerfassung und -nutzung, künstliche Intelligenz und FTS eingestuft (Kapitel 4.3). Aus der Perspektive als Betroffene der digitalen Transformation in der Industrie wurden die Arbeitsaufgaben und das dafür notwendige Wissen und Können der Beschäftigten untersucht (Kapitel 4.4). Neben technischen und arbeitsorganisatorischen Aufgaben übernehmen die Beschäftigten auch Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können und sind mit Abstimmungs-, Kommunikations- und Präsentationssaufgaben betraut (Kapitel 4.4.1). In der technischen Produktionsplanung und -steuerung kommt es vorwiegend darauf an, vorhandenes technologisches Grundlagenwissen mit fachübergreifenden Fähigkeiten zu verknüpfen. Eine wichtige Rolle spielen diesbezüglich auch die Fähigkeiten, zwischen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu vermitteln und gemeinsame Entscheidungen zu erarbeiten. (Kapitel 4.4.2)

Aus der Perspektive als Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie wurden die Erfahrungen und die individuellen Sichtweisen der Beschäftigten in Bezug auf die Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion untersucht (Kapitel 4.5). Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung achten auf die Reduzierung körperlicher Belastungen der Mitarbeitenden in der Produktion. Verschiedene einzelne Praxisbeispiele und Sichtweisen sprechen dafür, dass auch mentale Belastungen und individuelle Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Allerdings zeigen andere Praxisbeispiele und Ansichten in dieser Untersuchung auch ein gegensätzliches Bild. Die Mitarbeitenden in der Produktion werden in unterschiedlicher Ausprägung und zu unterschiedlichen Zeitpunkten in die Gestaltung des Produktionssystems einbezogen. (Kapitel 4.5.1) Die Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung sehen sich mitverantwortlich für die Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion. Sie schätzen das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion und achten bei der Gestaltung auch da-

rauf, dass die Mitarbeitenden über Erfahrungen mit den Systemen verfügen. (Kapitel 4.5.2) Neben technischen und wirtschaftlichen Kriterien sind bei der Auswahl von technischen Systemen für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auch die eigenen Erfahrungen und das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion von Bedeutung. In Industrie-4.0-Projekten wird manuelle Arbeit durch Technik ersetzt, dennoch sehen die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung die Bedeutung des Wissens und Könnens der Mitarbeitenden in der Produktion sowohl heute als auch in der Zukunft als wichtig an. (Kapitel 4.5.3)

Diese aus der empirischen Untersuchung gewonnenen Hinweise bildeten die Grundlage für die Entwicklung des Weiterbildungskonzeptes und der Gestaltungsprinzipien für die betriebliche Weiterbildung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel 5). Es wurden elf Gestaltungsprinzipien für die Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung erarbeitet. Drei der Gestaltungsprinzipien geben Impulse für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung. (Kapitel 5.1) Es wird ein kontextspezifisches Weiterbildungskonzept, bestehend aus fünf Modulen vorgestellt (Kapitel 5.2). Im Weiterbildungskonzept werden verschiedene reale Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen behandelt (Kapitel 5.2.1), das Wissen und Können als Schnittstellenfunktion zur Produktion gestärkt (Kapitel 5.2.2) und der Transfer in die Praxis durch ein Projekt realisiert (Kapitel 5.2.5). Das Wissen und die Reflektion über Technikgestaltung und Arbeitsorganisation (Kapitel 5.2.4) werden angeregt und die Relevanz und Strategien zur Einbeziehung der Mitarbeitenden in der Produktion erarbeitet (Kapitel 5.2.2). In einem anschließenden Feedbackprozess wurden die Gestaltungsprinzipien und das Weiterbildungskonzept gemeinsam mit den Forschungsteilnehmenden weiter verfeinert (Kapitel 5.3).

6.2 Relevanz der Ergebnisse für Wissenschaft und Praxis

In diesem Kapitel wird die Relevanz der vorliegenden Arbeit für die Wissenschaft und die Bedeutung des Weiterbildungskonzeptes für die Praxis dargestellt.

Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes leisten einen Beitrag zum weiteren Verständnis der Arbeitspraxis von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung (Frenz et al., 2016; Baumhauer, 2018; Wohlrabe et al., 2019; Thies, 2023). Die in vorhandenen empirischen Untersuchungen ermittelten Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zur Gestaltung des Produktionssystems in technischer und arbeitsorganisatorischer Hinsicht können durch die vorliegende Untersuchung bestätigt werden. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gestalten und optimieren Produktionssysteme auf unterschiedlichen Systemebenen in technischer und arbeitsorganisatorischer Hinsicht. Sie leiten Projekte zur Neueinführung hochautomatisierter Produktionsanlagen und wenden Methoden zur Gestaltung und Optimierung von Produktionssystemen an. Sie führen neue Technologien oder Produkte in bestehende Produktionssysteme ein und betreuen den laufenden Betrieb (Kapitel 4.4.1).

Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung arbeiten an Industrie-4.0-Anwendungen in den Bereichen Datenerfassung und -nutzung, autonomer Transport, Modellierung und Simulation sowie Robotik (Kapitel 4.2). Sie arbeiten an Projekten auf allen Ebenen des Entwicklungspfades von Industrie 4.0 (Schuh et al., 2020; Becker et al., 2023a).

Bezogen auf die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten gibt die vorliegende Untersuchung aber auch Hinweise auf mögliche Anpassungen, die gegenüber dem derzeitigen Forschungsstand zu prüfen sind. Das heutige Bild der Aufgaben betrieblicher Funktionen zur Gestaltung von Produktionssystemen ist stark von Aufgaben der Gestaltung von Technik und Arbeitsorganisation geprägt (u. a. Eversheim, 2002; Buscher, 2018; Bundesagentur für Arbeit, 2021b). Auch in den vorhandenen empirischen Studien werden die Aufgaben nahezu ausschließlich aus diesen Perspektiven betrachtet (Frenz et al., 2016; Baumhauer, 2018; Wohlrabe et al., 2019). Zu den Aufgaben der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung gehören aber auch Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können und Aufgaben zur Koordination der Zusammenarbeit. Von besonderer Bedeutung für die Berufsbildungsforschung sind die Aufgaben zur Förderung von Wissen und Können im Unternehmen. Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung berichteten in unterschiedlicher Form, wie sie u. a. Mitarbeitende in der Produktion bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen, der Veränderung von Produktionsprozessen oder der Einführung neuer Produkte qualifizieren. (Kapitel 4.4.1 und 4.5.2) Veränderungen in der technologischen Ausstattung eines Produktionssystems wirken sich u. a. auch auf das notwendige Wissen und Können der Beschäftigten aus. Auch deswegen ist es wichtig, dass sich Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung um die Anpassung der Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion kümmern. Darüber hinaus muss auch der pädagogischen Qualifizierung der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung entsprechende Beachtung gewidmet werden. Mit dem im Rahmen des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes entwickelten Weiterbildungskonzept werden erste Impulse gegeben. Eine weitere wichtige Aufgabe der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung besteht darin, die Zusammenarbeit zwischen Personen mit unterschiedlichen Funktionen, Aufgaben und Zielen zu organisieren und zu moderieren. Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung haben eine Schnittstellenfunktion zwischen der Produktion und verschiedenen Fachleuten. Sie arbeiten bei der Einführung von Industrie-4.0-Anwendungen z. B. mit Fachleuten aus der IT, den Zulieferbetrieben, dem Management, der Arbeitssicherheit oder dem Betriebsrat zusammen. Eine wesentliche Aufgabe der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist es, die zum Teil unterschiedlichen Sichtweisen der einzelnen Beteiligten zusammenzuführen und die Arbeit an der gemeinsamen Lösung voranzubringen. (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2)

Es werden Hinweise zum erforderlichen Wissen und Können der Beschäftigten im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie erarbeitet. Die bisherigen empirischen Untersuchungen bewegen sich auf einem hohen Abstraktionsniveau und

können nur sehr eingeschränkte Aussagen zu einzelnen Berufsuntergruppen wie den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung liefern (Kapitel 2.1.3). Wie Frenz et al. (2016) anmerken, benötigen die Beschäftigten grundsätzlich Fähigkeiten, um komplexe, automatisierte Produktionssysteme sowie Fertigungsprozesse und Arbeitsabläufe zu verstehen und zu gestalten. Das wird auch durch die vorliegende Studie bestätigt. Der Forschungsstand zum Wissen und Können von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation wird um folgende Hinweise erweitert:

- Technologisches Wissen und Können allein reichen nicht aus. Vielmehr kommt es darauf an, technologisches Verständnis mit fachübergreifenden Fähigkeiten zu verknüpfen.
- Überblickswissen in verschiedenen Bereichen ist wichtig, z. B. Grundkenntnisse in verschiedenen Technologien, praktische Einsatzmöglichkeiten von Industrie-4.0-Anwendungen oder auch ein Grundverständnis in der Softwareentwicklung.
- Zu den wichtigen fachübergreifenden Fähigkeiten gehören: soziale Fähigkeiten, organisatorische Fähigkeiten, Fähigkeiten zur Problemlösung und Fähigkeiten, zwischen verschiedenen Fachleuten und Nicht-Fachleuten zu vermitteln und gemeinsame Entscheidungen voranzubringen.
- Erfahrungen und Wissen über Produktionsprozesse und Arbeitsabläufe in der Produktion sind von Bedeutung.
- Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung lernen den Umgang mit neuen Technologien oder Software meist selbstorganisiert. Eine in der Praxis etablierte Vorgehensweise ist das Lernen im Prozess der Arbeit durch Ausprobieren und Erproben am realen Objekt. (Kapitel 4.4.2)

Zusätzlich werden bisher unbekannte Einblicke in die Erfahrungen und Sichtweisen der Beschäftigten als Gestaltende von Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion ermöglicht. Bisher gibt es nur vereinzelt empirische Untersuchungen zur Perspektive der Gestaltenden von Produktionssystemen, etwa zum Gestaltungswissen (Gerlmaier & Latniak, 2019) oder zur Sicht der Gestaltenden auf die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion (Pfeiffer et al., 2018). Die vorliegende Untersuchung knüpft an diese Erkenntnisse an und gibt weitere Einblicke in die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der Gestaltenden. Verschiedene individuelle Aussagen liefern Hinweise, dass die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion in ihre Überlegungen zur Gestaltung der Produktion (mit Industrie-4.0-Anwendungen) einbeziehen:

- Die körperlichen Anforderungen der Mitarbeitenden in der Produktion sind von zentraler Bedeutung, z. B. durch die Herstellung von Hebehilfen, den Einsatz von Bodenmatten für gesundes Stehen und Bewegen oder auch organisatorische Maßnahmen zur Reduzierung muskulärer Überbeanspruchung (Kapitel 4.5.1).

- Zum Teil werden auch die mentalen Anforderungen der Mitarbeitenden und die lernförderliche Arbeitsgestaltung berücksichtigt:
 - Die Arbeit muss so gestaltet sein, dass sie von den Mitarbeitenden in der Produktion auch an einem schlechten Tag bewältigt werden kann.
 - Auch das Arbeitsklima, die individuellen Bedürfnisse und das subjektive Erleben der Menschen müssen berücksichtigt werden.
 - Weiterbildung in Eigeninitiative, um die Software in Zukunft nutzerzentriert gestalten zu können. (Kapitel 4.5.1)
- Ähnlich wie Pfeiffer et al. (2018) für Beschäftigte im Engineering berichten, schätzen auch Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion. In ähnlicher Weise werden die Mitarbeitenden in der Produktion auch in den Gestaltungsprozess einbezogen. Die Beteiligung erfolgt meist zu einem späten Zeitpunkt im Prozess. In der vorliegenden Untersuchung wurden jedoch auch Beispiele genannt, in denen Mitarbeitende in der Produktion Ideen für Industrie-4.0-Anwendungen eingebracht haben. (Kapitel 4.5.1)
- Bei Trainings von Mitarbeitenden in der Produktion mit Industrie-4.0-Anwendungen müssen nicht nur die für die eigentliche Tätigkeit relevanten Inhalte berücksichtigt werden. Die Mitarbeitenden müssen auch tiefere Einblicke z. B. in die Programmierung des Systems erhalten, um eigenständig über Verbesserungen nachdenken und diese bewerten zu können. (Kapitel 4.5.2)
- Es wird bewusst eine andere Technologie gewählt, die besser an die Arbeitsanforderungen in der Produktion angepasst ist (Kapitel 4.5.3).
- Bei der Auswahl konkreter technischer Systeme ist das Wissen und Können der Mitarbeitenden in der Produktion ein bestimmender Faktor (Kapitel 4.5.3).

Natürlich handelt es sich hierbei nur um individuelle Erfahrungen und Sichtweisen einzelner Personen, und es wurden auch andere Sichtweisen berichtet. Aber schon die Tatsache, dass sie von unterschiedlichen interviewten Personen und aus unterschiedlichen Betrieben stammen, lässt darauf schließen, dass sich die Beschäftigten mit Arbeit und Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion auseinandersetzen. Dennoch sollte diese Perspektive im Sinne einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung weiter gefördert werden.

Das Weiterbildungskonzept ergänzt bestehende Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0 (u. a. Acatech, 2016; Ahrens et al., 2018; Baron et al., 2019; Teichmann et al., 2022; Müller, 2023) um eine neue Perspektive. Erstmals wird eine Beschäftigtengruppe als Betroffene und Gestaltende gleichermaßen einbezogen und gefördert. Die Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0 werden um ein Konzept mit Impulsen für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung erweitert. Das Weiterbildungskonzept knüpft damit auch an das von Blumenstein & Fischer (1991) entwickelte Weiterbildungskonzept zur Förderung einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung im Zeitalter des „Computer Integrated Manufacturing“ an.

Nachdem die Relevanz der Ergebnisse für die Wissenschaft erläutert wurde, wird im Folgenden die Relevanz der Arbeit für die Praxis zusammenfassend dargestellt. Ein wissenschaftlich erarbeitetes Weiterbildungskonzept wurde als Beitrag zur Lösung der zweifachen Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zurück in die Praxis transferiert. Verantwortliche in der beruflichen Bildung können das Weiterbildungskonzept übernehmen oder die Gestaltungsprinzipien als Ausgangspunkt für die Entwicklung eigener, auf den Betrieb zugeschnittener Weiterbildungskonzepte nutzen. Davon profitieren Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung, Mitarbeitende in der Produktion und die Unternehmen selbst. Das Weiterbildungskonzept unterstützt Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Betroffene von Industrie 4.0 dabei, ihre Arbeit auch im Zuge der digitalen Transformation bewältigen zu können. Ein erster praktischer Nutzen ergibt sich somit für diese Beschäftigten selbst. Durch die Weiterbildung im Kontext des digitalen Wandels in der Industrie und das dadurch erworbene Wissen und Können sind sie besser für die Zukunft gerüstet, haben bessere Karrieremöglichkeiten oder auch bessere Chancen auf dem Arbeitsmarkt. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden als Gestaltende mit Impulsen für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung unterstützt. Die Verbesserung der Arbeitsbedingungen wird im Kontext der digitalen Transformation zur Industrie 4.0 immer wieder thematisiert. Das Weiterbildungskonzept leistet damit einen kleinen Beitrag zur menschenzentrierten Gestaltung der Arbeitswelt auf dem Weg zur Industrie 4.0 in der großen Gruppe der rund 4 Millionen Beschäftigten der Metall- und Elektroindustrie in Deutschland. Neben verbesserten Arbeitsbedingungen kann eine bewusste Gestaltung der Produktion aus den verschiedenen Perspektiven Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz auch zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen. Die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung werden weiter befähigt, den Wandel zur Industrie 4.0 aktiv voranzubringen. Darüber hinaus ermöglicht die stärkere Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltungsprozesse die Erschließung von bisher verborgenem Wissen über Optimierungspotenziale des Produktionssystems.

6.3 Reflexion des methodischen Vorgehens

In diesem Kapitel werden die Grenzen und die Angemessenheit der methodischen Vorgehensweise reflektiert. Auch die Einhaltung der im Forschungsdesign vorgesehenen Gütekriterien und die Maßnahmen zur Umsetzung (Kapitel 3.1.2) werden dabei kritisch hinterfragt.

Übergeordnetes Ziel der Untersuchung war die Entwicklung eines Weiterbildungskonzeptes für die zweifache Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Es galt, die Arbeitspraxis in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu erkunden und zusammen mit der Praxis systematisch ein Weiterbildungskonzept zu entwickeln. DBR verbindet eine empiri-

sche Datenerhebung mit der Möglichkeit, in Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis bspw. eine Lösung zur Gestaltung der Praxis zu entwickeln. Der systematische Forschungs- und Entwicklungsprozess des DBR bot einen Rahmen, um diese beiden Ziele bestmöglich zu verbinden. Seit Mitte der 2000er-Jahre findet der Ansatz des DBR in den Disziplinen der Berufs- und Wirtschaftspädagogik als methodologischer Rahmen in verschiedenen Projekten Anwendung (Burda-Zoyke, 2017). Der Rahmen des DBR wird auch in anderen Dissertationen verwendet, z. B. für die Entwicklung von Methoden zur Unterrichtsgestaltung in Zusammenarbeit mit Lehrkräften (Küpper, 2021). Aber nicht nur in der Unterrichtsentwicklung, sondern z. B. auch in der Entwicklung einer Lernkultur in Zusammenarbeit mit betrieblichen Akteuren finden sich als Dissertation konzipierte Projekte mit Ansatz des DBR (Krapf, 2019). DBR wurde somit bereits in Dissertationen zur Lösung von Problemstellungen aus dem Bildungsbereich und auch in Zusammenarbeit mit betrieblichen Akteuren eingesetzt. Der Ansatz des DBR erscheint damit auch rückblickend als eine in der Praxis anerkannte Methodik zur Umsetzung einer Zielsetzung, wie sie dieser Arbeit zugrunde lag. Eine Einschränkung der Arbeit liegt in der fehlenden praktischen Erprobung des Weiterbildungskonzeptes. Die praktische Erprobung des Weiterbildungskonzeptes ist für Wissenschaft und Praxis gleichermaßen wichtig. Dies war bisher im Hinblick auf den damit verbundenen Zeitaufwand für die Forschungsteilnehmenden nicht realisierbar. Zu den Gestaltungsprinzipien und zum Weiterbildungskonzept wurde von den Forschungsteilnehmenden ein Feedback eingeholt, das die praktische Erprobung nicht ersetzt, aber dennoch wertvolle Hinweise für die Verfeinerung der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes geliefert hat.

