



Studie

Evaluation der modernisierten M+E-Berufe

Herausforderungen der digitalisierten Arbeitswelt und
Umsetzung in der Berufsbildung

Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen

Bremen, Hannover, Köln, Schwäbisch-Gmünd, 23. Februar 2022

ANSPRECHPARTNER UND HERAUSGEBER



Prof. Dr. Matthias Becker
Geschäftsführende Leitung
Institut für Berufswissenschaften der
Metalltechnik
Tel.: 0511 762 17215
becker@ibm.uni-hannover.de



Dr. Regina Flake
Senior Economist für Aus- u. Weiterbildung,
Fachkräftesicherung u. Internationale
Berufsbildungsforschung, Teamleiterin KOFA
Tel.: 0221 4981-840
flake@iwkoeln.de



Filiz Koneberg
Researcher für Berufliche Qualifizierung
u. Fachkräfte
Tel.: 0221 4981-840
koneberg@iwkoeln.de



Dr. Christoph Metzler
Senior Economist für Ausbildung
u. Fachkräftesicherung
Tel.: 0221 4981-871
metzler@iwkoeln.de



OStR Dr. Tim Richter-Honsbrok
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Berufswissenschaften der
Metalltechnik
Tel.: 0511 762 17679
richter@ibm.uni-hannover.de



Miriam Schöpp
Researcher für Berufliche Bildung
Tel.: 0221 4981-545
schoepp@iwkoeln.de



Dr. Susanne Seyda
Senior Economist für Fachkräftesicherung
u. Weiterbildung
Tel.: 0221 4981-740
seyda@iwkoeln.de



Prof. Dr. Georg Spöttl
Direktor
Zentrum für Technik, Arbeit, Berufsbildung
Tel.: 0461 460 20
spoettl@uni-bremen.de



Dirk Werner
Leiter des Kompetenzfelds
Berufliche Qualifizierung und Fachkräfte
Tel.: 0221 4981-712
werner@iwkoeln.de



Prof. Dr. Lars Windelband
Stellvertretender Institutsleiter
Professur für Technik und ihre Didaktik im
Institut für Bildung, Beruf und Technik
Tel.: 07171 983277
lars.windelband@ph-gmuend.de

Zitierempfehlung:

EVA M+E-Studie (2022) – Becker, M.; Flake, R.; Heuer, Ch.; Koneberg, F.; Meinhard, D.; Metzler, Ch.; Richter, 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. Bremen, Hannover, Köln, Schwäbisch-Gmünd.

Wir danken den Personen aus den Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie, die diese Studie ermöglicht haben. Ausbilder/-innen, Fachkräfte und Verantwortliche in den produzierenden Bereichen haben den Forschenden trotz der widrigen Umstände, die durch die Covid-Pandemie geprägt waren, Einblicke in die Herausforderungen für Produktion und Ausbildung durch die digitale Transformation gewährt und die Befragungen unterstützt. Dieser Dank gilt auch den vielen Expertinnen und Experten aus den Interviews und Workshops, die sich die Zeit genommen haben, uns ihre Expertise zu Fragen der Auswirkungen der Digitalisierung zur Verfügung zu stellen. Der hohen Professionalität und Unterstützung von Gesamtmetall und den regionalen M+E-Verbänden ist es zu verdanken, dass alle wesentlichen Wirkungen auf Qualifikationsanforderungen und die berufliche Ausbildung in der EVA M+E-Studie untersucht werden konnten.

Das Forscherteam, im Februar 2022

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Executive Summary | 7 |
| 1 Einleitung | 13 |
| 2 Zielsetzung | 13 |
| 3 Forschungsdesign | 15 |
| 3.1 Untersuchungskonzept | 15 |
| 3.2 Literaturanalyse | 16 |
| 3.3 Unternehmensbefragung | 16 |
| 3.4 Expertengespräche | 18 |
| 3.5 Fallstudien | 19 |
| 3.6 Expertenworkshops | 21 |
| 4 Analyse der Ausgangslage: Der digitale Wandel in Wirtschaft, Arbeitswelt und Ausbildung | 23 |
| 4.1 Digitalisierung und Industrie 4.0 | 23 |
| 4.2 Digitalisierung in den Handlungsfeldern der Betriebe | 28 |
| 4.3 Digitaler Wandel in der Ausbildung | 32 |
| 4.3.1 Entwicklungen in den M+E-Ausbildungsberufen..... | 33 |
| 4.3.2 Bedeutung des dualen Studiums..... | 40 |
| 4.3.3 Strukturelle Bedeutung von Zusatzqualifikationen | 42 |
| 4.3.4 Nutzung der Zusatzqualifikationen..... | 43 |
| 4.3.5 Bildungspersonal..... | 47 |
| 4.3.6 Rolle von Aus- und Weiterbildung und zukünftige Entwicklungen..... | 48 |
| 4.3.7 Berufe und Ordnungsmittel..... | 48 |
| 4.4 Digitaler Wandel in der Weiterbildung | 49 |
| 4.4.1 Analyse aktueller Angebote..... | 50 |
| 4.4.2 Zielgruppen der Kurse und Seminare..... | 52 |
| 5 Veränderungen in der Arbeitswelt und in den Qualifikationsstrukturen | 54 |
| 5.1 Ergebnisse zur Digitalisierung der Arbeitswelt aus Unternehmensbefragungen | 54 |
| 5.2 Ergebnisse zu Entwicklungen in der Arbeitswelt aus Fallstudien und Expertengesprächen | 58 |
| 5.2.1 Relevanz von Technologien und Handlungsfeldern | 58 |
| 5.2.2 Digitalisierungsaufgaben in den Unternehmen..... | 65 |
| 5.2.3 Entwicklungen bei den gefragten Qualifikationsprofilen | 79 |
| 5.3 Zwischenfazit | 81 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Veränderungen in der Ausbildung als Antwort auf den digitalen Wandel | 84 |
| 6.1 | Einschätzungen der Unternehmen zur Ausbildung | 84 |
| 6.2 | Trends in der Ausbildung..... | 90 |
| 6.2.1 | Beispiel 1 (Fall 11)..... | 92 |
| 6.2.2 | Beispiel 2 (Fall 13)..... | 93 |
| 6.2.3 | Beispiel 3 (Fall 01)..... | 93 |
| 6.2.4 | Beispiel 4 (Fall 04)..... | 94 |
| 6.2.5 | Beispiel 5 (Fall 05)..... | 95 |
| 6.2.6 | Beispiel 6 (Fall 03)..... | 95 |
| 6.2.7 | Beispiel 7 (Experte 12) | 96 |
| 6.2.8 | Abzuleitende Trends | 97 |
| 6.3 | Zwischenfazit | 100 |
| 7 | Umsetzung der Teilnovellierung der M+E-Berufe und Entwicklungsbedarfe .. | 102 |
| 7.1 | Ergebnisse der Unternehmensbefragung zur Bekanntheit und zum Umsetzungsstand der Teilnovellierung..... | 102 |
| 7.2 | Betriebliche Erfahrungen mit der Umsetzung der Berufsbildposition..... | 110 |
| 7.3 | Ursachen der Nicht-Nutzung der neu entwickelten Zusatzqualifikationen | 111 |
| 7.4 | Nutzung von Zusatzqualifikationen in der Ausbildung | 113 |
| 7.5 | Schlussfolgerungen und Zwischenfazit | 116 |
| 8 | Zusammenfassung der zentralen Forschungsergebnisse | 120 |
| 9 | Handlungsempfehlungen | 128 |
| 9.1 | Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ | 128 |
| 9.2 | Kodifizierte Zusatzqualifikationen: Prüfung und Organisation..... | 128 |
| 9.3 | Kodifizierte Zusatzqualifikationen: Inhalte und Struktur | 128 |
| 9.4 | Ausbildungsstrukturen, Lernorte und Lernkonzepte | 129 |
| 9.5 | Gestaltung von Angeboten durch Weiterbildungsdienstleister..... | 130 |
| 9.6 | Struktur der Ausbildungsberufe..... | 130 |
| 9.7 | Identifizierung notwendiger Ausbildungsinhalte und strukturelle Neuausrichtung zur Verhinderung der Überfrachtung der Ausbildung | 134 |
| 9.8 | Prüfungen | 135 |
| 9.9 | Neues Lernen und Qualifizierung von Ausbildern | 135 |
| 9.10 | Rolle der Berufsschulen stärken..... | 136 |
| 9.11 | Innovationen in der Ausbildung vorantreiben..... | 136 |
| 9.12 | Ausbildung in KMU unterstützen | 137 |