Eine Entscheidung, die im Rahmen des Forschungsdesigns getroffen werden muss, ist die Auswahl der Forschungsteilnehmenden. Es wurde darauf geachtet, dass Beschäftigte aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung mit der Gestaltung von Produktionssystemen mit unterschiedlichen Technisierungsgraden, Arbeitsorganisationen, Stückzahlen und Produktarten vertreten waren. Auf diese Weise konnte eine abgegrenzte, aber dennoch heterogene Gruppe von Beschäftigten in den Forschungs- und Entwicklungsprozess eingebunden werden. Die beteiligten Beschäftigten betreuten zum Zeitpunkt der Untersuchung Produktionssysteme von Losgröße 1 bis zur Massenproduktion. In diesen Produktionssystemen werden u. a. Schaltschränke, Automobilkarosserien, industrielle Bildschirme oder elektronische Flachbaugruppen hergestellt. Die Untersuchung wurde mit Beschäftigten aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung durchgeführt, die u. a. für die Gestaltung des Produktionssystems zuständig sind und Erfahrungen mit Industrie-4.0-Projekten haben. Die Forschungsteilnehmenden gehörten ausnahmslos größeren Unternehmen mit mehr als 100.000 Beschäftigten an. Die Unternehmen lassen sich der Metall- und Elektroindustrie zuordnen und können hier insbesondere in der Elektroindustrie und der Automobilindustrie eingeordnet werden. Die Untersuchung wurde in bayerischen Unternehmen durchgeführt. Inwieweit die Ergebnisse für kleinere Unternehmen oder Unternehmen außerhalb Bayerns anders ausfallen würden, bleibt offen. Die Einbeziehung von Forschungsteilnehmenden aus kleineren Unternehmen wäre für

diese Untersuchung von Interesse gewesen. Leider konnten für das Forschungs- und Entwicklungsprojekt keine Forschungsteilnehmenden aus diesen Unternehmen gewonnen werden. Bei den in die Untersuchung einbezogenen Forschungsteilnehmenden handelte es sich überwiegend um akademisch qualifizierte Personen aus dem Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Zwei der Personen waren beruflich qualifizierte Beschäftigte, neun der Personen waren akademisch qualifiziert (Kapitel 4.1). Im Vergleich zum allgemeinen Zugang zu Berufen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurden in die vorliegende Untersuchung weitaus mehr akademisch Qualifizierte eingebunden. Denn weit mehr als die Hälfte der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung hat den Zugang zu diesen Berufen über eine berufliche Qualifikation erlangt (Kapitel 2.1.2, Abbildung 8). Offen bleibt an dieser Stelle allerdings, bei wie vielen der Forschungsteilnehmenden es sich um Mischtypen handelt. Im Rahmen der Untersuchung wurde nicht erhoben, welche Personen z. B. ein duales Studium abgeschlossen oder vor dem Studium eine Berufsausbildung absolviert haben. Die Einbeziehung einer größeren Zahl von beruflich Qualifizierten hätte möglicherweise weitere wichtige Perspektiven für die Untersuchung und das Weiterbildungskonzept liefern können. Eine Hypothese könnte auch sein, dass in Industrie-4.0-Projekte in Großunternehmen mehr akademisch qualifizierte Beschäftigte als beruflich qualifizierte Beschäftigte eingebunden sind.

Eine Einschränkung der Arbeit liegt in der Erhebung der Daten. Die Aussagen zur Arbeitspraxis der Beschäftigten in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurden ausschließlich über Interviews erhoben. Eine Triangulation der Methoden zur Überprüfung der Ergebnisse, z. B. durch Beobachtung am Arbeitsplatz, wurde nicht durchgeführt. Auch eine Validierung der Datenerhebung durch Dritte wurde nicht durchgeführt. Aufgrund der Anknüpfungspunkte der vorliegenden Arbeit an andere wissenschaftliche Untersuchungen und der Bestätigung bereits vorhandener Erkenntnisse ist jedoch nicht von systematischen Verzerrungen auszugehen.

Durch eine empirische Untersuchung wurde der Praxisbezug des Weiterbildungskonzeptes für die Entwicklung des ersten Prototyps sichergestellt. Die Datenerhebung erfolgte mit problemzentrierten Interviews und die Auswertung mit der strukturierenden Inhaltsanalyse. Auch rückblickend erscheint die Interviewmethode aufgrund ihrer Möglichkeiten, der Erzählstruktur der interviewten Personen zu folgen und gemeinsam an der Fragestellung zu arbeiten, als geeignete Variante der Datenerhebung. So konnten auch unerwartete, aber für das Ziel interessante Erzählstränge verfolgt und gemeinsam erkundet werden. Dies hat den Erkenntnisgewinn für die Arbeit positiv unterstützt. Rückblickend wurde in den Interviews die Perspektive der Betroffenen betont, die Perspektive als Gestaltende wurde vergleichsweise weniger thematisiert. Zu Beginn der Interviews wurde ausführlich über die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten gesprochen, um einen guten Einstieg und eine vertrauensvolle Atmosphäre zu schaffen. Danach blieb oft weniger Zeit für andere Themen. Die interviewten Personen zeigten sich sehr aufgeschlossen in Bezug auf ihre Arbeitsaufgaben oder technischen Lösungen und berichteten z. B. ausführlich über ihre Erfahrungen mit In-

dustrie-4.0-Projekten. Zurückhaltender waren die Antworten zu Fragen der Arbeitsgestaltung und Qualifizierung der Mitarbeitenden in der Produktion. Im Nachhinein könnten diese Themenfelder in den Interviews noch vertieft werden. Die inhaltlich strukturierende Inhaltsanalyse bot einen systematischen Ablauf zur Auswertung der Daten. Die von den interviewten Personen formulierten Aspekte konnten analysiert werden. Die Untersuchung tiefer liegender Sinnstrukturen erscheint auch im Nachhinein weniger relevant für die Zielsetzung der Arbeit. Auch rückblickend erscheint die Methode der Datenauswertung für die vorliegende Arbeit geeignet. Eine Einschränkung im Kodierungsprozess bestand darin, dass das Material nur vom Forscher selbst kodiert wurde. Eine Herausforderung bei der Auswertung war auch der unterschiedliche Abstraktionsgrad, mit dem die interviewten Personen z. B. die Arbeitsaufgaben erläutern. Diese Problematik wird auch von anderen Forschenden beschrieben:

Einige werden für das gesamte Handlungsfeld wahrscheinlich nur eine Aufgabe nennen, wie etwa Wartungspersonal, das erklären könnte: „Wir müssen die Maschinen am Laufen halten.“ Andere werden mehr als 300 Aufgaben anführen, weil sie jede einzelne Schraube, die sie anziehen müssen, für eine neue Aufgabe halten. (Fischer & Bauer, 2007, S. 170)

Eine Herausforderung war es daher auch in dieser Untersuchung, eine geeignete Struktur für z. B. die Arbeitsaufgaben der Beschäftigten zu finden.

Eine Besonderheit dieser Untersuchung war die Nähe des Forschers zum Forschungsfeld und zur Praxis in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Der Forscher selbst war zum Zeitpunkt der Untersuchung seit über zehn Jahren in der technischen Produktionsplanung und -steuerung tätig. Ein Vorteil dieses Sachverhaltes ist der Zugang zum Feld, da es für die vorliegende Arbeit notwendig war, mit den Akteuren zusammenzuarbeiten, die über die Schlüsselinformationen verfügen.

Gerade aufgrund ihrer subjektiven Vorerfahrungen, Wertehaltungen oder persönlichen Eigenschaften können bestimmte Forschende Zugang zu bestimmten Praxisfeldern erhalten und/oder ein besonders Vertrauensverhältnis zu bestimmten Informantinnen und Informanten aufbauen, was die Art und Qualität der erhobenen Daten sowie deren Interpretation stark beeinflusst. (Döring & Bortz, 2016, S. 111)

Das problemzentrierte Interview hat diese besondere Rolle des Forschers noch verstärkt, indem es die Einbeziehung von Vorwissen ermöglicht. Dieser Feldzugang ermöglicht der Gemeinschaft in der Berufsbildungsforschung einen bisher weitgehend unbekannten Einblick in die Erfahrungen und individuellen Ansichten der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Natürlich stellt sich an dieser Stelle auch die Frage, wie sich diese Nähe und das Einbringen von Vorwissen des Forschers auf die Ergebnisse auswirken. Es wurde daher gezielt darauf geachtet, den interviewten Personen einen maximalen Spielraum zu lassen und gleichzeitig die Kommunikation auf die Problemstellung zu konzentrieren. Durch den Zugang zum Feld und die Möglichkeit der gemeinsamen Arbeit auf Augenhöhe wird die Nähe des Forschers zum Feld auch im Nachhinein eher als Bereicherung für die Ergebnisse, denn als Beeinträchtigung eingeschätzt.

Als ein Gütekriterium für diese Untersuchung wurde die intersubjektive Nachvollziehbarkeit des Forschungsprozesses und der Ergebnisse zugrunde gelegt. Mit dem Ansatz des DBR, dem problemzentrierten Interview und der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse wurden in der Berufsbildungsforschung etablierte Methoden eingesetzt. Die Umsetzung der Methoden wurde in der vorliegenden Arbeit umfassend dokumentiert. Die Gestaltungsprinzipien und das Weiterbildungskonzept wurden umfassend dokumentiert (Kapitel 5). Auch die erste Version der Gestaltungsprinzipien wurde dokumentiert (Anhang). Die Anpassungen des Weiterbildungskonzeptes und der Gestaltungsprinzipien aufgrund der Rückmeldungen der Forschungsteilnehmenden wurden beschrieben (Kapitel 5.3). Die Angemessenheit des Forschungsprozesses in Bezug auf den Gegenstand wurde ausführlich begründet. Die Wahl des methodischen Rahmens und die Auswahl der einzelnen Methoden wurden umfassend begründet und sind auch rückblickend für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit angemessen. Eine empirische Verankerung wurde durch eine systematische Auswertung nach der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse von Kuckartz (2018) sichergestellt (Kapitel 3). Es wurden auch direkte Zitate aus den Interviews im Ergebnisbericht veröffentlicht (Kapitel 4). Die Gestaltungsprinzipien und der erste Entwurf des Weiterbildungskonzeptes wurden den Forschungsteilnehmenden zur Verfügung gestellt. In einem Gespräch wurde das Feedback dazu eingeholt und anschließend in die Gestaltungsprinzipien und das Weiterbildungskonzept eingearbeitet (Kapitel 5.3). Eine Limitation und Verallgemeinerung der Ergebnisse und der Gestaltungsprinzipien wurde vorgenommen (Kapitel 6.4). Die Relevanz des Weiterbildungskonzeptes und der Gestaltungsprinzipien für die betriebliche Weiterbildung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung wurde dargestellt (Kapitel 6.2). Hinsichtlich des Kriteriums der reflektierten Subjektivität wurde bewusst reflektiert, wie die individuellen Erfahrungen des Forschers die Interviews beeinflussen können und es wurden vorab Überlegungen angestellt, wie dies vermieden werden kann (Kapitel 3.1.2). Außerdem wurden die Interviews durch das Ausfüllen eines Interviewprotokollbogens nachbereitet (Kapitel 3.2). Darüber hinaus wurden einige interviewte Personen zum Ablauf, zur Atmosphäre und zu Verbesserungsmöglichkeiten der Interviews befragt.

6.4 Limitationen der Untersuchung

In diesem Kapitel werden die Grenzen der Untersuchung dargelegt. Es wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Ergebnisse der empirischen Untersuchung, das Weiterbildungskonzept und die Gestaltungsprinzipien verallgemeinert werden können.

In einem ersten Verständnis beschränken sich die Ergebnisse der empirischen Untersuchung auf die beteiligten Beschäftigten. Bei näherer Betrachtung und Verknüpfung mit vorhandenen Erkenntnissen aus der Literatur lässt sich m. E. jedoch der Schluss ziehen, dass die Ergebnisse der empirischen Untersuchung als Arbeitshypothesen auf Beschäftigte der technischen Produktionsplanung und -steuerung aus der deutschen Metall- und Elektroindustrie verallgemeinert werden können. Untersu-

chungen in den Berufsfeldern Metalltechnik und Mechatronik-Elektrotechnik (Frenz et al., 2016) und in der Automobilindustrie (Baumhauer, 2018) zeigen eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich der Arbeitsaufgaben. Insgesamt zeigt sich damit eine hohe Übereinstimmung zwischen den in der vorliegenden Untersuchung erfassten Arbeitsaufgaben und den vorhandenen Studien aus der deutschen Metall- und Elektroindustrie. Auch die in der wissenschaftlichen Literatur genannten Aufgaben der technischen Produktionsplanung und -steuerung weisen eine hohe Übereinstimmung mit den hier erfassten Aufgaben auf (Kapitel 2.1.1). Ein ähnliches Bild hinsichtlich der Aufgaben zeigt sich auch in der von der Bundesagentur für Arbeit (2021b) veröffentlichten Klassifikation der Berufe 2010 (S. 362 f.) und den in dieser Berufsuntergruppe enthaltenen Berufen (Kapitel 2.1.2, Tabelle 4).

Bei den in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Arbeitsaufgaben wurden jedoch auch Abweichungen zu bereits vorhandenen Untersuchungen und wissenschaftlicher Literatur festgestellt. Für die Perspektive der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung als Gestaltende einer Industrie 4.0 lassen die Ergebnisse etwas weniger präzise Rückschlüsse auf die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse zu. Die Perspektive der Gestaltenden der digitalen Transformation in der Industrie wurde bisher kaum erforscht (Pfeiffer et al., 2018, S. 114). Zwei Aspekte sprechen dennoch für die Möglichkeit einer Verallgemeinerung. Die von den Forschungsteilnehmenden beschriebenen Industrie-4.0-Projekte (Kapitel 4.2) weisen einen hohen Übereinstimmungsgrad mit Industrie-4.0-Technologien und -Anwendungen aus der Literatur auf (Kapitel 2.2.1). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weisen Überschneidungen mit der Untersuchung von Pfeiffer et al. (2018) aus der Automobilindustrie auf, die sich mit den Ansichten der Gestaltenden zur Einbindung der Mitarbeitenden aus der Produktion in die Gestaltungsprozesse beschäftigt. Es sind Gemeinsamkeiten zu erkennen, wie die Tatsache, dass die Gestaltenden die Beteiligung der Mitarbeitenden in der Produktion als wichtig erachten. Es lassen sich aber auch Unterschiede feststellen, wie, dass in der vorliegenden Untersuchung Ideen für Industrie-4.0-Anwendungen genauer gesagt die Erweiterung bestehender Anwendungen auch von den Mitarbeitenden in der Produktion kommen. Es gibt also sowohl aus der Sicht der Betroffenen als auch der Gestaltenden Hinweise aus der Literatur, die Gemeinsamkeiten aufzeigen und an die in der vorliegenden Arbeit angeknüpft werden kann. Aufgrund der Gemeinsamkeiten mit bestehenden Untersuchungen ist es daher m. E. vertretbar, die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse auf die Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung der deutschen Metall- und Elektroindustrie zu übertragen. Es sei darauf hingewiesen, dass insbesondere die Gemeinsamkeiten auch durch die vorliegende Arbeit an Gültigkeit gewinnen. Neue oder von den bisherigen Untersuchungen abweichende Hypothesen sind zu prüfen und zu bestätigen oder weiter anzupassen.

Das Weiterbildungskonzept und die Gestaltungsprinzipien wurden aus der empirischen Untersuchung und der wissenschaftlichen Literatur im Umfeld der technischen Produktionsplanung und -steuerung und der digitalen Transformation in der Industrie entwickelt. Darüber hinaus wurden Impulse für eine menschenzentrierte Ar-

beitsgestaltung ergänzt. Das angestrebte Ergebnis von Projekten nach dem Ansatz des DBR hinsichtlich der Breite der entwickelten Theorien und ihrer Verallgemeinerbarkeit wird von Reinmann (2005) wie folgt beschrieben:

Das unmittelbarste Ziel im DBR-Ansatz ist die Lösung von Problemen in der Bildungspraxis. Eng damit verzahnt ist das Ziel, nach außen kommunizierbare Theorien zu entwickeln, die kontextsensitiv und für die Praxis brauchbar sind, gleichzeitig aber auch die wissenschaftliche Erkenntnis zum Lernen und Lehren erhöhen. (S. 62)

Das Weiterbildungskonzept ist durch die Einbeziehung von Fallbeispielen aus der empirischen Untersuchung und den konkreten Anforderungen der interviewten Personen, z. B. zu den Einsatzmöglichkeiten von Leichtbaurobotern, ein auf die Unternehmen der Forschungsteilnehmenden abgestimmtes, bereichsspezifisches Konzept. Inwieweit das vorgeschlagene Weiterbildungskonzept unmittelbar auf die Beschäftigten und die betrieblichen Gegebenheiten anderer Unternehmen übertragen werden kann, ist jeweils im Einzelfall von den Verantwortlichen für die betriebliche Bildung und den Beschäftigten zu entscheiden. Eine Anpassung des Weiterbildungskonzeptes, z. B. der Fallbeispiele oder der vorgestellten Industrie-4.0-Anwendungen, an die Bedürfnisse der einzelnen Teilnehmenden ist denkbar und erwünscht. Das Weiterbildungskonzept ist als Leitfaden und Orientierungshilfe zu verstehen, das an die konkreten Bedingungen angepasst werden kann. Die praktischen Anpassungen und die betriebliche Umsetzung der daraus resultierenden Weiterbildungsmaßnahmen können analysiert werden, um die Gestaltungsprinzipien weiter zu verfeinern. Da die Ergebnisse der empirischen Untersuchung für die deutsche Metall- und Elektroindustrie unter Bezugnahme auf die vorangegangenen Ausführungen als zutreffend angesehen werden, soll dies auch für die auf Basis dieser Ergebnisse entwickelten verallgemeinerten Gestaltungsprinzipien gelten. Die Gestaltungsprinzipien sind so abstrahiert, dass sie als Grundlage für Weiterbildungskonzepte für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in der deutschen Metall- und Elektroindustrie herangezogen werden können. Es gilt, die Gestaltungsprinzipien als derzeitigen Stand der Forschung anzunehmen und in Weiterbildungsmaßnahmen mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu erproben und weiterzuentwickeln.

6.5 Weiterer Forschungsbedarf

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten zur Anwendung des Weiterbildungskonzeptes und der Weiterentwicklung der Gestaltungsprinzipien vorgeschlagen. Darüber hinaus wird weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

Ein erster Schritt zur Fortführung dieses Forschungs- und Entwicklungsprojektes ist die Erprobung des Weiterbildungskonzeptes in der Praxis. Um die Praxistauglichkeit des Konzeptes zu testen, sollte in einem ersten Schritt eine Gruppe von Teilnehmenden aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung ausgewählt werden,

die in engem Kontext zu den Forschungsteilnehmenden steht. In weiteren Zyklen der Erprobung hingegen ist es sinnvoll und auch notwendig den Kontext zu erweitern. Die schrittweise Erprobung des Weiterbildungskonzeptes und Verfeinerung der Gestaltungsprinzipien wird in der folgenden Reihenfolge vorgeschlagen. In einem ersten Schritt sollte das Weiterbildungskonzept in den Unternehmen der Forschungsteilnehmenden erprobt werden. Danach kann eine schrittweise Erprobung und Verfeinerung der Gestaltungsprinzipien in weiter vom Untersuchungsgebiet entfernten Bereichen erfolgen. So wäre eine Erprobung mit Beschäftigten der technischen Produktionsplanung und -steuerung aus der Elektro- und der Automobilindustrie in Deutschland und anschließend in der deutschen Metall- und Elektroindustrie zu empfehlen. Die zweifache Problemstellung in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung ist kein auf Deutschland beschränktes Phänomen. Auch in anderen Ländern sind Beschäftigte Betroffene und zugleich Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie. Eine Fortführung der Arbeit ist daher auch außerhalb Deutschlands denkbar. Die vom International Labour Office (2012) herausgegebene „International Standard Classification of Occupations“ (ISCO-08) könnte hier als Orientierung dienen. Die Berufe in „3119 Physical and Engineering Science Technicians Not Elsewhere Classified“ (S. 174) oder „2141 Industrial and Production Engineers“ (S. 117 f.) könnten beispielsweise als mögliche Adressaten des Weiterbildungskonzeptes außerhalb Deutschlands in Betracht gezogen werden. Dabei sind jedoch auch die Unterschiede in den Berufsbildungssystemen der einzelnen Länder zu berücksichtigen. Durch eine schrittweise Erweiterung des Kontextes könnten weitere Erkenntnisse über Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung sowie über spezifische Teilgruppen und Branchen gewonnen werden. Abgeschlossene Weiterbildungsmaßnahmen könnten mit den Teilnehmenden und den Trainingsleitungen gemeinsam reflektiert werden. Es könnten spezifische Weiterbildungskonzepte für die einzelnen Beschäftigungsgruppen und Unternehmen entstehen. Sobald Weiterbildungskonzepte und das Feedback aus verschiedenen Erprobungen vorhanden sind, kann eine summative Evaluation erfolgen. Schrittweise könnte auf diese Weise eine weitere Schärfung und Verallgemeinerung der Gestaltungsprinzipien realisiert werden.

Die ab dem 1. April 2024 zur Verfügung stehenden Fördermittel der Bundesagentur für Arbeit für Weiterbildungen könnten einen Beitrag zur Etablierung dieses Weiterbildungskonzeptes in der Praxis leisten. Beschäftigte können für die Dauer einer Weiterbildung ein Qualifizierungsgeld als Ausgleich für das Arbeitsentgelt erhalten. (Bundesagentur für Arbeit, 2024) In der Weiterbildungsmaßnahme müssen *„Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten vermittelt werden, die über ausschließlich arbeitsplatzbezogene kurzfristige Anpassungsfortbildungen hinausgehen“* (Bundesministerium der Justiz, 2023, § 82 Abs. 1 S. 1). Weiter ist festgelegt, dass *„... die Maßnahme mehr als 120 Stunden dauert und maximal die Dauer einer Vollzeitmaßnahme nach § 180 Absatz 4 umfasst“* (Bundesministerium der Justiz, 2023, § 82 Abs. 1 S. 1). Mit dem vorliegenden Weiterbildungskonzept ist es möglich, diese Anforderungen bei der Umsetzung in die Praxis zu erfüllen. Darüber hinaus müssen neben den betrieblichen Voraussetzungen auch die persönlichen Voraussetzungen der Teilnehmenden erfüllt und der Bildungsträger

nach der „Akkreditierungs- und Zulassungsverordnung Arbeitsförderung“ zur Förderung zugelassen sein (Bundesministerium der Justiz, 2023, § 82 Abs. 1 S. 1).

In den Interviews wurde das Konzept der „Matrix Produktion“ als eine neue Möglichkeit zur Gestaltung des Produktionssystems im Wandel hin zur Industrie 4.0 thematisiert. Diese durch FTS und eine intelligente Steuerung angedachte Organisationsform soll auch Möglichkeiten für eine menschenzentrierte Gestaltung der Arbeit in der Produktion bieten (Greschke & Herrmann, 2014). Auch wenn dadurch möglicherweise Förderbänder und Taktzeiten abgeschafft werden könnten, könnten sich durch eine softwaregesteuerte Reihenfolgeplanung und mögliche kleinteilige Arbeitsschritte auch negative Auswirkungen auf die Arbeit und die Qualifikation der Mitarbeitenden in der Produktion ergeben. Diese neue Organisationsform in der Produktion sollte daher auch aus Sicht der Forschung zu Arbeit und Technik weiter untersucht und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten der menschenzentrierten Arbeitsgestaltung ggf. durch weitere Gestaltungsprojekte ausgeschöpft werden.

Neben den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung befinden sich auch andere Beschäftigungsgruppen in einer ähnlichen Situation und stehen ebenfalls vor der zweifachen Herausforderung, sowohl Betroffene als auch Gestaltende der digitalen Transformation in der Industrie zu sein. Ein Beispiel hierfür sind die „5312 Berufe in der Arbeitssicherheit und Sicherheitstechnik“. Die Angehörigen dieser Berufe haben u. a. die Aufgabe: „Arbeitsplätze und Arbeitsabläufe nach ergonomischen Gesichtspunkten untersuchen und optimieren.“ (Bundesagentur für Arbeit, 2021b, S. 803) In der empirischen Untersuchung wurde von den interviewten Personen bei den Fragen zur Arbeitsgestaltung häufig auch auf diese betrieblichen Stellen der Arbeitssicherheit verwiesen (Kapitel 4.5.1). Auch bei diesen Beschäftigten handelt es sich um eine bisher weitgehend unerforschte Gruppe von Erwerbsberufen. Der Aufgabenschwerpunkt unterscheidet sich jedoch von dem der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Es stellt sich daher auch die Frage: Wie könnte ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der Arbeitssicherheit und Sicherheitstechnik auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 konstruiert sein?

Etwas weiter in die Zukunft gedacht, besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Wirkung von Weiterbildungskonzepten für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf die Entwicklungspfade der Produktionssysteme einzelner Unternehmen. Welchen Einfluss haben derartige Weiterbildungskonzepte auf eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung? Verändern sich die Gestaltungsmöglichkeiten der Mitarbeitenden in der Produktion im Hinblick auf Industrie-4.0-Projekte, z. B. durch eine umfassendere und frühzeitigere Einbindung in die Projekte? Oder sind Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung von geringer Wirkung, weil z. B. strukturelle Gegebenheiten in den Unternehmen die Gestaltungsprozesse auf bestimmte Vorgehensweisen einschränken?

Weiterer Forschungsbedarf besteht auch in der Berufsuntergruppe der technischen Produktionsplanung und -steuerung selbst. Aus der Perspektive der Beschäftigten als Betroffene der digitalen Transformation in der Industrie stellt sich die Frage,

wie die fortschreitende Digitalisierung die Arbeit in der technischen Produktionsplanung und -steuerung und auch das dafür notwendige Wissen weiter verändern könnte. Die vorliegende Untersuchung liefert Hinweise, dass Aufgaben, die früher in der Produktion selbst erledigt wurden, zunehmend digital erledigt werden können. So zeigen Berichte von Beschäftigten aus verschiedenen Unternehmen, dass z. B. eine heute in der Produktion vor Ort durchzuführende Wertstromanalyse durch die Erfassung verschiedener Daten zu Produkt, Produktionsprozess und Maschinen zukünftig an Bedeutung verlieren oder von außerhalb der Produktion durchgeführt werden könnte (Kapitel 4.1, 4.3 und 4.6). Auch eine mögliche zunehmende Akademisierung in den Berufen der technischen Produktionsplanung und -steuerung könnte zu einem Verlust an Produktions- und Erfahrungswissen führen (Thies, 2023). Es stellt sich die Frage, wie sich dadurch auch das Wissen und Können sowie die Erfahrungen der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung in Bezug auf das zu gestaltende Produktionssystem langfristig verändern. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie sich diese Entwicklungen weiter auf die Zusammenarbeit zwischen den Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und den Mitarbeitenden in der Produktion auswirken.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich dieser Perspektive als Gestaltende von Produktionssystemen. Die vorliegende Untersuchung leistet hier einen kleinen Beitrag zur Erforschung der Erfahrungen und individuellen Sichtweisen dieser Gestaltenden, wirft aber gleichzeitig weitere Fragen auf. Die vorliegende Untersuchung liefert Hinweise darauf, dass Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung die Arbeitsbedingungen in der Produktion bei der Gestaltung des Produktionssystems auch hinsichtlich unterschiedlicher Gesichtspunkte berücksichtigen. So werden z. B. die körperlichen Belastungen der Mitarbeitenden in der Produktion bereits in vielfältiger Weise bei der Gestaltung berücksichtigt. Die Erfahrungsberichte in dieser Untersuchung zeigen vielfältige und individuelle Beispiele auch für die Berücksichtigung mentaler Belastungen und die Gestaltung lernförderlicher Arbeitsbedingungen in der Produktion. Untersuchungen zeigen, dass gerade die mentalen Anforderungen immer mehr zu einem belastenden Faktor für die Mitarbeitenden werden (Kapitel 2.2.1). Weiterer Forschungsbedarf besteht z. B. in der weiteren empirischen Untersuchung, wie bei der Gestaltung von Produktionssystemen mentale Belastungen und lernförderliche Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden in der Produktion berücksichtigt werden.

Das vorliegende Forschungs- und Entwicklungsprojekt konnte weitere Hinweise aus der Praxis zur Gestaltung von Produktionssystemen liefern, aber auch aufzeigen, wie wenig wir heute über die Gestaltenden selbst wissen. So sehen das auch Pfeiffer et al. (2018): „Doch darüber, wer gestaltet und in welchen Prozessen dies geschieht oder geschehen könnte, wird nicht viel und selten konkret gesprochen“ (S. 114).

Literatur

- (ABB Ltd., 2023) *ABB Ltd.*: ABB und Microsoft kooperieren bei generativer KI für Industrieanwendungen, Zürich, 2023.
- (Acatech, 2016) *Acatech*: Kompetenzen für die Industrie 4.0: Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze. Herbert Utz, München, 2016.
- (Ahrens et al., 2018) *Ahrens, D.; Dombrowski, T.; Grantz, T.; Heinze, H.; Höhne, B.; Kaßbaum, B.; Kroll, S.; Longmuß, J.; Staden, C.*: Herausforderungen und Chancen betrieblicher Weiterbildung in digitalisierten Arbeitswelten: Abschlussbericht des Verbundprojekts: Berufliche Professionalität im produzierenden Gewerbe. Universität Bremen, Bremen, 2018.
- (Altrichter et al., 2018) *Altrichter, H.; Posch, P.; Spann, H.*: Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht: Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsevaluation durch Aktionsforschung. Verlag Julius Klinkhardt, UTB, Bad Heilbrunn, 2018. <https://doi.org/10.36198/9783838547541>
- (Anderl et al., 2015) *Anderl, R.; Picard, A.; Wang, Y.; Fleischer, J.; Dosch, S.; Klee, B.; Bauer, J.*: Leitfaden Industrie 4.0: Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA-Verlag, Frankfurt am Main, 2015.
- (Assenmacher et al., 2011) *Assenmacher, M.; Borch, H.; Drewes, C.; Müller, K.; Zinke, G.*: Produktionstechnologie/Produktionstechnologin: Band 1 – Profil – Inhalte – Prüfungen. Handreichung für die betriebliche Umsetzung. Bonn, 2011. <https://www.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/3320516/5f32b92ebe2e3631ee984c83c620ec95/produktionstechnologie-handreichung-fuer-die-betriebliche-umsetzung-data.pdf>.
- (Aufschnaiter & Vorholzer, 2019) *Aufschnaiter, C. von; Vorholzer, A.*: Welche Methoden braucht die Bildungsforschung? Eine fachdidaktische Perspektive. Erziehungswissenschaft 30 (2019), 58, S. 57–63. <https://doi.org/10.3224/ezw.v30i1.07>
- (Baron et al., 2019) *Baron, S.; Fischer, M.; Gidion, G.; Pantke, D.-N.; Reifschneider, O.; Reimann, D.*: Prospektive Weiterbildung für Industrie 4.0: Beschäftigte frühzeitig auf die sich durch Industrie 4.0 verändernden Arbeitsanforderungen qualifizieren, Stuttgart, 2019, https://www.agenturq.de/wp-content/uploads/20190617_Leitfaden_Industrie40_FINAL.pdf; Zugriff am 10.02.2023.
- (Bauer et al., 2014) *Bauer, W.; Schlund, S.; Marrenbach, D.; Ganschar, O.*: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, 2014, <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Industrie-40-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland.html>; Zugriff am 11.02.2023.
- (Bauer et al., 2016) *Bauer, W.; Bender, M.; Braun, M.; Rally, P.; Scholtz, O.*: Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach anfangen. Fraunhofer IAO, 2016.
- (Baumhauer, 2018) *Baumhauer, D.*: Transfer von Erfahrungswissen im Arbeitsprozess der Produktionsplanung in der Automobilindustrie. Josef Eul Verlag, Siegburg, 2018.

- (Baumhauer et al., 2019) *Baumhauer, M.; Beutnagel, B.; Meyer, R.; Rempel, K.*: Produktionsfacharbeit in der chemischen Industrie: Auswirkungen der Digitalisierung aus Expertensicht, Düsseldorf, 2019, https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-007207/p_fofoe_WP_144_2019.pdf; Zugriff am 15.01.2023.
- (bayme vbm, 2016) *bayme vbm*: Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie, 2016, https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf; Zugriff am 12.02.2023.
- (Becker, 2018) *Becker, M.*: Lernen mit tutoriellen Arbeitssystemen. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 421–428.
- (Becker et al., 2022) *Becker, M.; Flake, R.; Heuer, C.; Koneberg, F.; Meinhard, D.; Metzler, C.; Richter-Honsbrok, T.; Schöpp, M.; Seyda, S.; Spöttl, G.; Werner, D.; Windelband, L.*: Evaluation der modernisierten M+E-Berufe: Herausforderungen der digitalisierten Arbeitswelt und Umsetzung in der Berufsbildung, <https://www.ibm.uni-hannover.de/de/becker/forschungsprojekte/projects/eva-m-e/>; Zugriff am 28.12.2023.
- (Becker et al., 2023a) *Becker, M.; Spöttl, G.; Windelband, L.*: Künstliche Intelligenz und Berufsbildung: Die Rolle der künstlichen Intelligenz in der Facharbeit und Konsequenzen für die Berufsbildung. DENK-doch-MAL.de (2023), 3, S. 1–10, <https://denk-doch-mal.de/matthias-becker-georg-spoettl-lars-windelband-kuenstliche-intelligenz-und-berufsbildung/#toggle-id-1>; Zugriff am 30.12.2023.
- (Becker et al., 2023b) *Becker, A.; Bell, M.; Gärtner, J.; Kuttner, D.; Lay, S.; Pilster, J.; Treiber-Lobenstein, N.*: Menschen und Strukturen in der Transformation, https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/AG5_Impuls-Agil2.html; Zugriff am 16.01.2024.
- (Becker & Windelband, 2018) *Becker, M.; Windelband, L.*: Zusatzqualifikationen – Herausforderungen von Industrie 4.0 damit meisterbar? Lernen & Lehren 33 (2018), 129, S. 11–16, http://lernenundlehren.de/heft_dl/Heft_129.pdf; Zugriff am 05.01.2023.
- (Bernien, 1997) *Bernien, M.*: Anforderungen an eine qualitative und quantitative Darstellung der beruflichen Kompetenzentwicklung. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzentwicklung, 97: Berufliche Weiterbildung in der Transformation – Fakten und Visionen. Waxmann Verlag, Münster, 1997, S. 17–84.
- (Bischoff et al., 2015) *Bischoff, J.; Taphorn, C.; Wolter, D.; Braun, N.; Fellbaum, M.; Goloverev, A.; Ludwig, S.*: Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Köln, 2015, <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/3d26e7ad-642d-4e8a-9afc-90cce7e422d4/details>; Zugriff am 16.07.2022.
- (Blumenstein & Fischer, 1991) *Blumenstein, G.; Fischer, M.*: Aus- und Weiterbildung für die rechnergestützte Arbeitsplanung und -steuerung: Konzepte, Ergebnisse und Erfahrungen aus dem ESPRIT-Projekt „Human Centred CIM Systems“. ITB, Bremen, 1991.

- (Borch & Zinke, 2008) *Borch, H.; Zinke, G.*: Aus- und Fortbildung aus einem Guss: Berufsbildung in der Produktionstechnologie. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis – BWP 2008 (2008), 4, S. 43–47; Zugriff am 10.07.2022.
- (Botthof & Hartmann, 2015) *Botthof, A.; Hartmann, E.*: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In: Botthof, A.; Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg, 2015, S. 161–163. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45915-7_15
- (Brandl et al., 2015) *Brandl, P.; Aschbacher, H.; Hösch, S.*: Mobiles Wissensmanagement in der Industrie 4.0. In: Weisbecker, A.; Burmester, M.; Schmidt, A. (Hrsg.): Mensch und Computer 2015 – Workshopband. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2015, S. 225–232. <https://doi.org/10.1515/9783110443905-033>
- (Brenscheidt et al., 2020) *Brenscheidt, S.; Siefer, A.; Hinnenkamp, H.; Hünefeld, L.; Lück, M.; Kopatz, F.*: Arbeitswelt im Wandel: Zahlen – Daten – Fakten. Ausgabe 2020, https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A101.pdf?__blob=publicationFile&v=8; Zugriff am 08.05.2022.
- (Brödner & Oehlke, 2018) *Brödner, P.; Oehlke, P.*: Gestaltung von Arbeit und Technik – Einführung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 559–569.
- (Bughin et al., 2018) *Bughin, J.; Hazan, E.; Lund, S.; Dahlström, P.; Wiesinger, A.; Subramaniam, A.*: Skill shift: Automation and the future of the workforce, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce>; Zugriff am 11.06.2024.
- (Bundesagentur für Arbeit, 2021a) *Bundesagentur für Arbeit*: Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020 – Band 1: Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen, <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/KldB2010-Fassung2020-Nav.html>; Zugriff am 11.06.2024.
- (Bundesagentur für Arbeit, 2021b) *Bundesagentur für Arbeit*: Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020 – Band 2: Definitorischer und beschreibender Teil, <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/KldB2010-Fassung2020-Nav.html>; Zugriff am 11.06.2024.
- (Bundesagentur für Arbeit, 2024) *Bundesagentur für Arbeit*: Qualifizierungsgeld, <https://www.arbeitsagentur.de/unternehmen/finanziell/foerderung-von-weiterbildung/qualifizierungsgeld>; Zugriff am 28.03.2024.
- (Bundesinstitut für Berufsbildung, 2022) *Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB)*: BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsprojektionen, https://www.bibb.de/de/qube_datensportal.php; Zugriff am 08.07.2022.
- (Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023) *Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB)*: BIBB – Datenblatt – Produktionstechnologie/-in, <https://www.bibb.de/dienst/dazubi/dazubi/datasheet/download/30–7713.pdf>; Zugriff am 15.04.2024.
- (Bundesministerium der Justiz, 2023) *Bundesministerium der Justiz*: SGB III, 2023.