| | |
|--|------------|
| Literaturverzeichnis | 138 |
| Tabellenverzeichnis..... | 144 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 144 |
| Anhang | 146 |
| Personalpanel | 147 |
| Unternehmensbefragung für das Projekt „Evaluation von Stand und Umsetzung der modernisierten M+E-Berufe“ im Rahmen der Frühjahrswelle 2020 des IW-Personalpanels..... | 147 |

Executive Summary

Bisherige Forschungsarbeiten zur Digitalisierung und zu Industrie 4.0 belegen übereinstimmend einen bedeutenden und nachhaltigen Einfluss auf das gesellschaftliche Zusammenleben, die wirtschaftliche Entwicklung und die Arbeitsgestaltung. Es wird daher zur zentralen Frage, die technologischen, ökonomischen, sozialen und arbeitsbezogenen Folgen genauer zu analysieren, um tiefere Einblicke in die zu erwartenden Anforderungen zu erhalten. Gewonnene Erkenntnisse ermöglichen Rückschlüsse auf Auswirkungen für die Berufsbildung und die praxisgerechte Gestaltung von Bildungs- und Qualifizierungsprozessen.

Engagement der M+E-Unternehmen in der Ausbildung

Die M+E-Industrie gehört zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen und stärksten Ausbildungsbranchen in Deutschland. Eine Ausbildung für eine Tätigkeit in M+E-Berufen ist bei Jugendlichen gefragt. An der Spitze steht dabei der Ausbildungsberuf Industriemechaniker/-in mit knapp 9.800 neuen Ausbildungsverträgen im Jahr 2021 an der Spitze. Es folgen die Berufe Mechatroniker/-in mit knapp 7.500, Elektroniker/-in für Betriebstechnik mit gut 6.200, Zerspanungsmechaniker/-in mit knapp 4.000, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik mit 2.100, Konstruktionsmechaniker/-in mit 2.000 und Werkzeugmechaniker/-in mit 1.800 neuen Ausbildungsverträgen.

Knapp neun von zehn ausbildenden M+E-Unternehmen (86,7 Prozent) sind in der Ausbildung dieser oder weiterer relevanter Berufe, wie zum Beispiel im IT-Bereich, tätig. Von zunehmender Bedeutung für die M+E-Betriebe ist insbesondere der/die Fachinformatiker/-in, der stark steigende Ausbildungszahlen aufweist und im Jahr 2021 bei knapp 15.900 Neuverträgen und damit auf Rang sechs aller Ausbildungsberufe nach Neuabschlüssen liegt.

Evaluation der Teilnovellierung der M+E-Berufe

Basierend auf der zunehmenden Implementierung und Nutzung digital gestützter Technologien wurden die industriellen Metall- und Elektroberufe (M+E-Berufe) sowie der/die Mechatroniker/-in in Deutschland im Jahr 2018 teilnovelliert, um sie an den digitalen Wandel anzupassen. Die drei wesentlichen Neuerungen umfassen eine neue integrative Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ (Berufsbildposition Nr. 5 in der Ausbildungsordnung), eine moderate Aktualisierung der betrieblichen Lerninhalte von zwei weiteren Berufsbildpositionen zu Industrie 4.0-relevanten Herausforderungen sowie sieben optional wählbare kodifizierte Zusatzqualifikationen (kurz „kZQ“).

Im Zuge der vorliegenden „EVA M+E-Studie“ zur Evaluation der Teilnovellierung im Auftrag von Gesamtmetall sollte geklärt werden, ob die vorgenommenen Neuerungen in der Ausbildungspraxis angekommen sind, welche Effekte sie auslösen und welche Hemmnisse für eine erfolgreiche Umsetzung bestehen. Zudem ging es darum, zu prüfen, inwiefern weitergehender Entwicklungsbedarf besteht und welche Handlungsempfehlungen sich für die künftige Ausgestaltung der M+E-Berufsbildung ableiten lassen.

Heterogener Umsetzungsstand der digitalen Transformation in den Unternehmen

Die Studie basiert auf einer breiten Datenbasis von repräsentativen Befragungen, Fallstudien, ergänzenden Expertengesprächen sowie Expertenworkshops unter Beteiligung von Unternehmensvertretern, Mitgliedern von beruflichen Schulen, Verbänden, Gewerkschaften und Wissenschaft. Die Ergebnisse zeigen, dass die Entwicklungen in den Unternehmen im Gesamten und in der Ausbildung im Besonderen im Rahmen der digitalen Transformation ein breit gefächertes und durchaus heterogenes Bild zeichnen.

Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass in fast allen betrachteten Unternehmen Entwicklungsschritte zur digitalen Transformation eingeleitet wurden, dass sich diese jedoch in unterschiedlicher Geschwindigkeit und Tiefe vollziehen. Der Durchdringungsgrad von Industrie 4.0, von digitalem Wandel und der aktuellen Transformationsdruck unterscheidet sich deutlich zwischen Teilbranchen, Regionen und Unternehmen.

Die These der Disruption, als eine rasant verlaufende und einschneidende Entwicklung, der Unternehmen durch Digitalisierungseinflüsse unterliegen, bestätigt sich dabei nicht. Es handelt sich bei der digitalen Transformation in der M+E-Industrie vielmehr um einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess hin zur weiteren Modernisierung der Produktion mit digitalen Instrumenten. Dem geht zumeist ein Optimierungsprozess der Organisationsstruktur und der Arbeitsorganisation in den Betrieben voran. Die Entwicklungsetappen werden dabei sorgfältig und eher zurückhaltend geplant. Trotzdem entfalten sie oft große Wirkungen in den Belegschaften, weil deutlich wird, dass die Unternehmen sich der Digitalisierung stellen und diese auch implementieren. Dabei verfolgen Unternehmen vielfältige Ansätze, gehen unterschiedlich schnell voran und setzen verschiedenartige Software, Systeme und Prozessschritte ein. Um den digitalen Wandel weiter voranzutreiben, wäre es hilfreich, die Bedeutung der Digitalisierung für die Aus- und Weiterbildung systematisch zu berücksichtigen und an die Unternehmensstrategie zu koppeln.