- (Bundesministerium für Bildung und Forschung & Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2021) *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Sekretariat der Kultusministerkonferenz: Gegenüberstellung dualer und landesrechtlich geregelter Berufsausbildungsabschlüsse zur Auffindung des Referenzberufes*, https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/ZAB/Berufliche_Anerkennung_Referenzberufe/170801_BQFG_Gegenueberstellung_Berufsabschluesse_Referenzberuf.pdf; Zugriff am 09.07.2022.
- (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023) *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Industrie 4.0: Auf dem Weg zur intelligent vernetzten Industrie*, <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2023-fortschrittsbericht.html>; Zugriff am 16.01.2024.
- (Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013) *Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen: Handbuch zum Deutschen Qualifikationsrahmen: Struktur – Zuordnungen – Verfahren – Zuständigkeiten*, https://www.dqr.de/dqr/shareddocs/downloads/media/content/dqr_handbuch_01_08_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=1; Zugriff am 27.12.2023.
- (Burda-Zoyke, 2017) *Burda-Zoyke, A.: Entwicklungsbezogene (Praxis-)Forschung. bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online 2017 (2017), 33, S. 1–27*, http://www.bwpat.de/ausgabe33/burda-zoyke_bwpat33.pdf; Zugriff am 28.04.2023.
- (Buscher, 2018) *Buscher, U.: Aufgaben und Ziele des Produktions- und Logistikmanagements. In: Corsten, H.; Gössinger, R.; Spengler, T. S. (Hrsg.): Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. De Gruyter, 2018, S. 13–30.* <https://doi.org/10.1515/9783110473803-002>
- (Chesbrough et al., 2006) *Chesbrough, H.; Vanhaverbeke, W.; West, J.: Open Innovation: Researching a New Paradigm. OUP Oxford, Oxford, 2006.* <https://doi.org/10.1093/oso/9780199290727.001.0001>
- (Corsten et al., 2018) *Corsten, H.; Gössinger, R.; Spengler, T. S.: Konzeptioneller und inhaltlicher Überblick. In: Corsten, H.; Gössinger, R.; Spengler, T. S. (Hrsg.): Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. De Gruyter, 2018, S. 1–10.* <https://doi.org/10.1515/9783110473803-001>
- (Dangelmaier, 2001) *Dangelmaier, W.: Fertigungsplanung: Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. Grundlagen, Algorithmen und Beispiele. Springer, Berlin/Heidelberg, 2001.* <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56453-6>
- (Dangelmaier, 2009) *Dangelmaier, W.: Theorie der Produktionsplanung und -steuerung: Im Sommer keine Kirschpralinen? Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009.* <https://doi.org/10.1007/978-3-642-00633-3>
- (Deimann & Friedl, 2020) *Deimann, M.; Friedl, C. (Hrsg.): Machen MOOCs Karriere?: Eine praxisnahe Reflexion über Erfahrungen von Unternehmen. Springer Gabler, Berlin/Heidelberg, 2020.* <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59780-4>
- (Destatis, 2022) *Destatis: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit: Erwerbsbeteiligung der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus zum Arbeitsmarkt (Endgültige Ergebnisse). Fachserie 1, Reihe 4.1, 2022.*

- (Dilger & Euler, 2018) *Dilger, B.; Euler, D.*: Wissenschaft und Praxis in der gestaltungsorientierten Forschung – ziemlich beste Freunde? bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2018), 33, S. 1–18, http://www.bwpat.de/ausgabe33/dilger_euler_bwpat33.pdf; Zugriff am 08.02.2022.
- (Döring, 2008) *Döring, K. W.*: Handbuch Lehren und Trainieren in der Weiterbildung. Beltz, Weinheim, 2008.
- (Döring & Bortz, 2016) *Döring, N.; Bortz, J.*: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Springer, Berlin, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- (Dostal, 2005) *Dostal, W.*: Facetten des Berufsbegriffs: Vielfalt der Berufsbezeichnungen erschwert die Orientierung. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis 34 (2005), 4, S. 15–18.
- (Dyckhoff, 2000) *Dyckhoff, H.*: Grundzüge der Produktionswirtschaft: Einführung in die Theorie betrieblicher Wertschöpfung. Springer, Berlin/Heidelberg, 2000. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-07623-1>
- (Eley, 2012) *Eley, M.*: Simulation in der Logistik: Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“. Springer Gabler, Berlin/Heidelberg, 2012. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27373-5>
- (DIN EN ISO 9241–11) *Deutsches Institut für Normung e. V.*: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte. 13.180; 35.080; 35.180, 2018.
- (Euler, 2014) *Euler, D.*: Design-Research – a paradigm under development. In: Euler, D.; Sloane, P. F. (Hrsg.): Design-Based Research. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2014, S. 15–44. <https://doi.org/10.25162/9783515108416>
- (Euler & Sloane, 2014) *Euler, D.; Sloane, P. F.* (Hrsg.): Design-Based Research. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2014. <https://doi.org/10.25162/9783515108416>
- (Euler & Sloane, 2018) *Euler, D.; Sloane, P. F.*: Design-Based Research. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 782–790.
- (Eversheim, 2002) *Eversheim, W.*: Organisation in der Produktionstechnik 3: Arbeitsvorbereitung. Springer, Berlin/Heidelberg, 2002. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56336-2>
- (Faulstich & Haberzeth, 2018) *Faulstich, P.; Haberzeth, E.*: Weiterbildungsforschung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 306–315.
- (Faulstich-Wieland & Faulstich, 2006) *Faulstich-Wieland, H.; Faulstich, P.*: BA-Studium Erziehungswissenschaft: Ein Lehrbuch. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2006.
- (Feldkamp, 2020) *Feldkamp, N.*: Wissensentdeckung im Kontext der Produktionssimulation. Dissertation, 2020.
- (Fischer, 2014) *Fischer, M.*: Arbeitsprozesswissen als Bezugspunkt für die Planung und Evaluation lernfeldorientierten Unterrichts. bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2014), Profil 3, S. 1–25, http://www.bwpat.de/profil3/fischer_profil3.pdf.

- (Fischer, 2018) *Fischer, M.*: Forschungsmethoden: Befragen, Beobachten und Experimentieren – Einführung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 721–723.
- (Fischer, 2021) *Fischer, M.*: Vocational orientation at German universities – reality, desire or contradiction? In: Eigenmann, P.; Gonon, P.; Weil, M. (Hrsg.): Opening and Extending Vocational Education. Peter Lang, Bern, 2021, S. 159–185.
- (Fischer, 2022a) *Fischer, M.*: Gestaltungsorientierte Berufsbildung zwischen „Computer Integrated Manufacturing (CIM)“ und „Industrie 4.0“, 2022. <https://doi.org/10.3278/6004914w051>
- (Fischer, 2022b) *Fischer, M.*: Gestaltungsorientierte Berufsbildung zwischen „Computer Integrated Manufacturing (CIM)“ und „Industrie 4.0“. In: Schlögl, P.; Tafner, G.; Ostendorf, A.; Bock-Schappelwein, J.; Gramlinger, F. (Hrsg.): Wie wollen wir arbeiten? Berufliches Lernen zwischen Tradition und Transformation: Beiträge zur 7. Berufsbildungsforschungskonferenz (BBFK). wbv Publikation, Bielefeld, 2022, S. 51–62. <https://doi.org/10.3278/6004914w051>
- (Fischer, 2023) *Fischer, M.*: Gestaltungsorientierte Berufsbildung im Wandel der Arbeitswelt. bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2023), 45, S. 1–25, https://www.bwpat.de/ausgabe45/fischer_bwpat45.pdf; Zugriff am 20.12.2023.
- (Fischer et al., 2017a) *Fischer, M.; Röben, P.; Sandal, C.*: Erfassung informell erworbener Kompetenzen und Weiterbildungsplanung für Geringqualifizierte auf Basis von Ai-KomPass. In: Matthes, B.; Severing, E. (Hrsg.): Berufsbildung für Geringqualifizierte – Barrieren und Erträge. Bonn, 2017, S. 111–130.
- (Fischer et al., 2017b) *Fischer, M.; Krings, B.-J.; Moniz, A.; Zimpelmann, E.*: Herausforderungen der Mensch-Roboter-Kollaboration. Lernen & Lehren 32 (2017), 125, S. 8–14.
- (Fischer et al., 2018) *Fischer, A.; Gebauer, S.; Khavkin, E.*: 3D-Druck im Unternehmen: Entscheidungsmodelle, Best Practices und Anwendungsbeispiele am Beispiel Fused Layer Modeling (FLM). Hanser, München, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-446-44124-8>
- (Fischer et al., 2019) *Fischer, M.; Gidion, G.; Reifschneider, O.; Reimann, D.*: Perspektiven der Weiterbildung für Produktionsmitarbeiter:innen im Kontext von Industrie 4.0. In: Becker, M.; Frenz, M.; Jenewein, K.; Schenk, M. (Hrsg.): Digitalisierung und Fachkräftesicherung: Herausforderung für die gewerblich-technischen Wissenschaften und ihre Didaktiken. wbv Media, 2019, S. 181–195.
- (Fischer & Bauer, 2007) *Fischer, M.; Bauer, W.*: Konkurrierende Konzepte für die Arbeitsprozessorientierung in der deutschen Curriculumentwicklung. Europäische Zeitschrift für Berufsbildung (2007), 40.
- (Flick, 1986) *Flick, U.*: Annäherung an das Fremde: Perspektiven und Probleme quantitativer Methoden in der ethnomedizinischen Forschung. Curare 9 (1986), 2, S. 195–204.
- (Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 & acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2022) *Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften*: Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen.

- (Frenz et al., 2016) *Frenz, M.; Heinen, S.; Zinke, G.*: Industrie 4.0 und sich ändernde Berufskonzepte in den Berufsfeldern der Metalltechnik und Mechatronik-Elektrotechnik. In: Frenz, M.; Schlick, C.; Unger, T. (Hrsg.): Wandel der Erwerbsarbeit: Berufsbildgestaltung und Konzepte für die gewerblich-technischen Didaktiken. LIT, Berlin, Münster, 2016, S. 32–44.
- (Geleç et al., 2017) *Geleç, E.; Kern, M.; Schneider, B.; Ullrich, A.; Gergana; Vladova; Gronau, N.; Lipinski, R. von; Buße, D.; Oertwig, N.*: Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik. In: Weinert, N.; Plank, M.; Ullrich, A. (Hrsg.): Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik: Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts Meta-moFAB. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 39–120. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54317-7_3
- (Gerds & Herkner, 2018) *Gerds, P.; Herkner, V.*: Metalltechnik. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 179–187.
- (Gerholz & Dormann, 2017) *Gerholz, K.-H.; Dormann, M.*: Ausbildung 4.0: Didaktische Gestaltung der betrieblich-beruflichen Ausbildung in Zeiten der digitalen Transformation. bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2017), 32, S. 1–22, http://www.bwpat.de/ausgabe32/gerholz_dormann_bwpat32.pdf.
- (Gerlmaier & Latniak, 2019) *Gerlmaier, A.; Latniak, E.*: Arbeitsgestaltungskompetenz in der betrieblichen Praxis: Über welches Gefahren- und Gestaltungswissen verfügen Arbeitsschutz-Akteure, Führungskräfte und Beschäftigte? In: Gerlmaier, A.; Latniak, E. (Hrsg.): Handbuch psycho-soziale Gestaltung digitaler Produktionsarbeit: Gesundheitsressourcen stärken durch organisationale Gestaltungskompetenz. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 79–92. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26154-2_5
- (Gorecki & Pautsch, 2014) *Gorecki, P.; Pautsch, P.*: Praxisbuch Lean Management: Der Weg zur operativen Excellence. Hanser, München, 2014. <https://doi.org/10.3139/9783446442863>
- (Gorecky et al., 2014) *Gorecky, D.; Schmitt; Mathias; Loskyll, M.*: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung · Technologien · Migration. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2014, S. 524–542. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_26
- (Grabner, 2014) *Grabner, T.*: Operations Management: Auftragserfüllung bei Sach- und Dienstleistungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-06441-9>
- (Greschke & Herrmann, 2014) *Greschke, P.; Herrmann, C.*: Das Humanpotenzial einer taktunabhängigen Montage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 109 (2014), 10, S. 687–690. <https://doi.org/10.3139/104.111218>
- (Gronau, 2015) *Gronau, N.*: Der Einfluss von Cyber-Physical Systems auf die Gestaltung von Produktionssystemen. Industrie 4.0 Management (2015), 31, S. 16–20.
- (Günther & Tempelmeier, 2020) *Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.*: Supply Chain Analytics: Operations Management und Logistik. Books on Demand, Norderstedt, 2020.

- (Hägele & Knutzen, 2001) *Hägele, T.; Knutzen, S.*: Neue Lernkonzepte in der dualen Berufsausbildung: Analyse und Bewertung von Methoden zur Arbeitsprozessevaluierung als Grundlage lernfeldorientierter Curricula. Forschungsauftrag 3/2000 im BLK – Programm, Hamburg, 2001.
- (Hager & Müller, 2023) *Hager, A.; Müller, F.*: Die Gestaltung der Fortbildung „Geprüfte Berufsspezialistin bzw. Geprüfter Berufsspezialist für Industrielle Transformation“ im InnoVET-Projekt BIRD. In: Wilbers, K. (Hrsg.): Die erste Fortbildungsstufe „Geprüfte/r Berufsspezialist/in“ der höherqualifizierenden Berufsbildung. Die Gestaltung von Fortbildungen auf dem DQR-Niveau 5 im Innovationswettbewerb InnoVET. epubli GmbH, Berlin, 2023, S. 149–178.
- (Heidegger, 2018) *Heidegger, G.*: Gestaltungsorientierte Forschung und Interdisziplinarität. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 706–713.
- (Heilbrunn & Sammet, 2017) *Heilbrunn, B.; Sammet, I.*: G-Learning – Gamification im Kontext von betrieblichen eLearning. In: Strahinger, S.; Leyh, C. (Hrsg.): Gamification und Serious Games: Grundlagen, Vorgehen und Anwendungen. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 83–94. https://doi.org/10.1007/978-3-658-16742-4_7
- (Helfferich, 2011) *Helfferich, C.*: Die Qualität qualitativer Daten: Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>
- (Helmold et al., 2022) *Helmold, M.; Dathe, T.; Dathe, I.*: Entrepreneurship in Zeiten der Globalisierung und Digitalisierung: Für Startup-Gründer und solche, die es werden wollen. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Gabler, Wiesbaden, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-39018-1>
- (Hemkes et al., 2017) *Hemkes, B.; Srbeny, C.; Vogel, C.; Zaviska, C.*: Zum Selbstverständnis gestaltungsorientierter Forschung in der Berufsbildung – Eine methodologische und methodische Reflexion. bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2017), 33, S. 1–23, http://www.bwpat.de/ausgabe33/hemkes_etal_bwpat33.pdf; Zugriff am 24.04.2022.
- (Herkner, 2018) *Herkner, V.*: Berufswissenschaftliche Forschung in den Beruflichen Fachrichtungen – Einführung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 175–179.
- (Hermann et al., 2015) *Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B.*: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review; Zugriff am 16.07.2022.
- (Hirsch-Kreinsen, 2014) *Hirsch-Kreinsen, H.*: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“, https://ts.sowi.tu-dortmund.de/storages/ts-sowi/r/Dateien/Downloads/SozAP/38_AP-SOZ-38.pdf; Zugriff am 22.07.2022. <https://doi.org/10.5771/0342-300X-2014-6-421>

- (Hirsch-Kreinsen, 2015) *Hirsch-Kreinsen, H.*: Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Botthof, A.; Hartmann, E. (Hrsg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer Vieweg, 2015, S. 89–98. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45915-7_10
- (Hirsch-Kreinsen, 2018) *Hirsch-Kreinsen, H.*: Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 2018, S. 13–32. <https://doi.org/10.5771/9783845283340>
- (Hirsch-Kreinsen et al., 2016) *Hirsch-Kreinsen, H.; Hompel, M. ten; Ittermann, P.; Niehaus, J.; Dregger, J.*: Social Manufacturing and Logistics: Konturen eines Leitbildes digitaler Industriearbeit, https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-somali.pdf?__blob=publicationFile&v=4; Zugriff am 13.09.2020.
- (Hirsch-Kreinsen et al., 2018) *Hirsch-Kreinsen, H.; Hompel, M. ten; Ittermann, P.; Dregger, J.; Niehaus, J.; Kirks, T.; Mättig, B.*: „Social Manufacturing and Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In: Wischmann, S.; Hartmann, E. (Hrsg.): *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung*. Springer Vieweg, Berlin, 2018, S. 175–194. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6_13
- (Hopf, 2009) *Hopf, C.*: Qualitative Interviews – ein Überblick. In: Flick, U.; Kardorff, E. von; Steinke, I. (Hrsg.): (veraltet) *Qualitative Forschung: Ein Handbuch*. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2009, S. 349–360.
- (Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V., 2018) *Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.*: Fachkräftecheck Metall- und Elektroberufe: Analyse der Fachkräftesituation, <https://www.kofa.de/daten-und-fakten/studien/fachkraeftecheck-metall-und-elektroberufe/>; Zugriff am 10.07.2022.
- (International Labour Office, 2012) *International Labour Office*: International Standard Classification of Occupations: ISCO-08. Structure, group definitions and correspondence tables.
- (Isenhardt et al., 2020) *Isenhardt, I.; Fenollar Solvay, A.; Otte, T.; Henke, Christoph; Haberstroh, Max*: Rolle und Einfluss der Industrie 4.0 auf die Gestaltung autonomer Mobilität. In: Frenz, W. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 682–695. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58474-3_35
- (Jablonka et al., 2017) *Jablonka, P.; Jenewein, K.; Marchl, G.*: Potentiale und Spannungsfelder der partizipativen Aktionsforschung in der wissenschaftlichen Begleitung von Reformprogrammen in der Berufsbildung. *bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online* (2017), 33, S. 1–21, http://www.bwpat.de/ausgabe33/jablonka_jenewein_marchl_bwpat33.pdf; Zugriff am 02.02.2024.
- (Jenewein, 2018a) *Jenewein, K.*: Arbeit, Technik und Bildung in der Virtuellen Realität. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): *Handbuch Berufsbildungsforschung*. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 578–582.

- (Jenewein, 2018b) *Jenewein, K.*: Elektro- und Informationstechnik. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 187–195.
- (Kagermann et al., 2013) *Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.*: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Acatech/Büro der Forschungsunion beim Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Frankfurt am Main, 2013.
- (Kärcher, 2015) *Kärcher, B.*: Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In: Botthof, A.; Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg, 2015, S. 47–58. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45915-7_5
- (Kellner et al., 2018) *Kellner, F.; Lienland, B.; Lukesch, M.*: Produktionswirtschaft: Planung, Steuerung und Industrie 4.0. Springer Gabler, Berlin, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54341-2>
- (Kielblock & Lange, 2013) *Kielblock, S.; Lange, A.*: Das problemzentrierte Interview. Grundlagen und Forschungspraxis. Zeitschrift für Soziologie der Erziehung und Sozialisation 33 (2013), 4, S. 439–448.
- (Kiener et al., 2018) *Kiener, S.; Maier-Scheubeck, N.; Obermaier, R.; Weiß, M.*: Produktionsmanagement. De Gruyter Oldenbourg, Berlin, Boston, 2018. <https://doi.org/10.1515/9783110467710>
- (Kinne, 2022) *Kinne, S.*: Lösungen für eine menschenzentrierte Arbeitsgestaltung in der Intralogistik. In: Klumpp, M.; Hanke, T.; Hompel, M. ten; Noche, B. (Hrsg.): Ergonomie in der Intralogistik: Technische Innovationen, Umsetzungshürden und Praxisbeispiele. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Gabler, Wiesbaden, 2022, S. 133–156. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37547-8_10
- (Kirchherr et al., 2018) *Kirchherr, J.; Klier, J.; Lehmann-Brauns, C.; Winde, M.*: Future Skills: Welche Kompetenzen in Deutschland fehlen. Future Skills-Diskussionspapier 1, <https://www.stifterverband.org/download/file/fid/6360>; Zugriff am 11.04.2022.
- (Kirks & Jost, 2020) *Kirks, T.; Jost, J.*: Mensch-Technik-Interaktion in Industrie-4.0-Umgebungen am Beispiel von EMILI. In: Hompel, M. ten (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 529–539. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58530-6_98
- (Kletti, 2007) *Kletti, J.*: Konzeption und Einführung von MES-Systemen: Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- (Klier et al., 2021) *Klier, M.; Heinrich, B.; Klier, J.; Brasse, J.; Förster, M.; Hühn, P.; Moestue, L.*: Future Skills: Welche Kompetenzen für den Standort Baden-Württemberg heute und in Zukunft erfolgskritisch sind, https://www.agenturq.de/wp-content/uploads/2021/10/2109091_Broschu%CC%88re-Future-Skills_FINAL.pdf; Zugriff am 03.03.2022.
- (Klotz, 2006) *Klotz, U.*: Vom Taylorismus zur „Open Innovation“: Innovation als sozialer Prozess. In: Abel, R.; Bass, H. H.; Ernst-Siebert, R. (Hrsg.): Kleine und mittelgroße Unternehmen im globalen Innovationswettbewerb: Technikgestaltung, Internationalisierungsstrategien, Beschäftigungsschaffung. Hampp, München, Mering, 2006, S. 88–123.

- (Kosow & Gaßner, 2008) *Kosow, H.; Gaßner, R.*: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. IZT, Berlin, 2008.
- (Krapf, 2019) *Krapf, J. D.*: Lernkulturentwicklung zur Steigerung der organisationalen Agilität: Eine Design-Based Research-Studie. Dissertation, St.Gallen, 2019.
- (Krippendorff, 1971) *Krippendorff, H.*: Lexikon der Fabrikorganisation und Fördertechnik. Deutsche Verlags-Anstalt, 1971.
- (Kuckartz, 2014) *Kuckartz, U.*: Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren. Springer VS, Wiesbaden, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93267-5>
- (Kuckartz, 2018) *Kuckartz, U.*: Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Beltz Juventa, Weinheim, Basel, 2018.
- (Kuhn et al., 2022) *Kuhn, T.; Antonio, P.; Schincke, F.*: Über Digitale Zwillinge. In: Roth, S.; Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Digitalisierung. Verlag Franz Vahlen, München, 2022, S. 506–524.
- (Kühn & Witzel, 2000) *Kühn, T.; Witzel, A.*: Der Gebrauch einer Textdatenbank im Auswertungsprozess problemzentrierter Interviews. Forum Qualitative Sozialforschung 1 (2000), 3.
- (Kultusministerkonferenz, 2002) *Kultusministerkonferenz*: Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriekaufmann/Industriekauffrau, 2002.
- (Kultusministerkonferenz, 2008) *Kultusministerkonferenz*: Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, <https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Produktionstechnologe.pdf>; Zugriff am 05.07.2022.
- (Kultusministerkonferenz, 2015) *Kultusministerkonferenz*: Liste der anerkannten Ausbildungsberufe, für welche länderübergreifende Fachklassen eingerichtet werden, mit Angabe der aufnehmenden Länder (Berufsschulstandorte) und Einzugsbereiche, https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_08_01-Liste-Ausbildungsberufe.pdf; Zugriff am 06.02.2020.
- (Kultusministerkonferenz, 2018a) *Kultusministerkonferenz*: Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin, 2018.
- (Kultusministerkonferenz, 2018b) *Kultusministerkonferenz*: Rahmenvereinbarung über die Ausbildung und Prüfung für ein Lehramt der Sekundarstufe II (berufliche Fächer) oder für die beruflichen Schulen (Lehramtstyp 5): (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.05.1995 i. d. F. vom 13.09.2018), https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/1995/1995_05_12-RV-Lehramtstyp-5.pdf; Zugriff am 27.10.2020.
- (Kunz, 2020) *Kunz, A.*: Der Einsatz der virtuellen Realität zur digitalen Planung von Produktionsprozessen. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden, Heidelberg, 2020, S. 217–236. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29009-2_11

- (Küpper, 2021) *Küpper, A. M.*: Weiter-)Entwicklung und Evaluation der Lernumgebung „Mit dem Licht durch unser Sonnensystem und darüber hinaus“ zur dualen Förderung von Kompetenzen zum Umgang mit Fachwissen, der sozialen Integration, der Kooperationsfähigkeit und der Selbstständigkeit im inklusiven Physikunterricht der Orientierungsstufe: ein Design-Based Research-Projekt. Dissertation, Köln, 2021.
- (Kurbel, 2016) *Kurbel, K.*: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie: Von MRP bis Industrie 4.0. De Gruyter, Berlin/Boston, 2016. <https://doi.org/10.1515/9783110441697>
- (Leidholdt et al., 2016) *Leidholdt, W.; Fritzsche, L.; Bauer, S.*: Editor menschlicher Arbeit (ema). In: Bullinger-Hoffmann, A. C.; Mühlstedt, J. (Hrsg.): Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Springer Vieweg, Wiesbaden, Heidelberg, 2016, S. 355–362. https://doi.org/10.1007/978-3-662-50459-8_20
- (Lewalder et al., 2019) *Lewalder, A.; Lukowski, F.; Neuber-Pohl, C.; Tiemann, M.*: Operationalisierung von Ersetzungspotentialen in Erwerbstätigkeiten durch Technologie. Wissenschaftliche Diskussionspapiere, <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichen/gen/de/publication/show/10569>; Zugriff am 10.07.2022.
- (Lichtblau et al., 2015) *Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R.; Blum, M.; Bleider, M.; Millack, A.; Schmitt, K.; Schmitz, E.; Schröter, M.*: Industrie 4.0–Readiness. Impuls-Stiftung für den Maschinenbau, den Anlagenbau und die Informationstechnik, <https://impulsstiftung.de/studien>; Zugriff am 11.06.2024.
- (Lugert & Winkler, 2019) *Lugert, A.; Winkler, H.*: Wertstrom – Wertstrommethode – Wertstrommanagement. WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium – Zeitschrift für Studium und Forschung (2019), 6, S. 4–11; Zugriff am 22.07.2022. <https://doi.org/10.15358/0340-1650-2019-6-4>
- (Marrenbach & Geiger, 2019) *Marrenbach, D.; Geiger, L.*: Job rotation, job enlargement, job enrichment. In: Gerlmaier, A.; Latniak, E. (Hrsg.): Handbuch psycho-soziale Gestaltung digitaler Produktionsarbeit: Gesundheitsressourcen stärken durch organisationale Gestaltungskompetenz. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, 359–363. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26154-2_27
- (Marshall, 1996) *Marshall, M.*: Sampling for qualitative research. Family Practice 13 (1996), 6, pp. 522–525. <https://doi.org/10.1093/fampra/13.6.522>
- (Mayring, 2015) *Mayring, P.*: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Beltz, Weinheim, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0_38
- (Mayring, 2019) *Mayring, P.*: Qualitative Inhaltsanalyse – Abgrenzungen, Spielarten, Weiterentwicklungen. Forum Qualitative Sozialforschung 20 (2019), 3. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42
- (Mayring, 2020) *Mayring, P.*: Qualitative Inhaltsanalyse. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie: Band 2: Designs und Verfahren. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020, S. 495–511. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26887-9_52
- (Meitinger et al., 2023) *Meitinger, T. H.; Mayer, O.; Gasteiger, P.*: Mit TRIZ zur Erfindung: Schnell und systematisch zur technischen Lösung. Springer, Berlin, 2023. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-67108-5>

- (Merz, 2016) *Merz, S. L.*: Industrie 4.0-Strategie: So geht man bei der Einführung vor. In: Roth, A. (Hrsg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 83–110.
- (Mey, 1999) *Mey, G.*: Adoleszenz, Identität, Erzählung: Theoretische, methodologische und empirische Erkundungen. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1999. Köster, Berlin, 1999.
- (Mey & Mruck, 2018) *Mey, G.; Mruck, K.*: Grounded-Theory-Methodologie. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Springer, Wiesbaden, 2018, S. 1–23. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5_46-1
- (Minow, 2021) *Minow, A.*: Arbeitsphysiologische Untersuchungen beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme für variantenreiche Montageprozesse in der Arbeitswelt 4.0. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2021.
- (Misoch, 2015) *Misoch, S.*: Qualitative Interviews. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, München, Boston, 2015. <https://doi.org/10.1515/9783110354614>
- (Müller, 2012) *Müller, K.*: Der Produktionstechnologe – Ein smarter Innovationsakteur. In: Pfeiffer, S.; Schütt, P.; Wühr, D. (Hrsg.): Smarte Innovation: Ergebnisse und neue Ansätze im Maschinen- und Anlagenbau. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2012, S. 285–298. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19050-1_15
- (Müller, 2018) *Müller, K.*: Handlungsempfehlungen für die Ausbildung und Qualifizierung für Industrie 4.0: Agiles Verfahren der M+E-Sozialpartner. Lernen & lehren 33 (2018), 129, S. 21–26, http://lernenundlehren.de/heft_dl/Heft_129.pdf; Zugriff am 05.01.2023.
- (Müller, 2023) *Müller, F.*: Entwicklung eines berufswissenschaftlichen Qualifikationsforschungsansatzes für die DQR-Stufe 5 zur Etablierung des Weiterbildungsberufes „Geprüfte Berufsspezialistin bzw. Geprüfter Berufsspezialist für Industrielle Transformation“. bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2023), 45, S. 1–30, https://www.bwpat.de/ausgabe45/mueller_bwpat45.pdf; Zugriff am 21.12.2023.
- (Muslic et al., 2020) *Muslic, B.; Giske, A.; Hartung-Beck, V.*: Die qualitative Inhaltsanalyse innerhalb der empirischen Bildungsforschung. Einsatzmöglichkeiten in einer sekundäranalytischen Längsschnittstudie zur Identifikation von Reorganisationsmustern schulischer Organisationen. Forum Qualitative Sozialforschung 21 (2020), 1.
- (Nachtwey & Staab, 2016) *Nachtwey, O.; Staab, P.*: Die Avantgarde des digitalen Kapitalismus. Mittelweg 36 2016 (2016), 6, S. 1–21.
- (Nierling et al., 2020) *Nierling, L.; Schreiber, A.; Fischer, M.*: Prospektive Weiterbildung für Industrie 4.0: Analyse- und Gestaltungsperspektiven. In: Wang, J.; Rützel, J.; Feng, X. (Hrsg.): Digitale Welt – Herausforderungen für die berufliche Bildung und die Professionalität der Lehrenden Ergebnisse des 5. und 6. Chinesisch-Deutschen Workshops zur Berufsbildungsforschung. Eusl, Detmold, 2020, S. 157–186.
- (Obermaier, 2019) *Obermaier, R.*: Industrie 4.0 und Digitale Transformation als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. In: Obermaier, R. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2019, S. 3–46. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24576-4_1

- (Ohno, 2013) *Ohno, T.*: Das Toyota-Produktionssystem. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2013.
- (Patton & Economy, 2015) *Patton, J.; Economy, P.*: User Story Mapping: Die Technik für besseres Nutzerverständnis in der agilen Produktentwicklung. O'Reilly, Beijing, Cambridge, Farnham, Köln, Sebastopol, Tokyo, 2015.
- (Pawellek, 2008) *Pawellek, G.*: Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Springer, Berlin, 2008. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78403-6>
- (Pawicki, 2014) *Pawicki, M.*: Kuckartz, Udo (2012). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Journal for educational research online 6 (2014), 2, S. 141–145.
- (Petersen, 2018) *Petersen, A. W.*: Berufe, Berufsgruppen und Berufsfelder: Systematisierungen aus internationaler und nationaler Sicht. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, 2018, S. 96–106.
- (Pfeiffer, 2015) *Pfeiffer, S.*: Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung, http://epub.oaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf; Zugriff am 03.04.2020. <https://doi.org/10.1553/ITA-ms-15-03>
- (Pfeiffer et al., 2016) *Pfeiffer, S.; Lee, H.; Zirnig, C.; Suphan, A.*: Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025, <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2016-Pfeiffer-Industrie40-Qualifizierung2025.pdf>; Zugriff am 08.06.2020.
- (Pfeiffer et al., 2018) *Pfeiffer, S.; Held, M.; Lee, H.*: Digitalisierung „machen“ – Ansichten im Engineering zur partizipativen Gestaltung von Industrie 4.0. In: Hofmann, J. (Hrsg.): Arbeit 4.0 – Digitalisierung, IT und Arbeit: IT als Treiber der digitalen Transformation. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018, S. 113–130. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21359-6_7
- (Pistorius, 2020) *Pistorius, J.*: Industrie 4.0 – Schlüsseltechnologien Für Die Produktion: Grundlagen * Potenziale * Anwendungen. Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61580-5>
- (Prenzel et al., 2013) *Prenzel, A.; Friebertshäuser, B.; Langer, A.*: Perspektiven qualitativer Forschung in der Erziehungswissenschaft – eine Einführung. In: Friebertshäuser, B.; Langer, A.; Prenzel, A. (Hrsg.): Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Beltz Juventa, Weinheim, Basel, 2013, S. 17–42.
- (Pristl, 1956) *Pristl, F.*: Arbeitsvorbereitung: 1. Teil. Schneider-Verlag, Berlin Heidelberg, 1956. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-01322-9>
- (Pristl & Franke, 1975) *Pristl, F.; Franke, W.*: Arbeitsvorbereitung I: Betriebswirtschaftliche Vorüberlegungen, werkstoff- und fertigungstechnische Planungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 1975. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-80806-7>
- (Przyborski & Slunecko, 2018) *Przyborski, A.; Slunecko, T.*: Dokumentarische Methode. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Springer, Wiesbaden, 2018, S. 1–19. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5_45-1
- (Rauner, 2018) *Rauner, F.*: Arbeit und Technik-Forschung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 569–578. <https://doi.org/10.36198/9783838550787>

- (Rauner & Grollmann, 2018) *Rauner, F.; Grollmann, P.*: Berufsbildungsforschung: Eine Einführung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 13–21. <https://doi.org/10.36198/9783838550787>
- (REFA Bundesverband e.V., 2015) *REFA Bundesverband e.V.*: Industrial Engineering: Standardmethoden zur Produktivitätssteigerung und Prozessoptimierung. Carl Hanser Verlag, 2015.
- (Reinders, 2012) *Reinders, H.*: Qualitative Interviews mit Jugendlichen führen: Ein Leitfaden. Oldenbourg, München, 2012. <https://doi.org/10.1524/9783486717600>
- (Reinhardt, 2012) *Reinhardt, S.*: Das Zusammenspiel von quantitativer und qualitativer Forschung. Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung (2012), 1, S. 231–238.
- (Reinhold et al., 2003) *Reinhold, M.; Haasler, B.; Howe, F.; Kleiner, M.; Rauner, F.*: Entwickeln von Lernfeldern: Von den beruflichen Arbeitsaufgaben zum Berufsbildungsplan. Curriculum-Design 2. Christiani, Konstanz, 2003.
- (Reinmann, 2005) *Reinmann, G.*: Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. Unterrichtswissenschaft (2005), 33, S. 52–69.
- (Reinmann, 2017) *Reinmann, G.*: Design-Based Research. In: Schemme, D.; Novak, H. (Hrsg.): Gestaltungsorientierte Forschung – Basis für soziale Innovationen: Erprobte Ansätze im Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis. W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld, 2017, S. 49–62.
- (Reinmann, 2020) *Reinmann, G.*: Ein holistischer Design-Based Research-Modellentwurf für die Hochschuldidaktik. EDeR. Educational Design Research (2020), 4, S. 1–16. <https://doi.org/10.15460/eder.4.2.1554>
- (Richter, 2019) *Richter, T.*: Betriebliche Weiterbildung als Antwort auf die Implementierung von Industrie 4.0. In: Spöttl, G.; Windelband, L. (Hrsg.): Industrie 4.0: Risiken und Chancen für die Berufsbildung. wbv Publikation, Bielefeld, 2019, S. 241–260. <https://doi.org/10.3278/6004606aw>
- (Rödiger, 2018) *Rödiger, K.-H.*: Mensch-Computer-Interaktion. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 588–594.
- (Ruin, 2017) *Ruin, S.*: Ansätze und Verfahren der Kategorienbildung in der qualitativen Inhaltsanalyse. In: Aschebrock, H.; Stibbe, G. (Hrsg.): Schulsportforschung – wissenschaftstheoretische und methodologische Reflexionen. Waxmann, Münster, 2017, S. 119–134.
- (Sandoval, 2014) *Sandoval, W. A.*: Conjecture Mapping: An Approach to Systematic Educational Design Research. Journal of the Learning Sciences 23 (2014), 1, S. 18–36. <https://doi.org/10.1080/10508406.2013.778204>
- (Scharnhorst, 2018) *Scharnhorst, U.*: Berufsentwicklung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 138–143.