Veränderte Anforderungen an Fachkräfte durch den digitalen Wandel

Aus der Analyse der Arbeitswelt und der vorhandenen Qualifikationsstrukturen wird deutlich, dass sich Beschäftigte aller Qualifikationsniveaus durchgängig mit digital durchdrungener Arbeit auseinandersetzen. In den betrachteten Unternehmen finden sich vielfältige Teams aus (qualifizierten) Werkern, Ingenieuren, IT-Fachkräften und Arbeitsvorbereitern, um komplexe Aufgabenstellungen wie Inbetriebnahme, Parametrierung, Mehrfachmaschinenbedienung sowie andere Produktions- und Arbeitsprozesse zu organisieren. Diese vielfältigen Teams sind bedingt durch konkrete betriebliche Anforderungen: So sind zum Beispiel im Zusammenhang mit der Auftragsvergabe durch Kunden Unternehmen oft mit einer undefinierten Datenmenge konfrontiert, wie eine der durchgeführten Fallstudien zeigt: *„Um daraus die notwendigen Produktionsinformationen herauszuziehen, sind sowohl akademisch ausgebildete als auch über eine berufliche Erstausbildung qualifizierte Personen notwendig, weil die Daten einen sehr unterschiedlichen Charakter aufweisen“.*

Die zunehmende Automatisierung in der Produktion führt dazu, dass sich die generischen Aufgaben von Fachkräften verändern: Sie müssen ihre Aufgaben mit digitalisierten Werkzeugen erledigen, die Produktionsanlagen über Mensch-Maschine-Schnittstellen bedienen und ihre Professionalität mit Hilfe digitalisierter Medien, Bedienelemente und kooperativen Arbeitsstrukturen entfalten. Es erfolgt dabei keine grundlegende Verschiebung der Aufgabenschwerpunkte: Konstruktionsmechaniker/-innen müssen weiterhin Metallkonstruktionen mit Schweißverfahren produzieren, Zerspanungsmechaniker/-innen weiterhin Bauteile mit spanenden Verfahren herstellen und Elektroniker/-innen für Betriebstechnik sind weiterhin für elektrische Verkabelungen von Maschinen und Anlagen zuständig. Allerdings sind bei nahezu allen Aufgaben und Produktionsverfahren digitalisierte Werkzeuge, Methoden und Produktionsmittel im Einsatz, die entsprechende informationstechnische Kenntnisse erfordern. Fachkräfte benötigen durchgängig Kompetenzen für den Umgang mit der Digitalisierung in Verbindung mit Fach-, Sozial- und Personalkompetenzen, die auf die konkreten Produktions- und Instandhaltungsaufgaben ausgerichtet sind, soweit es sich um Produktionsverfahren und Fertigungsprozesse handelt. **Berufliche Handlungskompetenzen zur Beherrschung der Industriemechatronik** in allen Belangen gehören zu den zentralen Aktivitätsfeldern der Fachkräfte.

Teilnovellierte M+E-Berufe sind noch nicht ausreichend in der Praxis angekommen und greifen strukturell zu kurz

Ob und wie die Auszubildenden durch die Teilnovellierung bereits besser auf diese veränderten Anforderungen an Fachkräfte im digitalen Wandel vorbereitet werden, war eine der Kernfragen der vorliegenden Studie. Sowohl in der Unternehmensbefragung als auch in den Fallstudien wird klar: Detailliertes Wissen zur Modernisierung der Ausbildungsordnungen und deren Umsetzung ist in den Unternehmen noch stark ausbaufähig. Immerhin kennt nach Ergebnissen der repräsentativen Befragung im Jahr 2020 gut die Hälfte der M+E-Unternehmen die neue Berufsbildposition und die kZQ detailliert oder zumindest in groben Eckpunkten. Dabei sind größere Unternehmen mit der Modernisierung der Ausbildungsordnung häufiger vertraut und haben sich auch häufiger bereits im Detail damit beschäftigt als kleinere Unternehmen.

Im Hinblick auf die neu eingeführten Zusatzqualifikationen gehen die Ergebnisse der Unternehmensbefragung und der Fallstudien zum Teil auseinander. Während die beiden Zusatzqualifikationen zu Programmierung und IT-Sicherheit in der Befragung die größte Verbreitung zeigten, wurden in den Fallstudien die Zusatzqualifikation zu additiven Fertigungsverfahren besonders betont. Insgesamt gaben in der Befragung gut 73 Prozent der Unternehmen mit Kenntnissen über die Teilnovellierung der M+E-Berufe an, dass sie die Inhalte aus einer oder mehrerer Zusatzqualifikationen teilweise oder vollständig in der Ausbildung umsetzen. Bezogen auf alle Unternehmen beläuft sich dieser Anteil auf knapp 40 Prozent. Die durchgeführten Fallstudien in den Unternehmen machen deutlich, dass die Themen der Zusatzqualifikationen jedoch ohne Orientierung an den Ordnungsmitteln in die Ausbildung integriert werden. Von den kodifizierten Zusatzqualifikationen gingen in diesen Unternehmen keine Impulse für die Anpassung der Ausbildung aus. Die Beschreibungen im Ausbildungsrahmenplan werden als schwer verständlich eingeschätzt und auch die Umsetzungshilfen werden als wenig hilfreich wahrgenommen. Tenor ist, dass die durchaus Orientierung bietenden Themen der Zusatzqualifikation aufgabenbezogen als Standard in den Ordnungsmitteln verankert sein sollten.

Zusatzqualifikationen entfalten noch zu wenig Wirkung und sind breiter zu verankern

Die Datenlage der bundesweiten Statistik zeigt, dass den kZQ insgesamt eine sehr geringe Bedeutung zukommt. Die Zusatzqualifikationen werden für die Ausbildungspraxis zwar als inhaltlich relevant eingeschätzt, an einer Prüfung durch die Kammern besteht aber kaum Interesse und auch die Umsetzung erfolgt weitestgehend ohne Ausrichtung auf die Vorgaben der Ausbildungsordnung. Inhaltlich werden von den kZQ die additive Fertigung und die Programmierung noch am häufigsten umgesetzt und geprüft. Diese Tatsache ist auch darauf zurückzuführen, dass neben der Programmierung, die technisch in den meisten Unternehmen leicht in die Ausbildung integrierbar ist, gerade die additive Fertigung für Ausbildungszwecke am leichtesten verfügbar gemacht werden kann. Hier kommt hinzu, dass diese Technologie, etwa in Form des 3-D-Drucks, bereits in jedem dritten M+E-Unternehmen und damit deutlich häufiger als in anderen Industriebranchen (13 Prozent) eingeführt ist.

In den Fallstudien ist das Instrument der kZQ bei den untersuchten Unternehmen wenig anzutreffen, ähnlich wie die Berufsbildposition Nr. 5 von den Unternehmen kaum als verändernder Impulsgeber wahrgenommen wird, während zusätzliche Maßnahmen zur Ausbildung für die Digitalisierung / Industrie 4.0 in nahezu allen Fällen eine Rolle spielen. Die Berufsbildposition Nr. 5 ist nur in wenigen Fallstudienunternehmen thematisiert worden; sie wird eher im Sinne einer Präambel verstanden, da diese nicht an die im Ausbildungsrahmenplan aufgeführten Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten gekoppelt ist. Auch in den rund 30 Prozent der untersuchten Fälle, in denen kZQ wenigstens in Teilen umgesetzt werden, wird überwiegend Kritik an der Umsetzbarkeit in der Ausbildung, an der Ausrichtung als

Zusatzangebot und insbesondere hinsichtlich der Organisation der Prüfungen durch die Kammern geäußert. Die kZQ in der jetzigen Angebotsstruktur aufrechtzuerhalten, scheint somit nicht zielführend zu sein.

Auch wenn es naheliegend ist, bei den Konstruktionsfehlern gegenzusteuern, ist immer noch die Frage offen, ob die kZQ generell das richtige Instrument darstellen. Sie haben in einem ersten Reformschritt gute Orientierung für diejenigen Unternehmen gegeben, die von sich aus vorangehen und sich digital weiterentwickeln wollten. Sie können allerdings nur schwer entsprechend der separat angelegten Ausbildungspläne ausgebildet werden und werden im Hinblick auf die Prüfungen bislang mit unter einem Prozent Anteil an allen Abschlussprüfungen so gut wie nicht als Instrument in der dafür vorgesehenen Weise genutzt. Am einfachsten zu lösen scheint noch der Punkt der Beteiligung der beruflichen Schulen. Ein Experte schlägt dazu in einer Fallstudie vor: *„Die beste Lösung wäre, die kZQ komplett zu streichen und dual zu organisieren, bei Beteiligung der Berufsschule“*.

In den Fallstudien bei KMU sind die kZQ und auch die Berufsbildposition Nr. 5 kaum bekannt gewesen. Auch bei weiteren Experten, die in der Berufsausbildung selbst aktiv und den KMU zuzurechnen sind, sind die kZQ bisher weitgehend unbekannt. Dieser Befund zeigt sich in der Tendenz auch in den quantitativen Daten, wenngleich weniger stark ausgeprägt als in den untersuchten Fallbeispielen. So waren die Zusatzqualifikationen in KMU Ende 2020 weniger häufig bekannt (37,6 Prozent) als in größeren Unternehmen (52,7 Prozent). Besonders groß ist der Unterschied beim detaillierten Wissen: Hier liegt der Anteil der großen Unternehmen fast dreimal so hoch wie bei den KMU.

In der Reflexion der bisherigen Ergebnisse scheint es unwahrscheinlich, dass es nach inzwischen über drei Jahren Erprobung zukünftig zu einer viel größeren Akzeptanz der kZQ im Hinblick auf deren Prüfung kommen wird. Dies verdeutlichen auch die jüngsten Prüfungszahlen, die auf sehr niedrigem Niveau stagnieren. Im Hinblick auf eine möglichst breite Nutzung der entsprechenden Inhalte der kZQ ist zu überlegen, wie möglichst viele Auszubildende für den digitalen Wandel entsprechend qualifiziert werden können. Dazu sind mehr Unternehmen und vor allem die Berufsschulen als dualer Partner in die Umsetzung einzubeziehen. Eine wichtige Absicht der Sozialpartner, mit den neu eingeführten kZQ den kleinen und mittleren Unternehmen die Chance zu eröffnen, Digitalisierung in der betrieblichen Ausbildung intensiver umzusetzen, scheint bislang noch nicht ausreichend von Erfolg gekrönt zu sein.

Neue Qualifikationsprofile mit Fokus auf Industriemechatronik

Eine zentrale Erkenntnis aus den Untersuchungen ist es, dass es keine erfolversprechende Strategie ist, metalltechnische, elektrotechnische oder auch informationstechnische Qualifikationsprofile lediglich mit jeweils komplementären Inhalten der anderen Domänen zu ergänzen. Das führt zu einer Überfrachtung der Ausbildungsinhalte und verfehlt das Ziel der Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz für die mechatronischen Herausforderungen.

Die in den Fallstudien identifizierten Aufgaben für Fachkräfte der M+E-Industrie weisen auf einen Trend hin, der sich dadurch ausdrückt, dass die zu verwendende Software oder – noch allgemeiner – die Digitalisierung von der Produktion her zu denken ist. Die Aufgaben haben nur noch selten allein metalltechnisch, elektrotechnisch oder informationstechnisch geprägte Qualifikationsanforderungen. Integrativ erscheinen sie als Standard für die Aufgaben in den generischen Handlungsfeldern von Industrie 4.0.

Ziel sollte daher die Entwicklung eines **Qualifikationsprofils mit dem Fokus auf Industriemechatronik** sein, in der sich mehrere Domänen und vorhandene Berufe vereinen, um zum einen eine breitere Basisqualifikation in den Industriebereufen zu schaffen und zum anderen eine Spezialisierung entsprechend

der verschiedenen betrieblichen Handlungsfelder in einem aufbauenden zweiten Schritt oder in einer zweiten Ausbildungsphase zu ermöglichen.

Es wird empfohlen, eine stärker profilgebende Strukturierung als Fundament für M+E-Berufe zu etablieren, wobei die Eckwerte einer solchen Profilierung geprägt sind durch

1. eine industriemechanisch ausgerichtete Basisqualifikation in der Struktur aus Kern- und Fachqualifikationen,
2. eine in Zeitrahmen flexibel gefasste Sequenzierung der Ausbildung in Form von Aufgaben in den beruflichen Handlungsfeldern,
3. eine Etablierung der profilgebenden Handlungsfelder „Instandhaltung“, „Produktion“, „Fertigung“ und „Konstruktion“ sowie weiteren Feldern als Strukturmerkmal der M+E-Berufe, die bei Bedarf auch erst im Verlauf der Ausbildung gewählt werden,
4. eine Querschnittsqualifikation Elektro (Integration von Elektrofachkraft Industrie), eine optimierte Qualitätssicherung sowie Automatisierungs- und Vernetzungsaufgaben.

Eine Hürde für die Anpassung der Ausbildungsinhalte an die Anforderungen durch Digitalisierung und Industrie 4.0 ist die bestehende thematische Überfrachtung der Ordnungsmittel. Unter den befragten ausbildenden Betrieben besteht Konsens, dass sich einfach hinzugefügte neue Inhalte nicht mehr in die Ausbildungsabläufe integrieren lassen, weil alle zeitlichen Spielräume längst ausgereizt sind. Mit einer auf Industriemechanik basierenden Struktur eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten mit Hilfe derer sich diese und andere Hemmnisse mit einer intelligenten Konzeption überwinden lassen.

Ausbilder und Lehrkräfte an Berufsschulen sind intensiver für den digitalen Wandel zu qualifizieren

Der Qualifikation und den digitalen Kompetenzen des Berufsbildungspersonals in Unternehmen, Berufsschulen und anderen Lernorten kommt eine zentrale Bedeutung bei der Gestaltung des digitalen Wandels, der digitalen Arbeitswelt und von Industrie 4.0 in der Ausbildung zu. Dies umfasst sowohl die fachinhaltliche als auch die methodisch-didaktische Gestaltung der Ausbildung.