- (Schelten, 2002) *Schelten, A.*: Darstellung ausgewählter Ergebnisbereiche der Arbeitspädagogik – Die didaktische Gestaltung eines Lernens im Betrieb. In: Terada, M. (Hrsg.): „Internship“ in Secondary and Higher Education: Intermediate Report of the International Cooperative Research: Comparative Studies of the Relationship between Vocational-Professional Education and Recruitment-Employment Systems in Japan, Germany, and PR China, Nagoya, 2002, S. 106–126.
- (Schenk et al., 2014) *Schenk, M.; Müller, E.; Wirth, S.*: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. Springer Vieweg, Berlin, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05459-4>
- (Schlick et al., 2015) *Schlick, C.; Heinen, S.; Frenz, M.*: Entwicklung eines innovativen Fernlehrgangs einschließlich Mobile Learning zur Förderung reflexiver Handlungsfähigkeit in der Produktionsorganisation. In: Meier, H. (Hrsg.): Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt: Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). GITO mbH Verlag, Berlin, 2015, S. 39–56.
- (Schlottmann et al., 2021) *Schlottmann, P.; Gerholz, K.-H.; Winther, E.*: Digital Literacy für Wirtschaftspädagog*innen – Modellierung des domänenspezifischen Fachwissens in der beruflichen Lehrerbildung. *bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online* (2021), 40, S. 1–20, https://www.bwpat.de/ausgabe40/schlottmann_etal_bwpat40.pdf.
- (Schmalzried et al., 2023) *Schmalzried, D.; Hurst, M.; Wentzien, M.; Gräser, M.*: Analyse der Rolle Künstlicher Intelligenz für eine menschenzentrierte Industrie 5.0. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 60 (2023), 6, S. 1143–1155. <https://doi.org/10.1365/s40702-023-01001-y>
- (Schneider et al., 2005) *Schneider, H.; Buzacott, J. A.; Rücker, T.*: Operative Produktionsplanung und -steuerung: Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen. Oldenbourg, München, 2005. <https://doi.org/10.1524/9783486700312>
- (Schönherr & Arnold, 2016) *Schönherr, R.; Arnold, R.*: Anwendung digitaler Menschsimulationen im Rahmen der Planung und kontinuierlichen Verbesserung von Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie. In: Bullinger-Hoffmann, A. C.; Mühlstedt, J. (Hrsg.): *Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*. Springer Vieweg, Wiesbaden, Heidelberg, 2016, S. 363–370. https://doi.org/10.1007/978-3-662-50459-8_21
- (Schreier, 2014) *Schreier, M.*: Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. *Forum Qualitative Sozialforschung* 15 (2014), 1.
- (Schuh et al., 2012) *Schuh, G.; Stich, V.; Runge, S.*: Einführung. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 3–7. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25423-9_1
- (Schuh et al., 2020) *Schuh, G.; Anderl, R.; Dumitrescu, R.; Krüger, A.; Hompel, M.*: *Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten*. UP-DATE 2020, München, 2020.
- (Schuh & Schmidt, 2014) *Schuh, G.; Schmidt, C.*: *Produktionsmanagement: Handbuch Produktion und Management 5*. Springer Vieweg, Berlin, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54288-6>

- (Siemens AG, 2023) *Siemens AG: KI für die Industrie: Schaeffler und Siemens bringen Industrial Copilot in die Produktion: SPS2023, Nürnberg/München, 2023.*
- (Sloane & Fischer, 2018) *Sloane, P. F.; Fischer, M.: Modellversuchsforschung. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 790–799.*
- (Spath, 2013) *Spath, D.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2013.*
- (Spöttl, 2017) *Spöttl, G.: „Beruflich-betrieblicher Bildungstyp“ – ein Leitmodell für Industrie 4.0? bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2017), 32, S. 1–18, http://www.bwpat.de/ausgabe32/spoettl_bwpat32.pdf.*
- (Spöttl, 2018) *Spöttl, G.: „Industrie 4.0“. Lernen & lehren 33 (2018), 129, S. 4–10, http://lernenundlehren.de/heft_dl/Heft_129.pdf; Zugriff am 05.01.2023.*
- (Spöttl et al., 2009) *Spöttl, G.; Bremer, R.; Grollmann, P.; Musekamp, F.: Gestaltungsoptionen für die duale Organisation der Berufsausbildung, https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-04323; Zugriff am 12.01.2024.*
- (Stamann et al., 2016) *Stamann, C.; Janssen, M.; Schreier, M.: Qualitative Inhaltsanalyse – Versuch einer Begriffsbestimmung und Systematisierung. Forum Qualitative Sozialforschung 17 (2016), 3.*
- (Steinke, 2010) *Steinke, I.: Gütekriterien qualitativer Forschung. In: Flick, U.; Kardorff, E. von; Steinke, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung: Ein Handbuch. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2010, S. 319–331.*
- (Steven, 1998) *Steven, M.: Produktionstheorie. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-84571-9>*
- (Suessenbach et al., 2021) *Suessenbach, F.; Winde, M.; Klier, J.; Kirchherr, J.: Future Skills: 21 Kompetenzen für eine Welt im Wandel. Future Skills-Diskussionspapier 3, <https://www.stifterverband.org/download/file/fid/10547>; Zugriff am 28.04.2022.*
- (Tanner, 1991) *Tanner, J.: Manufacturing Engineering: An introduction to the basic functions. M. Dekker, New York, 1991.*
- (Teichmann et al., 2022) *Teichmann, M.; Lass, S.; Ullrich, A.; Gronau, N.: Modellfabriken als Enabler flexibler Lehr- und Lernsituationen für die Kompetenzentwicklung im Fabrikkontext – Die Lernfabrik des Zentrums Industrie 4.0 Potsdam. In: Weber, K.; Reinheimer, S. (Hrsg.): Faktor Mensch. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg, Wiesbaden, 2022, S. 173–196. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34524-2_10*
- (Thies, 2023) *Thies, L.: Braucht Digitalisierung Akademisierung? – Zur Rollentransformation industrieller Fachkräfte. bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (2023), 45, S. 1–25, https://www.bwpat.de/ausgabe45/thies_bwpat45.pdf; Zugriff am 20.12.2023. <https://doi.org/10.5771/9783748917304-25>*
- (van Treeck et al., 2013) *van Treeck, T.; Himpl-Gutermann, K.; Robes, J.: Offene und partizipative Lernkonzepte. E-Portfolios, MOOCs und Flipped Classrooms. In: Ebner, M.; Schön, S. (Hrsg.): L3T: Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien. Berlin, epubli, 2013, S. 1–13.*

- (Volpert & Weber, 2018) *Volpert, W.; Weber, W. G.*: Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 399–413.
- (Weiß, 2018) *Weiß, R.*: Berufsbildungsforschung und Berufsbildungsdialog. In: Rauner, F.; Grollmann, P. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv Media, Bielefeld, 2018, S. 83–90.
- (Wennker, 2020) *Wennker, P.*: Künstliche Intelligenz in der Praxis: Anwendungen in Unternehmen und Branchen: KI wettbewerbs- und zukunftsorientiert einsetzen. Springer Gabler, Wiesbaden, Germany, Heidelberg, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30480-5>
- (Westkämper & Bauernhansl, 2014) *Westkämper, E.; Bauernhansl, T.*: Produktionssteuerung. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Enterprise-Integration: Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen. Springer Vieweg, Berlin, 2014, S. 13–22. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41891-4_2
- (White et al., 2023) *White, J.; Fu, Q.; Hays, S.; Sandborn, M.; Olea, C.; Gilbert, H.; Elnashar, A.; Spencer-Smith, J.; Schmidt, D. C.*: A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT, <http://arxiv.org/pdf/2302.11382.pdf>; Zugriff am 21.02.2023.
- (Wilbers, 2023) *Wilbers, K.*: Wirtschaftsunterricht gestalten: Auflage 6. epubli, Berlin, 2023.
- (Windelband & Dworschak, 2018) *Windelband, L.; Dworschak, B.*: Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 2018, S. 63–80. <https://doi.org/10.5771/9783845283340-60>
- (Wischmann & Hartmann, 2018) *Wischmann, S.; Hartmann, E. A.*: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Szenarien aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten. In: Wischmann, S.; Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, 2018, S. 1–8. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6_1
- (Witzel, 1985) *Witzel, A.*: Das problemzentrierte Interview. In: Jüttemann, G. (Hrsg.): Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder. Beltz, Weinheim, 1985, S. 227–255.
- (Witzel, 2000) *Witzel, A.*: Das problemzentrierte Interview. Forum Qualitative Sozialforschung (2000), 1.
- (Wohlrabe et al., 2019) *Wohlrabe, D.; Arnold, F.; Havlik, R.; Koblasa, F.; Nitzsche, S.; Povolny, J.*: Praxisorientierte Kompetenzentwicklung in der Produktionstechnik durch Kooperation. In: Thomas Vollmer; Steffen Jaschke; D. Hartmann, M.; Bernd Mahrin; Uli Neustock; Klaus Jenewein; Marianne Frieze; Susan Seeber; Georg Spöttl (Hrsg.): Gewerblich-technische Berufsbildung und Digitalisierung: Praxiszugänge – Unterricht und Beruflichkeit. W. Bertelsmann Verlag; ProQuest, Bielefeld, Ann Arbor, Michigan, 2019, S. 85–106.
- (Zäpfel, 2000) *Zäpfel, G.*: Strategisches Produktions-Management. De Gruyter Oldenbourg, München, 2000. <https://doi.org/10.1524/9783486804485>

- (Zäpfel, 2001) *Zäpfel, G.*: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement. Oldenbourg, München, 2001. <https://doi.org/10.1524/9783486700824>
- (Zhai & Reinhart, 2018) *Zhai, S.; Reinhart, G.*: Predictive Maintenance als Wegbereiter für die instandhaltungsgerechte Produktionssteuerung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (2018), 5, S. 298–301. <https://doi.org/10.3139/104.111912>
- (Zika et al., 2020) *Zika, G.; Maier, T.; Wolter, M. I.*: Berufshauptgruppe „Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe“, https://www.bibb.de/dokumente/pdf/Berufe_Dossier_10_Technische_Forschungs_Entwicklungs_Konstruktions_Produktionssteuerungsberufe.pdf; Zugriff am 10.07.2022.
- (Zinke, 2019) *Zinke, G.*: Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Branchen- und Berufescreening: Vergleichende Gesamtstudie, <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/10371>; Zugriff am 08.06.2020.
- (Zinke et al., 2017) *Zinke, G.; Renger, P.; Feirer, S.; Padur, T.*: Berufsausbildung und Digitalisierung – ein Beispiel aus der Automobilindustrie, <https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/8329>; Zugriff am 29.12.2023.
- (Zinke & Wasiljew, 2011) *Zinke, G.; Wasiljew, E.*: Implementation der Aus- und Fortbildungsberufe Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, Prozessmanager/Prozessmanagerin: Abschlussbericht. Entwicklungsprojekt 4.0.875, https://www.bibb.de/dienst/dapro/daprodocs/pdf/eb_40875.pdf; Zugriff am 10.07.2022.
- (ZVEI – Verband der Elektro- und Digitalindustrie, 2016) *ZVEI – Verband der Elektro- und Digitalindustrie*: Die Elektroindustrie als Leitbranche der Digitalisierung, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/November/Die_Elektroindustrie_als_Leitbranche_der_Digitalisierung_-_Innovationsstudie/ZVEI-Innovationsstudie-2016.pdf; Zugriff am 20.10.2020.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Entwicklungsszenarien zur Arbeit der Zukunft	18
Abb. 2	Produktionssystem mit Wertschöpfungsprozess	25
Abb. 3	Aufgaben des Produktions- und Logistikmanagements – Betriebswirtschaftslehre	30
Abb. 4	Aufgaben in der Arbeitsvorbereitung – Ingenieurwissenschaften	31
Abb. 5	Aufgabengruppen der Arbeitsvorbereitung – Berufsbildungsforschung	32
Abb. 6	Klassifikation der Berufe 2010	34
Abb. 7	Aus- und Weiterbildungsprofile in der Produktionstechnologie	40
Abb. 8	Letzter Abschluss der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung	43
Abb. 9	Arbeitsprozessanalysen in der Metalltechnik und Mechatronik-Elektrotechnik	45
Abb. 10	Schlüsseltechnologien für Industrie 4.0	51
Abb. 11	Stufen des Industrie-4.0-Entwicklungspfad	52
Abb. 12	Grafische Darstellung der Wertstrommethode	55
Abb. 13	Einschätzungen zu körperlichen und mentalen Arbeitsbelastungen	60
Abb. 14	Veränderungen Stress und Arbeitsdruck	61
Abb. 15	Vorschlag zur Teilnovellierung der M+E-Berufe	79
Abb. 16	Strukturierung des Begriffs Weiterbildung	83
Abb. 17	Ansatz für Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0 von Acatech	87
Abb. 18	Lernszenario Potenziale mobiler IoT-Technologien in der Maschinenwartung von Teichmann et al.	90
Abb. 19	Forschungs- und Entwicklungszyklen im Rahmen des DBR	100
Abb. 20	Forschungsdesign der Arbeit	105
Abb. 21	Ablaufschema der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse	126
Abb. 22	Codierhäufigkeiten Hauptkategorien	132

Abb. 23	Hauptkategorie 02_Industrie 4.0-Projekte	133
Abb. 24	Verteilung der Industrie-4.0-Projekte	137
Abb. 25	Arbeitsaufgaben der interviewten Personen	154
Abb. 26	Module des Weiterbildungskonzeptes	210
Abb. 27	Weiterbildungsmodul – Umgang mit Industrie-4.0-Anwendungen	212
Abb. 28	Weiterbildungsmodul – Einführungsprozesse kooperativ gestalten	218
Abb. 29	Weiterbildungsmodul – Agieren als Schnittstellenfunktion zur Produktion	222
Abb. 30	Weiterbildungsmodul – Arbeitsorganisation und Technikgestaltung	228
Abb. 31	Organisationstypen der Produktion	230
Abb. 32	Weiterbildungsmodul – Durchführung eines Projektes im eigenen Produktionssystem	233

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Betriebliche Funktionen mit Aufgaben zur Gestaltung von Produktionssystemen und der Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen	27
Tab. 2	Technische Produktionsplanung und –steuerung	35
Tab. 3	Anforderungsniveau und Berufsgattungen	36
Tab. 4	Berufe mit Tätigkeiten zur Gestaltung des Produktionssystems	37
Tab. 5	Empirische Untersuchungen in der technischen Produktionsplanung und -steuerung	44
Tab. 6	Aufgaben und Arbeitsprozesse der Serienplanung	47
Tab. 7	Ausgewählte Studien zur Aus- und Weiterbildung in Industrie 4.0	67
Tab. 8	Teilnovellierung der M+E Berufe	75
Tab. 9	Berufsbildpositionen einer Instandhaltung 4.0	77
Tab. 10	Übersicht der zugeordneten Qualifikationen	83
Tab. 11	Ausgewählte Weiterbildungskonzepte für Industrie 4.0	85

Tab. 12	Quantitative und qualitative Forschung	95
Tab. 13	Problembeschreibung des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojektes	107
Tab. 14	Kernkriterien zur Beurteilung der Qualität qualitativer Studien	109
Tab. 15	Checkliste interne Studiengüte	111
Tab. 16	Übersicht Interviewformen	115
Tab. 17	Umsetzung der Grundprinzipien des problemzentrierten Interviews	118
Tab. 18	Regeln einer einfachen wörtlichen Transkription	127
Tab. 19	Hauptkategorie Arbeitsaufgaben	131
Tab. 20	Unterkategorie Grundlage zur Optimierung/vorbeugende Instandhaltung	133
Tab. 21	Merkmale der Forschungsteilnehmenden	135
Tab. 22	Erfahrungen der Forschungsteilnehmenden zu Industrie-4.0-Projekten	137
Tab. 23	Gestaltungsprinzipien für die Weiterbildung von Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung	204
Tab. 24	Beispiele für Industrie-4.0-Anwendungen	212
Tab. 25	Simulation und virtuelle Realität im Umfeld des Produktionssystems	218
Tab. 26	3D-Druck und Open Innovation in der Produktion	220
Tab. 27	Fahrerlose Transportsysteme	223
Tab. 28	Matrix-Produktion	231

Anhang

Kernfragen der Designzyklen nach Euler

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Problem präzisieren	„Problem Statement“ mit einer Ausweisung der (Leit-)Ziele und darauf bezogene (zunächst noch vorläufige) Forschungs- und Gestaltungsfragen. Begründung der praktischen und wissenschaftlichen Relevanz der Problemstellung.	Welche Ziele sollen erreicht bzw. welche Probleme sollen gelöst werden?	Förderung der Beschäftigten: Zweifache Problemstellung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung im Zuge der digitalen Transformation in der Industrie. Die Beschäftigten sind Betroffene und Gestaltende zugleich, Impulse zu einer menschenzentrierten Gestaltung von Arbeit.
		Welche Rahmenbedingungen bestehen im Praxisfeld, die eine Zielerreichung unterstützen oder begrenzen können?	Positiv: Fachkräftemangel macht Weiterbildung für Unternehmen immer wichtiger, Industrie 4.0 und der Mensch, Mensch im Mittelpunkt wird auch von vielen Unternehmen nach außen kommuniziert. Negativ: gegenläufige Ziele wie Unternehmen = Wirtschaftlichkeit, Berufsbildungsforschung = ganzheitliche Entwicklung des Menschen, menschenzentrierte Arbeitsgestaltung.
		Sind zur Erreichung der angestrebten Ziele Erkenntnisse erforderlich, die noch nicht verfügbar sind?	Unter anderem: Wie sieht die Arbeitspraxis in der technischen Produktionsplanung und -steuerung aus? Wie achten die Beschäftigten bei der Gestaltung auf die Arbeit in der Produktion?
		Sind die Ziele in (Teilen) der betroffenen Praxis bedeutsam bzw. werden dort Wege zu ihrer Erreichung angestrebt?	Die Ziele wurden Vertretern aus der Praxis vorgestellt und diskutiert. Bei den Praxisvertretern handelte es sich um Mitarbeitende aus der technischen Produktionsplanung und -steuerung verschiedener Unternehmen, um Verantwortliche für die betriebliche Bildung verschiedener Unternehmen und um Führungskräfte aus dem Produktionsumfeld verschiedener Unternehmen. Die Ziele wurden von der Praxis als zutreffend und bedeutsam bestätigt.

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Problem präzisieren	„Problem Statement“ mit einer Ausweisung der (Leit-)Ziele und darauf bezogene (zunächst noch vorläufige) Forschungs- und Gestaltungsfragen. Begründung der praktischen und wissenschaftlichen Relevanz der Problemstellung.	Sind (insbesondere auch kritische) Partner in der Praxis bereit, ihre Erfahrungen in die Entwicklung einer Problemlösung mit der Wissenschaft einzubringen?	Die Vertreter der Praxis wurden über das Thema, die Ziele und die Vorgehensweise der Arbeit informiert. Sie wurden gefragt, ob sie sich vorstellen könnten, in einem Interview über ihre Arbeitspraxis, Industrie-4.0-Projekte und auch über Herausforderungen zu berichten.
		Sind die Ziele und Erwartungen der Partner einer Wissenschaft-Praxis-Kooperation geklärt?	<i>Ziele aus Sicht der Wissenschaft:</i> Erkenntnisse über die Arbeitspraxis der technischen Produktionsplanung und -steuerung und über die betriebliche Weiterbildung in der technischen Produktionsplanung und -steuerung zu gewinnen. <i>Ziele aus Sicht der Praxis:</i> Praktische Hinweise und ein wissenschaftlich entwickeltes Weiterbildungskonzept für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation in der Industrie sowie die Dokumentation der Forschungsarbeit.
		Inwieweit hat die angestrebte Problemlösung das Potenzial zu einer Anwendungsreichweite, die über einen Einzelfall hinausführt?	Verschiedene Beschäftigte aus dem Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung, die aus unterschiedlichen Unternehmen mit unterschiedlicher Arbeitsorganisation und unterschiedlichem Grad an Technisierung stammten, wurden in das Projekt einbezogen.
		Ist die angestrebte Problemlösung mit den gegebenen zeitlichen, personellen und materiellen Ressourcen realistisch erarbeitbar?	Die Entwicklung eines ersten Prototyps des Weiterbildungskonzeptes und die kommunikative Evaluierung sind realistisch durchführbar.
Theoriebasierung: Literatur und Erfahrungen auswerten	Theoretischer Bezugsrahmen – mit einer (weiter präzisierten) Problemdefinition, den Gestaltungsanforderungen („Pflichtenheft“) und -vorläufigen Beschreibungen von möglichen Maßnahmen (Gestaltungshypothesen) zur Erreichung der angestrebten Ziele.	Welche wissenschaftlichen Disziplinen bzw. Diskurse bieten mit ihren Theorien substanzielle Aussagen für die Bearbeitung der Forschungs- und Gestaltungsfragen? In welchem Maße gelingt es, das Spektrum relevanter Forschungsbefunde zu erschließen?	Berufsbildungsforschung Ingenieurwissenschaften

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Theorieba- sierung: Li- teratur und Erfahrungen auswerten	Theoretischer Be- zugsrahmen – mit einer (weiter prä- zisierten) Problem- definition, den Ge- staltungsanforderun- gen („Pflichtenheft“) und -vorläufigen Be- schreibungen von möglichen Maßnah- men (Gestaltungshypothesen) zur Erreichung der ange- strebten Ziele.	Welche Anspruchsgrup- pen und Experten bieten mit ihrem Erfahrungswissen substanzielle Aussagen für die Bear- beitung der For- schungs- und Gestal- tungsfragen? Inwieweit gelingt es, das verborgene Erfahrungswissen (tacit knowledge) aus der Praxis zu aktivieren?	Beschäftigte in der technischen Produk- tionsplanung und -steuerung. Der Forscher ist Teil des Feldes und selbst seit über 10 Jahren in der tech- nischen Produktionsplanung und -steuerung tätig.
		Welchen Bewährungs- grad besitzen die ver- fügbaren Aussagen? Stellen sie ungeprüfte Vermutungen dar oder wurden sie bereits in ge- eigneten Praxisfeldern erprobt und evaluiert?	Arbeitspraxis der Beschäftigten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung teilweise durch andere empi- rische Untersuchungen bestätigt. Gestaltungsprinzipien und Weiterbil- dungskonzept aus empirischer Unters- uchung und Literatur abgeleitet, durch Forschungsteilnehmende bestätigt, aber bisher nicht erprobt.
		Welchen Grad an Rele- vanz besitzen die identi- fizierten Aussagen/ Theorien für die Errei- chung der angestrebten Ziele? Bilden sie Bau- steine für eine Problem- lösung oder besitzen sie keine oder nur eine mar- ginale Bedeutung?	Die identifizierten Aussagen aus der Praxis und die theoretischen Grund- lagen liefern die wesentlichen Elemente für die Entwicklung des Weiterbildungs- konzeptes. Informationen über die Aufgaben, Berufe, Berufsbildung der technischen Produktionsplanung und -steuerung Informationen zur digitalen Transfor- mation der Industrie: Gestaltung von Produktionssystemen, veränderte berufliche Anforderungen und Weiterbil- dungskonzepte für Industrie 4.0. Die Praxis liefert Hinweise für Beschäf- tigte als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation in der Indus- trie. Betroffene: Aufgaben, Anforderun- gen, Kenntnisse und Kompetenzen; Ge- staltende: Erfahrungen und individuelle Sichtweisen von Beschäftigten auf Ar- beit und Qualifizierung in der Produk- tion, Einbindung von Beschäftigten in Gestaltungsprozesse. Gestaltungsrelevante Aspekte werden aus der Verknüpfung von Literatur und Praxis abgeleitet und durch die Praxis bestätigt. Bausteine für die Gestaltung des Weiterbildungskonzeptes werden u. a. direkt aus Literatur oder Praxis ent- nommen. (Industrie-4.0-Anwendungen)

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Theoriebasierung: Literatur und Erfahrungen auswerten	Theoretischer Bezugsrahmen – mit einer (weiter präzisierten) Problemdefinition, den Gestaltungsanforderungen („Pflichtenheft“) und -vorläufigen Beschreibungen von möglichen Maßnahmen (Gestaltungshypothesen) zur Erreichung der angestrebten Ziele.	Wie können verfügbare wissenschaftliche und Alltagstheorien, wissenschaftliches und praktisches Erfahrungswissen verbunden werden?	Offenheit von Wissenschaft und Praxis, gemeinsame Entscheidungen anstreben
		Welche Fragen im Hinblick auf die Entwicklung einer Problemlösung zur Erreichung der angestrebten Ziele bleiben offen, unklar oder unsicher? Wo liegen klärungsbedürftige Aspekte bei der Entwicklung und Erprobung von möglichen Problemlösungen (bzw. Interventionen)?	Wie berücksichtigen Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung mentale Belastungen und lernförderliche Arbeitsgestaltung in der Produktion? Inwieweit kann ein Zielbild für Industrie 4.0 allein mit Überblickswissen und Erfahrungen zu Industrie-4.0-Anwendungen entwickelt werden? Sind dafür nicht auch tiefergehende technologische, organisatorische und pädagogische Kenntnisse erforderlich?
Design entwickeln und verfeinern	Prototyp(en) für mögliche Interventionen bzw. Maßnahmen zur Erreichung der angestrebten Ziele (innerhalb des theoretischen Bezugsrahmens)	Erscheinen die Designs prinzipiell geeignet, die angestrebten Ziele zu erreichen?	Die Gestaltungsprinzipien erscheinen geeignet für die Entwicklung von Weiterbildungskonzepten in der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Sie geben wesentliche Hinweise zur Didaktik und Methodik des Konzeptes, die aus Theorie und Praxis entwickelt wurden.
		Werden bei der Entwicklung eines Designs im Rahmen einer Kooperation von Wissenschaft und Praxis die Leistungsvorteile beider Seiten ausgeschöpft?	Die individuellen Erfahrungen und Sichtweisen der Forschungsteilnehmenden mit Industrie-4.0-Projekten wurden gesammelt. Die Forschungsteilnehmenden haben Feedback zu den Gestaltungsprinzipien und dem kontextspezifischen Weiterbildungskonzept gegeben.
		Gelingen im Fortgang der Kooperation der Aufbau einer Vertrauensbasis und eine Intensivierung des Austauschs zwischen Wissenschaft und Praxis, um die Potenziale für vertiefte Erkenntnis- und Gestaltungsmöglichkeiten zu erhöhen?	Forscher mit langjähriger Erfahrung im Bereich der technischen Produktionsplanung und -steuerung. Mehrere Treffen zwischen Forschungsteilnehmenden und dem Forscher. Die Interviews wurden so gestaltet, dass eine Vertrauensbasis geschaffen wurde.

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Design entwickeln und verfeinern	Prototyp(en) für mögliche Interventionen bzw. Maßnahmen zur Erreichung der angestrebten Ziele (innerhalb des theoretischen Bezugsrahmens)	Sind die entwickelten Designs im Praxisfeld realisierbar und hinsichtlich ihrer Zielwirksamkeit überprüfbar?	Die Umsetzung eines Weiterbildungskonzeptes in die Praxis ist möglich. Die Überprüfung der Wirksamkeit der Ziele kann wahrscheinlich nicht unmittelbar nach der Maßnahme, sondern erst in der Zukunft erfolgen. Die Gestaltung der Produktion erfolgt in Projekten, die zum Teil über mehrere Jahre laufen. Wie sich das Weiterbildungskonzept auf die Auswahl und Gestaltung dieser Projekte auswirkt und wie sich die Projekte wiederum auf die Arbeit und Qualifizierung in der Produktion auswirken, kann daher erst nach einem längeren Zeitraum überprüft werden.
		Sind die Designs in einer Sprache verfasst, die für die Praktiker verständlich und anwendbar ist?	Die Gestaltungsprinzipien und das Weiterbildungskonzept wurden mit den Praktikern diskutiert. Missverständliche Aspekte wurden korrigiert und ausführlich erläutert.
		Sind die Designs in ihrer Struktur und mit ihren Modifikationen gegenüber Vor-Versionen transparent dokumentiert?	Die Entwürfe zu den Gestaltungsprinzipien sind dokumentiert (Kapitel 5.1 und Anhang). Die Änderungen an den Gestaltungsprinzipien und am Weiterbildungskonzept nach den Rückmeldungen der Forschungsteilnehmenden sind dokumentiert (Kapitel 5.3).
		Sind die Designs im Hinblick auf bedeutsame Merkmale und Faktoren spezifiziert, die genauer beobachtet und überprüft werden sollten?	<ul style="list-style-type: none"> • Einbindung der Mitarbeitenden in der Produktion in die Gestaltungsprozesse • Nutzung von Möglichkeiten der Organisation und Aufgabengestaltung zur Reduzierung von mentalen Belastungen und zur Gestaltung von lernförderlicher Arbeit • Reflektion zum Zweck der Technikgestaltung
Design erproben und formativ evaluieren	Evaluationskonzept mit Aussagen über Datenerhebung, Datenauswertung und Verfahren zur Diskussion der Konsequenzen aus den Befunden	Erfolgt bei der Erprobung des Designs eine möglichst weitgehende Berücksichtigung und Variation der Vielfalt im Praxisfeld (z. B. im Hinblick auf die Merkmale von Akteuren oder relevanten Rahmenbedingungen)?	Unterschiedliche Unternehmen mit unterschiedlicher Organisation und unterschiedlichem Technisierungsgrad. Verschiedene Produkte und Auflagengrößen)

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Design erproben und formativ evaluieren	Evaluationskonzept mit Aussagen über Datenerhebung, Datenauswertung und Verfahren zur Diskussion der Konsequenzen aus den Befunden	Welche Schwerpunkte und Fragen sollen in welcher Designphase bei der formativen Evaluation im Vordergrund stehen?	Feedback zu den Gestaltungsprinzipien und zum Weiterbildungskonzept
		Ist der Aufwand an Datenerhebung, -auswertung und Dokumentation der Ergebnisse im Hinblick auf den Erkenntniszuwachs und die Generierung von Gestaltungsalternativen in der jeweiligen Phase des Designs angemessen?	Der Aufwand erscheint in allen Phasen angemessen. Es erfolgte eine kommunikative Evaluation hinsichtlich der Stärken und Schwächen der Gestaltungsprinzipien und des Weiterbildungskonzeptes. Dazu wurden alle Forschungsteilnehmenden zu einem Termin von jeweils einer Stunde eingeladen. Eine Person konnte leider nicht mehr erreicht werden
		Erfolgt bei der Erhebung und Auswertung der Erprobungserfahrungen eine möglichst weitgehende Variation der wissenschaftlichen Perspektiven?	Zur Evaluation wurden Feedbackgespräche zum Weiterbildungskonzept und zu den Gestaltungsprinzipien mit den Forschungsteilnehmenden geführt.
		Ist das Evaluationskonzept geeignet, einerseits mögliche Effekte durch ausgewählte Faktoren zu erfassen, andererseits offenzubleiben für unerwartete Ereignisse bzw. bislang unbeachtete Faktoren?	Offenes Gespräch zwischen Praxis und Forschung zu Verbesserungspotenzialen des Weiterbildungskonzeptes und zu den Gestaltungsprinzipien
		Gelingt es bei der Evaluation der Erprobungserfahrungen, einerseits dichte Beschreibungen aus den verschiedenen Perspektiven zu sichern („researcher/participant narratives“), andererseits bei der Aufbereitung der Befunde die Kernaussagen für die Weiterentwicklung des Designs herauszuarbeiten?	Verbesserungspotentiale wurden zwischen Wissenschaft und Praxis abgestimmt und stichpunktartig dokumentiert.

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Gestaltungsprinzipien generieren	Gestaltungsprinzipien („design principles“) für ein definiertes Anwendungsfeld	Was sind im Vergleich unterschiedlicher Erprobungsbefunde fall-spezifisch-singuläre, was sind übertrag- und generalisierbare Sach-verhalte und Merkmale?	Die Übertragbarkeit wurde auf der Grundlage von Literaturbezügen und Aussagen mehrerer Beschäftigten aus verschiedenen Unternehmen herge-stellt.
		Welche Geltungsan-sprüche und Orientie-rungspotenziale besit-zen die entwickelten Gestaltungsprinzipien für die Erreichung der angestrebten Ziele?	Die Gestaltungsprinzipien enthalten so-wohl Prinzipien zur Rolle als Betroffene als auch zur Rolle als Gestaltende und geben Impulse für eine menschenzen-trierte Arbeitsgestaltung.
		Welche Methoden (z. B. komparative Fallanalysen, Reflektion, Reduk-tion) werden bei der Ge-nerierung von Gestaltungsprinzipien angewendet?	Reflektion
		Inwieweit repräsentie-ren die Gestaltungs-prinzipien neue Er-kenntnisse, wo gehen sie über bestehende Er-kenntnisse hinaus?	Bisher gibt es kaum Erkenntnisse über die Konzeption von Weiterbildungskonzepten in der technischen Produktions-planung und -steuerung im Kontext der digitalen Transformation bzw. über die Perspektiven als Betroffene und Gestaltende zugleich.
Interventionen ggf. summativ evaluieren	(Verfeinerte) Gestaltungsprinzipien bzw. Handlungsheuristiken für ein praktisches Handeln in einem abgegrenzten Handlungsfeld	Inwieweit leistet eine summative Evaluation der entwickelten Maß-nahme im Vergleich zur formativen Evaluation weitergehende Erkennt-nisse, die den for-schungsökonomischen Aufwand rechtfertigen?	Phase entfällt.
		Bietet die jeweilige Bil-dungspraxis ein Unter-suchungsfeld, das die Einhaltung zentraler Standards (u. a. Experi-mental-/Kontrollgrup-pendesign, Stichpro-bengröße und -auswahl, akzeptable Rücklauf-quoten bei der Daten-erhebung) für die Durchführung einer summativen Evaluation gewährleistet?	

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Phase	Ergebnis	Kernfragen ²⁶	Umsetzung
Interventionen ggf. summativ evaluieren	(Verfeinerte) Gestaltungsprinzipien bzw. Handlungsheuristiken für ein praktisches Handeln in einem abgegrenzten Handlungsfeld	<p>Inwieweit sind „Störfaktoren“ antizipierbar und durch geeignete Schritte im Untersuchungsdesign begrenzbar?</p> <p>Wie können die Befunde aus der summativen Evaluation mit den Gestaltungsprinzipien verbunden werden und die Aussagekraft über die Intervention insgesamt stärken?</p>	

Erster Entwurf von Gestaltungsprinzipien

1. Es kommt weniger auf technologisches Wissen und Können an. Vielmehr müssen Praxisbeispiele für den Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen aufgezeigt werden.
2. Fachübergreifende Fähigkeiten sind zu berücksichtigen. Dazu gehören insbesondere die Fähigkeit zur „Tech-Translation“, der Umgang mit Menschen, Organisationstalent und die Fähigkeit, Probleme zu lösen.
3. Die Teilnehmenden sollen in die Lage versetzt werden, eine Zielvorstellung (mit Technik, Arbeit und Bildung/Kompetenz als (wechselseitig) zusammenhängende Perspektiven) des eigenen Produktionssystems mit Industrie-4.0-Technologien zu entwickeln.
4. Die Fähigkeiten zur Initiierung und Steuerung von Gestaltungsprozessen als Schnittstelle zwischen Produktion und anderen Interessengruppen müssen weiterentwickelt werden.
5. Die Teilnehmenden sollen frühzeitig ein eigenes Projekt zur Gestaltung des Produktionssystems in ihrem Verantwortungsbereich konzipieren und umsetzen.
6. Selbstständiges Erarbeiten von Lerninhalten ist zu bevorzugen. Es muss auf die zeitliche Belastung der Teilnehmenden geachtet werden (zeitunabhängige Gruppenarbeit oder ggf. Einbindung von web-basierten zeitunabhängigen Inhalten).
7. Es müssen Lernelemente im Prozess der Arbeit und durch eigenes Erleben integriert werden.

Impulse zu einer menschenzentrierten Arbeitsgestaltung

8. Die Teilnehmenden sollen dazu angeregt werden, über den Zweck des Technikeinsatzes nachzudenken. Die menschenzentrierte Gestaltung von Produktionssystemen soll gefördert werden.
9. Das Wissen und Können zur Gestaltung der Arbeitsorganisation soll erweitert werden. Damit sollen mentale Belastungen der Mitarbeitenden in der Produktion stärker in den Mittelpunkt gerückt werden.
10. Die Teilnehmenden sollen dabei unterstützt werden, die Beteiligung der Mitarbeitenden aus der Produktion an den Gestaltungsprozessen frühzeitig zu initiieren.

26 Phasen, Ergebnisse und Kernfragen nach Euler (2014), zitiert nach Euler & Sloane (2018).

Interviewleitfaden

Interviewleitfaden (Dissertationsvorhaben – Martin Emmerling – April 2021) Entwicklung eines Weiterbildungskonzepts für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0

Begrüßung	<p>Hallo, xyz, ich freue mich, dass Sie sich für ein Interview bereit erklärt haben. Ich bin Martin Emmerling und möchte im Zuge meiner nebenberuflichen Promotion ein Weiterbildungskonzept für die technische Produktionsplanung entwickeln (Persönliche Vorstellung und kurze Vorstellung des Promotionsprojektes). Gerne möchte ich Sie dazu heute zu Ihrer aktuellen Arbeitspraxis im Kontext der Entwicklungen zu einer Industrie 4.0 befragen.</p>	
Kurzfragebogen	<p>Ich werde das Gespräch aufzeichnen und im Anschluss schriftlich dokumentieren. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung werden alle Angaben anonymisiert. Es soll nicht zu einer Identifizierung von Personen oder Firmen kommen. Weiter möchte ich Sie darum bitten diesen kurzen Fragebogen zu Erfassung allgemeiner Daten zu befüllen.</p>	
Erläuterung	<p>Was mir ganz wichtig ist: Das Interview soll keine Abfrage von Wissen sein oder eine Leistung/ ein Umsetzungsstand geprüft oder verglichen werden, sondern vielmehr geht es um eine subjektive Einschätzung ...also Ihre Einschätzung/Sichtweise zu diesem Thema. damit können wir mit dem eigentlichen Interview starten! Aufzeichnung starten</p>	
Arbeitstag	<p>Erzählen Sie mir doch von Ihrem Alltag in der technischen Planung. Schildern Sie bitte einen ganz normalen Arbeitstag. ...</p>	<p>Beispielfragen (spontan, je nach Gesprächsverlauf nur auf einzelne der Themen eingehen): Erkundung & Verständnis des Projektes Weshalb das Projekt angestoßen? Wie ist das Projekt entstanden? Wie lief das ab? Können Sie das noch näher beschreiben? Was waren Ihre Aufgaben? Was lief besonders gut? Was gab es für Herausforderungen? Was haben Sie für Hilfsmittel eingesetzt? Verallgemeinerungen Warum wurde das so gemacht? Ist das eine typische Vorgehensweise? Ist das Projekt typisch für andere Projekte? Was muss man beachten, damit ein solches Projekt erfolgreich wird?</p>
Spezifisches Projekt	<p>Sie haben ja schon bei Industrie 4.0 - Projekten mitgewirkt. Bei welchen Projekten waren Sie beteiligt? Schildern Sie doch mal eines dieser Projekte bei dem Sie mitgewirkt haben genauer...</p>	<p>Arbeitsperspektive: Welche Rolle spielen Überlegungen zur Gestaltung von Arbeit und Organisation bei der technischen Produktionsplanung? Mit welchen Zielen? Welche Erfahrungen haben Sie bisher zum Thema „Ergonomie in der Produktion“ gemacht?</p>
„Adhoc-Fragen“	<p>Kompetenzperspektive: Wie wird berücksichtigt, was die Mitarbeiter schon können und was sie noch erlernen können? Wie lernen Sie den Umgang mit neuen Technologien?</p>	<p>Technische Perspektive: Wie kommt es, dass immer eine bestimmte Technologie attraktiv wird? Welche Technologie wird in der Fertigung eingesetzt? Welche Technologie würden Sie gerne einmal in der Fertigung ausprobieren?</p>
Eigene Punkte	<p>Gibt es aus Ihrer Sicht noch offene Punkte, die wir in unserem bisherigen Gespräch nicht diskutiert haben, die Sie aber noch erwähnen möchten?</p>	
Abschluss	<p>Danke für das Interview und Ihre Unterstützung bei meiner Doktorarbeit Aufzeichnung beenden, Postscript erstellen</p>	

Kurzfragebogen der Interviews

Kurzfragebogen des Dissertationsprojektes von Martin Emmerling

Entwicklung eines Weiterbildungskonzepts für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0

Interview Nr. _____

Seit wie vielen Jahren sind Sie unter anderem mit der Gestaltung der Fertigung tätig?