Ausbilder und Lehrkräfte an Berufsschulen müssen dazu befähigt werden, zum einen die systemische Bedeutung der vernetzten Produktion von Industrie 4.0 mit und an mechatronischen Systemen nachzuvollziehen und zum anderen die Möglichkeiten digitaler Lernmedien vollständig zu nutzen. Zu den dafür erforderlichen Kompetenzen gehört es auch, Auszubildenden das prozessorientierte und bereichsübergreifende Denken und Handeln zu vermitteln.

Dazu ist die eigene Rolle von Ausbildern im Sinne von Lernbegleitung und Coaching weiterzuentwickeln. Es braucht das richtige Mindset und eine kontinuierliche Weiterbildungskultur im Unternehmen. Hierbei würden mehr Trainingsangebote helfen, bei denen Ausbilder im Rahmen von Blended-Learning-Konzepten konkrete Umsetzungskonzepte für die eigene betriebliche Ausbildungstätigkeit vernetzt mit anderen erarbeiten. Potenziale für eine intensivere Lernortkooperation liegen hier auch in einem gemeinsamen Lernen mit Berufsschullehrkräften.

Mögliche Eckpunkte einer erneuten Novellierung der M+E-Berufe

Insgesamt könnte eine erneute Novellierung der M+E-Berufe im Zusammenspiel mit einer neuen Struktur der Berufe die intendierten Wirkungen besser erzielen. Bei einer solchen Neuordnung der M+E-Berufe sollten folgende Fragen beantwortet und somit notwendige Veränderungen geprüft werden:

- Wie können die Ordnungsmittel der dualen Partner stärker miteinander verzahnt werden?
- Wie lässt sich die Kompetenzorientierung durch einen stärkeren Fokus auf systemische Aufgabenstellungen in der Produktion forcieren?
- Wie kann eine berufsfeldbreite Basisqualifizierung mit einem Perspektivwechsel auf das Leitbild der Industriemechatronik neu ausgerichtet werden?
- Wie kann das Portfolio der Ausbildungsberufe auf die Aufgabenbereiche in der M+E-Industrie neu ausgerichtet werden?
- Wie können die M+E-Berufe eindeutiger für die beruflichen Handlungsfelder der Instandhaltung, der Produktion (Montage, Anlagen- und Maschinenbetreuung), der Fertigung und der Konstruktion qualifizieren?

Die folgende Übersicht fasst zentrale Prüfelemente für eine erneute Novellierung der M+E-Berufe, die aus Unternehmensbefragung, Fallstudien, Expertengesprächen und Expertenworkshops abgeleitet wurden, als Orientierung im Vergleich zur heutigen Struktur zusammen:

| Heutige Struktur | Mögliche neue Struktur |
|---|---|
| verschiedene M+E Ausbildungsberufe | ein binnenflexibler Ausbildungsberuf: Industriemechaniker/-in |
| Strukturmodell mit berufsübergreifenden gemeinsamen Kernqualifikationen und beruflich spezialisierenden Fachqualifikationen sowie Einsatzgebieten wie Feingerätebau, Instandhaltung, Maschinen- und Anlagenbau sowie Produktionstechnik | Ausbildungsberuf mit gemeinsamen Kernqualifikationen und beruflich spezialisierende Fachqualifikationen mit flexibler Ausrichtung auf Industriemechatronik sowie profilgebende Handlungsfelder wie „Instandhaltung“, „Produktion“, „Fertigung“ und „Konstruktion“ |
| Angabe von Zeitrahmen, um Kern- und Fachqualifikationen zu verknüpfen | eine flexible, in Zeitrahmen gefasste Sequenzierung der Ausbildung in Form von Aufgaben in den beruflichen Handlungsfeldern |
| Elektrotechnik, Metalltechnik/Maschinenbau und Informationstechnik bilden sich ergänzende Ausbildungsbereiche in drei Berufsfeldern mit Schnittmengen | Querschnittsqualifikation Elektro (Integration von Elektrofachkraft Industrie, optimierter Qualitätssicherung sowie Automatisierungs- und Vernetzungsaufgaben) und Aufgaben der Industriemechatronik im Berufsbild, IT bleibt eigenständiges Berufsfeld |
| Grundbildung orientiert an Themen (Hydraulik, Pneumatik, CNC, Robotik, ...) und entsprechend passenden Lernorten und Lernarrangements | Prozessorientierung durch produktionsnahe Lernaufgaben – von einfachen zu komplexen Aufgaben mit Aufbau von Erfahrungswissen, disziplinübergreifende Lernorte |
| Leistungsschwächere erlernen zweijährige Ausbildungsberufe mit begrenzterem Aufgabenspektrum, die durch die Digitalisierung herausgefordert werden | Leistungsschwächere haben durch Ausbildung an Aufgaben in beruflichen Handlungsfeldern verbesserte Chancen auf nachhaltige Beschäftigungsfähigkeit und Weiterbildung |

1 Einleitung

Ausbildungsordnungen definieren den sachlichen und zeitlichen Rahmen der Ausbildung, den kompetente Ausbilder und Ausbildungsbeauftragte mit ihrer Erfahrung und pädagogischen Handlungskompetenz ausgestalten und in der betrieblichen Praxis verankern. Ausbildungsordnungen sind zwar gestaltungsoffen und technikneutral formuliert, dennoch sind sie laufend zu erneuern, um mit dem gesellschaftlichen, organisatorischen und technischen Fortschritt mitzuhalten.

Die industriellen Metall- und Elektroberufe (M+E-Berufe) sowie der Mechatroniker wurden in Deutschland im Jahr 2018 teilnovelliert, um sie an den digitalen Wandel anzupassen. Die drei wesentlichen Neuerungen umfassen eine neue Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“, eine Aktualisierung der betrieblichen Lerninhalte im Hinblick auf Industrie 4.0 sowie sieben optional wählbare Zusatzqualifikationen (in der Verordnung „kodifizierte Zusatzqualifikationen – kZQ“ genannt), wie beispielsweise „additive Fertigung“.

Der vorliegende Bericht widmet sich der Frage, wie die vorgenommenen Erneuerungen in der Ausbildungspraxis angekommen sind, welche Effekte sie auslösen und welche Hemmnisse bestehen. Über eine Auswertung des Ist-Zustands hinaus wirft der vorliegende Bericht auch einen Blick in die Zukunft und prüft, inwiefern weitergehender Entwicklungsbedarf besteht und welche Handlungsempfehlungen sich für die Gestaltung der M+E-Berufsbildung ableiten lassen.

Die durchgeführte Evaluation der M+E-Berufe wurde teilweise (ungeplant) im Zeitraum der Covid-19-Pandemie durchgeführt, die zu langfristigen Änderungen im Zusammenleben und Zusammenarbeiten führen könnte. Die damit verbundenen Auswirkungen haben den digitalen Wandel teilweise deutlich beschleunigt, teilweise aber auch zu Verzögerungen im Projekt geführt.