- ☐ <2 Jahre
- ☐ 2-5 Jahre
- ☐ 5-10 Jahre
- ☐ 10-15 Jahre
- ☐ >15 Jahre

Welche Produkte werden in Ihrem Bereich produziert?

Wie würden Sie Ihre Berufsbezeichnung benennen?

Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss (Auswahloptionen nach Bundesagentur für Arbeit)?

- ☐ Ohne abgeschlossene Berufsausbildung
- ☐ Abschluss einer anerkannten Berufsausbildung
- ☐ Meister-/Techniker- oder gleichwertiger Fachschulabschluss
- ☐ Bachelor
- ☐ Diplom/Magister/Master/Staatsexamen
- ☐ Promotion

Interviewprotokollbogen

Interviewprotokollbogen des Dissertationsprojektes von Martin Emmerling

Entwicklung eines Weiterbildungskonzepts für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0

Interviewprotokollbogen

Datum des Interviews:

Nummer:

Name und Funktion des Gesprächspartners

Rahmendaten zum biografischen Hintergrund

Gesprächsatmosphäre

Stichworte zur personalen Beziehung

Interaktion im Interview, Schwierige Passagen:

Zusätzliche Informationen, besondere Vorkommnisse, wichtige Hinweise:

Martin Emmerling

April 2021

Fallzusammenfassung Interview 1

Tätigkeitsbereich im Unternehmen: Prozesstechnologe/Prozesstechnologin; höchster Bildungsabschluss: Meister-/Techniker oder gleichwertiger Fachschulabschluss; Erfahrung in der Gestaltung der Produktionsumgebung: zwischen 2 und 5 Jahren.

Normaler Arbeitstag: B1 gibt an, die Arbeitstage sind sehr unterschiedlich. Er beschreibt beispielhaft ein Projekt, bei dem er die Aufgabe hatte, den Umzug eines Fertigungsbereiches zu planen und umzusetzen. Aufgrund sinkender Stückzahlen wurde auch das Layout angepasst und die Fläche komprimiert. B1 hat das Layout geplant, das Umzugsunternehmen beauftragt und mit der IT-Abteilung die Netzinfrastruktur abgestimmt. Eine wichtige Aufgabe war die Abstimmung des Zeitfensters vom Abschalten der Linie bis zum Neuanlauf. Auch das Bedienpersonal in der neuen Halle hat er angelernt. Die Arbeitsplätze waren mit einem MES vernetzt. Einzelne Meldepunkte wurden von den Mitarbeitenden selbst im MES gebucht, andere Meldepunkte wurden automatisch gebucht. Als Beispiel nennt er die automatische Buchung des Prüfsystems.

Industrie-4.0-Projekt:

Technische Perspektive: B1 berichtet von einem Projekt, bei dem er einen kamerabasierten Montageassistenten eingeführt hat. Das System besteht aus einer Kamera, einem Leuchtpanel über dem Arbeitsplatz und einem Bildschirm zur Anzeige des Montageablaufs. Es wird geprüft, ob einzelne Arbeitsschritte im Ergebnis korrekt ausgeführt wurden. Das System war im Unternehmen bereits bekannt und wurde eingeführt, um eine aufwendige manuelle Endprüfung zu ersetzen. Allgemeine Herausforderungen bei solchen Projekten sind nach der Ansicht von B1 vorhandene Gegebenheiten wie bestehende IT-Systeme oder zu wenig Platz.

Kompetenzperspektive: Ein Planer sollte Organisationstalent haben, um zwischen verschiedenen Interessengruppen/Partnern vermitteln zu können und Fragen zu klären. Eine Schulung am kamerabasierten Montageassistenten erfolgte durch den Hersteller. B1 erklärt, es gibt nicht immer Schulungen, wichtiger ist das eigene Interesse für die Themen. Wissen zu Technologien und Anwendungen bekommt man auch über Kollegen oder durch Ausprobieren. Der Austausch mit den Mitarbeitenden an der Linie ist mitentscheidend. Nach der Ansicht von B1 ist Überblickswissen wichtig und das Know-how über die Produktionsanlagen für den First-Level-Support. Detailwissen in der Informationstechnologie ist gut, aber nicht zwingend notwendig. Entscheidend ist es, die richtigen Ansprechpartner zu kennen. Die Mitarbeitenden wurden von B1 direkt am System geschult. Neben der operativen Arbeit hat B1 die Mitarbeitenden auch das Einlernen des Systems gezeigt, damit die Mitarbeitenden beispielsweise selbst Optimierungspotenziale erkennen können. Seiner Ansicht nach lernt man den Umgang mit solchen Systemen am besten durch Ausprobieren. Es ist wichtig, den Mitarbeitenden in der Produktion nicht nur die Grundlagen zu schulen, sondern tiefere Einblicke in die Software zu geben.

Arbeitsperspektive: Hinsichtlich der Arbeitsperspektive führt B1 an, dass in diesem Projekt die Greifbereiche angepasst und eine bessere Arbeitsplatzbeleuchtung eingeführt wurde. Das wurde unter anderem auch gemacht, weil schlechte Beleuchtung nach der Aussage von B1 ermüdend ist. Der kamerabasierte Montageassistent soll das Teil-/Ergebnis prüfen; wie die Mitarbeitenden die Arbeit im Detail ausführen, wird nicht geprüft. Es wurde versucht, den Umfang der einzelnen Arbeitsschritte so zu gestalten, dass Fehler vermieden werden, aber die Mitarbeitenden auch die Möglichkeit haben, die Reihenfolge einzelner Teilarbeitsschritte nach ihrem Belieben zu variieren. Das wurde in der Phase der Inbetriebsetzung mit den Mitarbeitenden zusammen angepasst. Allgemein können zur Verbesserung der Ergonomie nach der Ansicht von B1 Arbeitsplätze als kombinierte Steh- und Sitzarbeitsplätze konzipiert werden. Weiter können Bodenmatten zur Förderung der Bewegung und Schonung der Wirbelsäule ausgelegt und Hebehilfen zum Transportieren der Produkte eingesetzt werden.

Sonstiges: Organisation und Abstimmung mit allen Beteiligten ist häufig herausfordernder als die eigentliche technische Umsetzung. Der Planer ist die Schnittstelle zwischen Produktion und verschiedenen anderen Partnern wie IT, Instandhaltung, Umzugsunternehmen, Prüfplanung, Fertigungssteuerung usw. Erwähnte Aufgaben: Layoutänderungen, Umzüge, Änderungen von der Entwicklung umsetzen, Organisation der Produktion von Nullserien, Stammdaten umstellen, Mitarbeitende mit Fertigungsunterstützungssystemen schulen, beim Lösen von Q-Problemen unterstützen, ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, Wertstromanalysen durchführen.

Kategoriensystem

Liste der Codes	Häufigkeit
01_Arbeitsaufgaben	0
Allgemein	0
Administrative Tätigkeiten	4
Aufgabenstruktur	0
Führungsaufgaben	2
Tagesablauf	0
Abhängig von der Projektphase	4
Unterschiedlich und vielfältig	6
Schnelle Problemlösung in der Produktion (Firefighting)	3
Projektarbeit	4
Neueinführung von Technologien	14
Methoden zur Gestaltung von Arbeitssystemen anwenden	10

Liste der Codes	Häufigkeit
Gestaltung von Arbeitssystemen planen und durchführen	0
Mitarbeit bei Produktverlagerungen	3
Beschaffung von Equipment	4
Materialversorgung planen	8
Layout- und Produktionsablaufplanung	9
Betreuung von Arbeitssystemen	0
Verbesserungsmaßnahmen durchführen	5
Probleme in der Produktion lösen	8
First-Level-Support IKT	6
Projektleitung hochautomatisierte Produktionsanlagen	20
Neueinführung und Änderungen von Produkten	0
Stücklisten, Arbeitspläne und Produktionsunterlagen	12
Mitarbeit bei Produktentwicklung und -änderung	4
Förderung von Wissen und Können	0
Sonstiges zum Wissenstransfer	1
Dokumentationen erstellen	3
Schulungen konzipieren oder durchführen	11
Abstimmung, Kommunikation & Präsentation	0
Schnittstellenfunktion	6
Arbeitspakete und Termine abstimmen	19
Technische Details klären	6
Präsentation bei Management oder Kunden	4
02_Industrie 4.0 – Projekte	0
Datenerfassung und Nutzung	0
Produktionsdatenerfassung als Nachweis	3
Grundlage zur Optimierung / vorbeugende Instandhaltung	11
Selbstregelung von Maschinen und Anlagen	5
Fahrerlose Transportsysteme	13
Digitale Modellierung und Simulation	14
Montageassistenzsysteme	7

Liste der Codes	Häufigkeit
Robotik	5
03_Kompetenzperspektive: Planer	0
Eigeninteresse & Spaß	10
Welches Wissen und Können ist notwendig?	0
Kenntnisse über Produktion und Produktionsarbeit	7
Potenziale: Industrie 4.0 Anwendungsfälle	5
Überblickwissen	11
Programmieren	10
Data Literacy	3
Projektmanagement (Sache)	7
Sozialkompetenz (Mensch)	10
Selbstständige Arbeitsweise	4
Wie lernen die Planer das?	0
Klassische Seminare	15
Selbstorganisiertes Lernen	10
Dokumentation lesen	6
Ausprobieren	16
Betreuung von Experten	8
Wissenstransfer unter Planern	10
Umgang mit Schwächeren (Planung)	4
04_Kompetenzperspektive: Produktion	0
Art der Qualifikation der Mitarbeiter in der Produktion	12
Erfahrung der Mitarbeitenden in der Produktion	6
Allgemeine Aussagen zum Kompetenzniveau in der Produktion	4
05_Arbeitsperspektive: Arbeitsgestaltung	0
Ergonomie	11
Einbezug der MA in die Gestaltung der Arbeit	8
Monotone, gefährliche oder dreckige Arbeit	3
Mentale Belastungen (Stress ...)	2
Ansprechpartner für Ergonomie/Arbeitsgestaltung	5

Liste der Codes	Häufigkeit
Sonstige Themen verbesserte Arbeitsbedingungen	4
Rückfrage, Frage nicht verstanden	5
06_Technische Perspektive: Auswahlkriterien	0
Bekannte Technologie	7
Kosten/Verbesserung Wirtschaftlichkeit	6
Funktionsumfang	2
Marktrecherche	4
Qualität	2
Top-down	6
Eigenes Produkt	3
Sonstige Auswahlkriterien	6
07_Technische Perspektive: Zukunft	0
Datenerfassung und Nutzung	0
Produktionsdatenerfassung als Nachweis	1
Künstliche Intelligenz	3
Grundlage zur Optimierung / vorbeugende Instandhaltung	1
Daten auf die Blockchain	1
Smartwatch	1
Robotik	2
Fahrerlose Transportsysteme	4
Innovative Fertigungsverfahren	2
Extended Reality	1
08_Lessons Learned	0
Erfolge	5
Herausforderungen	0
abgebrochene Projekte	10
Kosten-Nutzen-Verhältnis	11
Fehlende oder zu unterschiedliche Daten	7
Datenschutz oder andere Richtlinien	4
Zeitdruck, fehlende Kapazität	8

Liste der Codes	Häufigkeit
09_Interdependenzperspektive	0
Technik/Arbeit	0
Einsatz von Software zur Simulation von Arbeit/Ergonomie	5
Substitution von Arbeit durch Technik	9
Arbeit & Technologieauswahl	1
Kompetenz/Technik	0
Veränderung Kompetenz in der Produktion	4
Knowhow & Technologieauswahl	7
Lernen durch neue Technologie	2
Maschine kann/soll Mensch nicht ersetzen	5
Kompetenz/Arbeit	0
Qualifikation zur Gestaltung von Arbeit	3
Sonstige Themen zu Kompetenz-Arbeit	2
Technik/Arbeit/Kompetenz	0
Technologie ohne Knowhow verändert Arbeit	5
10_Sonstiges	57
I4.0 Elemente sollten gezielt eingesetzt werden/sinn	12
Arbeitsperspektive Planung	18
Umgang mit Schwächeren in der Produktion (Knowhow) (+)	4
Umgang mit Schwächeren	7
Akzeptanz der Technologie	12
Organisation/Persönlichkeit > Technik	2
Fähigkeit andere zu begeistern/überzeugen	7
Partner der techn. PPS	7
Kritische Aussagen zu I4.0	7

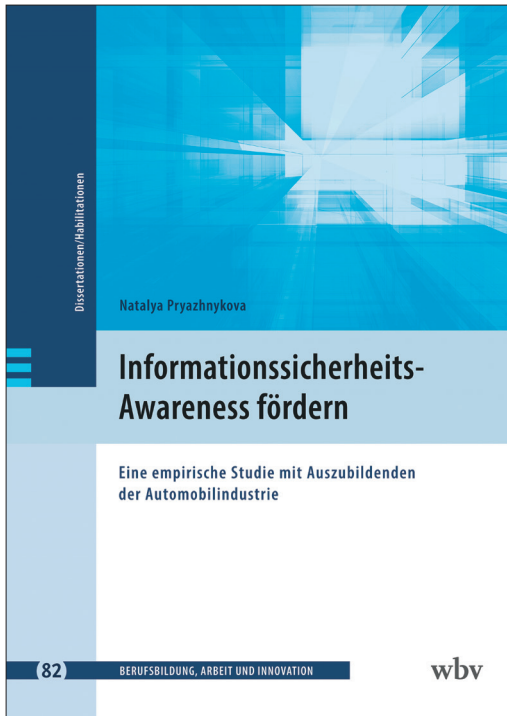
Autor



Martin Emmerling arbeitet an der Schnittstelle von Technik und Bildung. Nach seiner Ausbildung zum Elektroniker erlebte er industrielle Wertschöpfung hautnah – von der Fertigungssteuerung über die Technologieeinführung bis hin zu internationalen Produktionsverlagerungen. Sein Studium des Wirtschaftsingenieurwesens vertiefte sein Verständnis für technische und wirtschaftliche Zusammenhänge. Parallel zur Praxis engagierte er sich früh in der beruflichen Bildung – als Autor, Fernlehrer und Tutor.

Heute berät er bei Siemens Professional Education interne und externe Partner in Bildungsprogrammen für technische Fach- und Führungskräfte. Am Karlsruher

Institut für Technologie entwickelte er ein Weiterbildungskonzept für die technische Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0 – wissenschaftlich fundiert, empirisch gestützt und praxisnah. Zukunftsfähige Industrie erfordert nicht nur neue Technologien, sondern vor allem eine menschenzentrierte Gestaltung von Technik, Arbeit und Bildung.



Berufsbildung, Arbeit und Innovation –
Dissertationen und Habilitationen, 82
2025, 208 S., 49,90 € (D)
ISBN 9783763974115
E-Book im Open Access

Natalya Pryazhnykova

Informationssicherheits-Awareness fördern

Eine empirische Studie mit Auszubildenden
der Automobil-Industrie

Serious Games als innovativer Ansatz in der Informationssicherheit gewinnen zunehmend an Bedeutung. Diese Dissertation beleuchtet, wie spielerische Elemente gezielt eingesetzt werden können, um das Sicherheitsbewusstsein von Mitarbeitenden nachhaltig zu stärken. Sie geht der Frage nach, welche Themen und Mechaniken in Serious Games besonders wirksam sind und wie diese auf Wissen, Einstellung und Verhalten wirken.

Im Fokus der Dissertation von Frau Pryazhnykova stehen Aufbau, Inhalte und Methoden der Informationssicherheitssensibilisierung durch Serious Games. Dabei wird analysiert, wie Veränderungen auf den drei Ebenen des Awareness-Modells - Wissen, Einstellung und Verhalten - messbar gemacht werden können.

Die Publikation richtet sich an IT-Sicherheitsbeauftragte, HR- und Schulungsverantwortliche, Unternehmen sowie Wissenschaftler:innen im Bereich Informationssicherheit und Game-Based Learning.

wbv.de/bai

Wie kann ein Weiterbildungskonzept für Beschäftigte in der technischen Produktionsplanung und -steuerung auf dem Weg zur Industrie 4.0 gestaltet sein? Dieses Forschungsprojekt entwickelt praxisnah ein Konzept zur Weiterbildung, das Beschäftigte als Betroffene und Gestaltende der digitalen Transformation unterstützt.

Auf Basis empirischer Interviews und wissenschaftlicher Analysen entstehen ein Leitfaden und Gestaltungsprinzipien für eine menschenzentrierte, zukunftsorientierte Weiterbildung. Ziel ist es, Qualifizierungsimpulse für die berufliche Praxis und die betriebliche Bildung zu geben.

Die Reihe **Berufsbildung, Arbeit und Innovation** bietet ein Forum für die grundlagen- und anwendungsorientierte Berufsbildungsforschung. Sie leistet einen Beitrag für den wissenschaftlichen Diskurs über Innovationspotenziale der beruflichen Bildung.

Die Reihe wird herausgegeben von Prof.in Marianne Frieze (Justus-Liebig-Universität Gießen), Prof.in Susan Seeber (Georg-August-Universität Göttingen) und Prof. Lars Windelband (Technische Universität Hamburg (TUHH)).

Martin Emmerling arbeitet an der Schnittstelle von Industrie und Bildung. Seine Forschung und Praxis widmen sich der beruflichen Qualifizierung technischer Fachkräfte.