2 Zielsetzung

Zentrales Ziel der Studie ist es, Erkenntnisse und Erfahrungen sowie Hemmnisse und Zielsetzungen der Unternehmen bei der Umsetzung der elf teilnovellierten M+E-Berufe (vgl. Müller, 2018; Becker/Windelband, 2018; Gesamtmetall, 2018) zu identifizieren. Der Vorgang der Teilnovellierung wird von den Sozialpartnern als „agiles Verfahren“ betrachtet, dessen Ende noch nicht erreicht zu sein scheint. Ob dieses Vorhaben somit weitreichend genug ist, um den Anforderungen von Digitalisierung und Industrie 4.0 in der Ausbildung gerecht zu werden, bedarf einer gründlichen Evaluation.

Anhand dieser Informationen soll überprüft werden, welche weiteren inhaltlichen und strukturellen Änderungen womöglich erforderlich sind, um die Nutzungsintensität der novellierten Inhalte zu erleichtern. Um einschätzen zu können, ob die Veränderungen in den Ordnungsmitteln auch in der Praxis angekommen sind, wie sie dort umgesetzt werden und ob sie in den Augen der Auszubildenden die gewünschte Wirkung einer zukunftssicheren Ausbildung erzielen, werden eine repräsentative Unternehmensbefragung sowie empirische Fallanalysen und Experteninterviews durchgeführt. Dabei werden die veränderten Kompetenzanforderungen auf der „Shopfloor“-Ebene und der mittleren Beschäftigungsebene im Produzierenden Gewerbe der Metall- und Elektroindustrie (M+E-Industrie) genauer betrachtet und analysiert. Grund dafür ist die Tatsache, dass in diesem Sektor die Entwicklungen hin zur Industrie 4.0 mit einer Intensivierung der Automatisierung kontinuierlich fortschreiten sowie neue und veränderte Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten an der Tagesordnung sind. Ausgehend davon,

dass sich die Potenziale von Industrie 4.0 erst durch das Zusammenspiel neuer Technologien, veränderter Organisationsformen, Kompetenzentwicklungen und gesamter betrieblicher Veränderungen voll entfalten, gehen einige Autoren von einem „weiten Verständnis von Produktionsarbeit“ (vgl. Hirsch-Kreinsen, 2014; Hirsch-Kreinsen et al., 2018) aus. Angesprochen werden damit sowohl

- die operative, ausführende Ebene der Beschäftigten im Produzierenden Gewerbe („Shopfloor“-Ebene), als auch
- die strategische Ebene der Planung, Steuerung und Kontrolle im Produzierenden Gewerbe (mittlere Führungsebene, Führungskräfte auf der „Shopfloor“-Ebene, Produktionsleitung, Personalentwicklung und -leitung).

Während der Projektlaufzeit haben Verantwortliche in Ausbildungsunternehmen die Strukturen und Inhalte der dualen Berufsausbildung kontinuierlich erneuert. Daher war es von zentraler Bedeutung, bei der Evaluation des Umsetzungsstands nicht nur einen bestimmten Zeitpunkt abzubilden, sondern die fortlaufende Gestaltung formativ zu betrachten.

Ein weiteres Ziel des Forschungsvorhabens war es, aus den gewonnenen Einblicken über den Stand der (Teil-)Novellierungen in der Praxis Handlungsempfehlungen für die folgende Akteure und Fragen der Ausbildung in M+E-Berufen abzuleiten:

- Unternehmen und Qualifizierungsstätten: Welche Empfehlungen ergeben sich für die Ausgestaltung der Qualifizierung für die Produktionsarbeit im Zusammenhang mit Industrie 4.0?
- Verantwortliche auf Ordnungsebene: Sollte eine Weiterentwicklung der produktionstechnisch relevanten Berufe und Berufsbilder angestoßen werden – auch über die M+E-Kernberufe und den Mechatroniker hinaus? Wenn ja, mit welchen Schwerpunktsetzungen ist diese Weiterentwicklung zu verfolgen?
- Ausbilder in Unternehmen und Qualifizierungseinrichtungen, Lehrkräfte in beruflichen Schulen: Welche Impulse für ein „neues Lernen“ und für Ausstattungserfordernisse lassen sich identifizieren?

Um diese Ziele einzulösen, sind folgende Aspekte von grundsätzlicher Bedeutung und müssen mit betrachtet werden:

- die technologische Weiterentwicklung von Industrie 4.0 und deren Implementierungsstatus und Potenziale,
- die innerbetrieblichen organisatorischen Veränderungen in den Arbeits- und Geschäftsprozessen durch eine höhere Vernetzung der Gesamtprozesse im Kontext von Industrie 4.0,
- der Wandel von Arbeitsaufgaben auf der produktiven Ebene und deren Einbettung in die Gesamtprozesse mit den damit verbundenen Herausforderungen,
- die daraus resultierenden Wirkungen des Wandels auf Kompetenzen, Qualifikations-, Aus- und Weiterbildungsprofile in relevanten Berufen der M+E-Industrie und den Konsequenzen daraus.

3 Forschungsdesign

Die Untersuchung der Veränderungen in der Berufsbildung gewerblich-technischer Berufe durch den digitalen Wandel erfordert ein breit angelegtes Forschungsdesign. Zugleich sind vertiefte Einblicke in die Arbeit und Ausbildung in den Unternehmen notwendig, um die Anforderungen der Unternehmen an die Berufe im Detail erfassen zu können. Es wird daher ein Mixed-Method-Ansatz aus repräsentativen quantitativen Befragungen und qualitativen Methoden als Untersuchungskonzept gewählt und umgesetzt. Mit Hilfe von Fallstudien, Experteninterviews und -befragungen sowie Expertenworkshops werden Ergebnisse der quantitativen Befragungen in einen Zusammenhang mit Argumenten, Begründungen und Ursachenbeschreibungen von unterschiedlichen Experten – von der Shopfloor-Ebene bis hin zur Wissenschaft – gebracht.

3.1 Untersuchungskonzept

Beim Vorhaben konzentriert sich die Analyse auf das Produzierende Gewerbe der M+E-Industrie, da in diesem Sektor die Intensivierung der Automatisierung sowie die Digitalisierung der Arbeitswelt kontinuierlich fortschreitet und folglich kontinuierlich neue Kompetenzfelder entstehen. Es geht darum, welche Ziele und Absichten mit Blick auf Aus- und Weiterbildung vor dem Hintergrund der Entwicklungen von Industrie 4.0 in Unternehmen verfolgt wurden und werden. Gleichzeitig wurde analysiert, wie die Teilnovellierung der M+E-Berufe im Jahre 2018 von Unternehmen angenommen und eingeschätzt wird. Das machte es erforderlich, die Geschehnisse und damit die aktuellen Entwicklungen in den Unternehmen zu hinterfragen. Deshalb wurde die Untersuchung als Kombination aus quantitativen und qualitativen Forschungsmethoden durchgeführt. Dabei standen bei den Untersuchungen vier Bereiche im Blick der Betrachtung: 1. Produktionsplanung und -organisation, 2. Produktionsvernetzung, 3. Produktionssteuerung und 4. Produktionsumsetzung.

Die Untersuchung im beschriebenen Anwendungsbereich ist mehrstufig angelegt, um die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

1. Inwieweit sind die modernisierten M+E-Berufe bereits in der Praxis angekommen? Welche Erfahrungen haben die Unternehmen mit den modernisierten M+E-Berufen gemacht? Welche inhaltlichen und strukturellen Änderungen/Weiterentwicklungen sind gegebenenfalls erforderlich?
2. Was sind künftig zentrale Herausforderungen – bedingt durch die digitale Transformation – an die Facharbeit und welche Anforderungen an Fachkräfte in vernetzten Produktionssystemen entstehen (Industrie 4.0)? Welche beruflichen Kompetenzanforderungen an Fachkräfte der M+E-Unternehmen ergeben sich daraus?
3. Führen die Veränderungen in den 2018 modernisierten Ausbildungsordnungen zu den notwendigen beruflichen Kompetenzen bei Auszubildenden? Bieten die modernisierten Ausbildungsordnungen ausreichende und flexible Möglichkeiten?
4. Müssen sich die Berufsbilder verändern/weiterentwickeln, um den Anforderungen einer digitalisierten Arbeitswelt zukünftig gerecht zu werden und wie müssen sich die Lernprozesse innerhalb des dualen Systems verändern?
5. Welche Konsequenzen ergeben sich für die methodische und mediale Gestaltung der Qualifizierung des betrieblichen Bildungspersonals als ausführende Akteure der neu strukturierten Ordnungsmittel?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein qualitatives, berufswissenschaftliches Instrumentarium (vgl. Becker/Spöttl, 2015) sowie eine quantitative Unternehmensbefragung eingesetzt. Das Forschungsdesign ist darauf ausgerichtet, Einflüsse und Veränderungen auf der Shopfloor-Ebene sowie die Akzeptanz der Teilnovellierung der M+E-Berufe durch die handelnden Akteure zu identifizieren, um damit die Grundlage zu schaffen, oben genannte Fragestellungen zu beantworten. Der großen Kooperationsbereitschaft der Unternehmen und Experten ist es zu verdanken, dass auch innerhalb der Corona-Pandemie die notwendigen Einblicke gewonnen werden konnten.

Die Untersuchungen wurden von einem Forschungsteam aus den beteiligten Institutionen – Institut für Bildung, Beruf und Technik (IBB) der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch-Gmünd, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) der Leibniz Universität Hannover, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Zentrum Technik, Arbeit und Berufsbildung (TAB) an der Universität Bremen – durchgeführt und dokumentiert. Die jeweilige Expertise der in den Hochschuleinrichtungen sowie im Kompetenzfeld Berufliche Qualifizierung und Fachkräfte des IW tätigen Mitarbeiter konnte dafür genutzt werden, die Untersuchungen mit Erkenntnissen aus weiteren Studien zu ergänzen und zu vertiefen.

3.2 Literaturanalyse

Zunächst wurde mittels einer Literaturanalyse der Forschungsstand im Themenfeld aufbereitet, um das Forschungsvorhaben in bereits bestehende Fachdiskussionen einbetten zu können. Ein weiteres Ziel der Literaturanalyse war es, den aktuellen Stand der betrieblichen Umsetzungsprozesse sowie die durch Digitalisierung hervorgerufenen Veränderungen in der Arbeitswelt und den Qualifikationsstrukturen aufzuzeigen. Die Ergebnisse waren die Grundlage für die Konzeption der Erhebungsinstrumente. Hierfür wurden Veröffentlichungen zur Modernisierung der (Ausbildungs-)Berufe im M+E-Sektor und wissenschaftliche Studien der Berufs-, Arbeits- und Sozialwissenschaften zum Stand der technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Entwicklung genauer analysiert. Die Ergebnisse finden sich thematisch geordnet im nachfolgenden Kapitel 4.

3.3 Unternehmensbefragung

Für die empirischen Erhebungen wurde im Projekt eine Kombination quantitativer und qualitativer Verfahren verfolgt. Die quantitative Auswertung einer repräsentativen Unternehmensbefragung ermöglicht es, verlässlich und klar den Umsetzungsstand der modernisierten Ausbildungsordnung der M+E-Berufe in der Breite zu zeigen, während die qualitativen Methoden (Fallanalysen, Expertengespräche und Expertenworkshops) einen tiefergehenden Einblick in die Praxis der Ausbildung gewähren. Beide Methoden bieten Vorteile, die sich zu einem guten Gesamtbild ergänzen lassen. Die Daten der quantitativen Unternehmensbefragung sind repräsentativ, das heißt, die Ergebnisse stehen stellvertretend für alle Unternehmen in Deutschland mit mindestens einem sozialversicherungspflichtig beschäftigten Mitarbeiter. Der besondere Vorteil qualitativer Erhebungsmethoden liegt dagegen in einer größeren inhaltlichen Tiefe des Datenmaterials. Hierdurch können detaillierte Informationen zu den besonderen Erfahrungen und Herausforderungen in der Ausbildungspraxis und in Hinblick auf die sich im Kontext der Digitalisierung zunehmend verändernden Produktionsprozesse in den Unternehmen gewonnen werden. Konzeptuelle Einordnungen runden diesen Methodenmix ab.

Durch eine im Rahmen des IW-Personalpanels durchgeführte Unternehmensbefragung wurde der Umsetzungsstand der Modernisierung der M+E-Berufe erhoben. Für das jährlich durchgeführte IW-Personalpanel wird eine nach Mitarbeiterzahl und Branchenzugehörigkeit geschichtete Zufallsstichprobe aus

einer Unternehmensdatenbank gezogen. Die Erhebung der relevanten Ansprechpartner, ihrer Teilnahmebereitschaft und ihrer E-Mail-Adressen erfolgt auf telefonischem Wege. Befragt werden Personalverantwortliche (zum Beispiel HR-Manager, Personalleiter oder Geschäftsführer). Zwischen den Monaten März und Mai im Jahr 2020 nahmen insgesamt 1.042 Unternehmen an der Onlinebefragung teil (Tabelle 1).

Die Stichprobe des IW-Personalpanels schließt Unternehmen der Industrie (einschließlich Bauwirtschaft) und aller Dienstleistungsbranchen ein, die mindestens einen Mitarbeiter sozialversicherungspflichtig beschäftigen. Damit ausreichend hohe Fallzahlen für eine Auswertung der Befragungsdaten erreicht werden können, sind in der Stichprobe bewusst anteilig mehr Unternehmen mit einer großen Anzahl an Mitarbeitern sowie mehr Unternehmen der Industrie und des M+E-Sektors vertreten als in der Grundgesamtheit.

Um repräsentative Werte für die Grundgesamtheit zu ermitteln und das gezielte Übersampeln auszugleichen, wurden die Befragungsergebnisse anhand von Daten des Unternehmensregisters hochgerechnet. Dabei wurde zwischen vier Branchen (M+E, sonstige Industrie + Bau, unternehmensnahe Dienstleistungen und gesellschaftsnahe Dienstleistungen) und zwei Mitarbeitergrößenklassen (1 bis 249 Mitarbeiter sowie 250 und mehr Mitarbeiter) unterschieden. Da nur wenige befragte Unternehmen mit 1 bis 49 Mitarbeitern in M+E-Berufen ausbilden, wurden kleine und mittlere Unternehmen zu einem Gewichtungsfaktor zusammengefasst. Somit unterscheiden wir in diesem Bericht nur in kleine bis mittlere Unternehmen, die einen bis 249 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte aufweisen, und Großunternehmen, die mehr als 250 Personen sozialversicherungspflichtig beschäftigen. Die Ergebnisse der quantitativen Befragung werden in Kapitel 6.2 erläutert.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stichprobe

ungewichtete Anzahl der Fälle

| | Industrie | | | Dienstleistungen (DL) | | | gesamt |
|-----------------------------|-----------|---------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------|
| | gesamt | davon: sonstige Industrie + Bau | davon: M+E | gesamt | davon: unternehmensnahe DL | davon: gesellschaftsnahe DL | |
| 1 bis 249 Mitarbeiter | 147 | 48 | 99 | 33 | 18 | 15 | 180 |
| 250 und mehr Mitarbeiter | 97 | 41 | 56 | 14 | 8 | 6 | 111 |
| gesamt | 244 | 89 | 155 | 47 | 26 | 21 | 291 |

Quelle: IW-Personalpanel, Frühjahr 2020

Es zeigte sich erwartungsgemäß, dass Dienstleistungsunternehmen deutlich seltener angaben, in den M+E-Berufen auszubilden. Da nur knapp jedes fünfte Dienstleistungsunternehmen (17 Prozent) in einem M+E-Beruf ausbildet, sind die Fallzahlen bei jenen Fragen, die nur in diesen Berufen ausbildende Unternehmen betreffen, sehr gering. Folglich können für die Dienstleistungsbranchen bezogen auf die M+E-

Berufe keine repräsentativen Aussagen getroffen werden. Daher wird der Schwerpunkt des Berichts auf den Industriebereich gelegt. Zu diesem zählen folgende Branchen:

- Chemie, Pharma, Gummi und Kunststoff,
- Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Herstellung von Metallerzeugnissen,
- Maschinenbau, Elektroindustrie, Fahrzeugbau,
- andere Branchen des Verarbeitenden Gewerbes,
- Energie-, Wasserversorgung, Entsorgung,
- Bauwirtschaft.

An den Stellen, an denen eine ausreichende Fallzahl für die M+E-Industrie vorliegt, werden diese Ergebnisse separat ausgewiesen und mit den Werten der restlichen Industriebranche verglichen. Dabei werden die Wirtschaftsbereiche wie folgt aufgeteilt:

- **M+E-Branche:** Unternehmen aus den Bereichen Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Herstellung von Metallerzeugnissen und Maschinenbau, Elektroindustrie, Fahrzeugbau,
- **sonstige Industrie:** Unternehmen der Bereiche Chemie, Pharma, Gummi und Kunststoff sowie anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes aus der Energie-, Wasserversorgung, Entsorgung und der Bauwirtschaft.

Zu den abgefragten M+E-Berufen gehören der Mechatroniker sowie die industriellen Elektroberufe (Elektroniker/-innen mit den Schwerpunkten Automatisierungstechnik, Betriebstechnik, Gebäude- und Infrastruktursysteme, Geräte und Systeme sowie Informations- und Systemtechnik) und Metallberufe (Anlagenmechaniker/-in, Industriemechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in, Werkzeugmechaniker/-in, Zerspanungsmechaniker/-in).

Zusätzlich wurde abgefragt, ob Produktionstechnologen ausgebildet werden, und weiterhin, ob grundsätzlich in IT-Berufen ausgebildet wird, da diese Berufe für die M+E-Industrie relevant sind. Da diese jedoch nicht von der hier betrachteten Novellierung betroffen sind, wurden an Unternehmen, die ausschließlich diese Berufe ausbilden, keine Fragen zur Umsetzung der modernisierten Ausbildungsordnung gestellt.

3.4 Expertengespräche

Die Experteninterviews erforderten den Zugriff auf Schlüsselpersonen, die über ein hohes Kompetenz- und Erfahrungsniveau bezüglich der Veränderungen der Arbeitswelt der M+E-Industrie, der Kompetenzanforderungen durch die Digitalisierung und/oder über die Akzeptanz der Teilnovellierung der M+E-Berufe verfügen. Es wurden insgesamt 17 Expertengespräche mit 22 Experten (teilweise auch Expertengruppen) aus unterschiedlichen Bereichen mit Hilfe eines leitfadengestützten Interviews detailliert befragt. Um Informationen über den Stand der Umsetzung und den Veränderungen in der Produktion im Kontext der Industrie 4.0 zu bekommen, wurden neun Experteninterviews mit Vertretern der Wissenschaft, von Verbänden sowie mit Unternehmensvertretern durchgeführt.

Ein zweiter Schwerpunkt bei den Expertengesprächen bezog sich auf die Veränderungen und Erfahrungen bei der Umsetzung der Teilnovellierung der M+E-Berufe. Hier wurden Experteninterviews mit sieben Vertretern aus dem Ausbildungsbereich und von Sozialpartnern durchgeführt. Zwei Expertengespräche

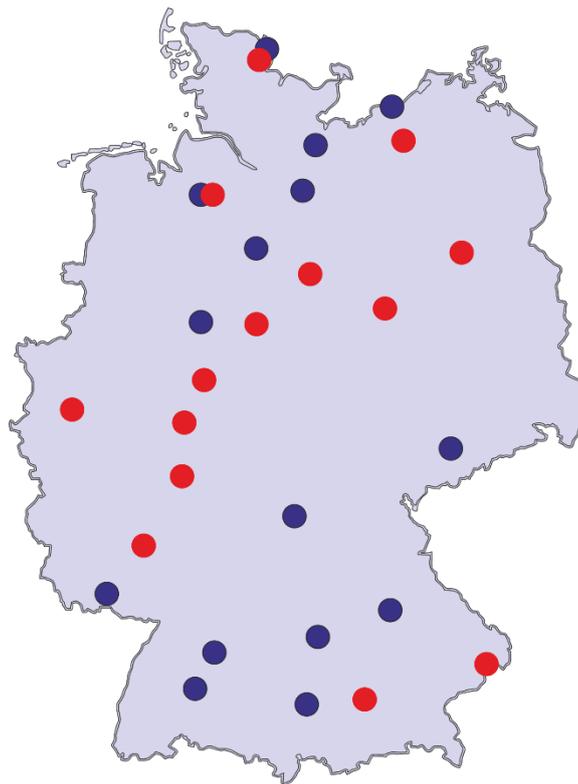
wurden dabei mit Vertretern von Berufsschulen geführt. Ein weiteres Gespräch (Nr. 18) wurden mit einem Vertreter geführt, der ein Lernlabor für die duale Ausbildung betreibt.

Gleichzeitig dienten die Experteninterviews zur Findung von Fallstudien. Die Experteninterviews wurden vorwiegend als Online-Videointerviews durchgeführt, da während der Corona-Pandemie Interviews vor Ort nur eingeschränkt möglich waren.

3.5 Fallstudien

In der Studie wurden 15 Fallstudien in ausgewählten innovativen Unternehmen und federführenden Einrichtungen in Deutschland durchgeführt (vgl. Abbildung 1). Daran nahmen 68 Personen teil. Einige der ausgewählten Unternehmen sind Vorreiter in der Umsetzung von Industrie 4.0. Auch Unternehmen, die mit der Umsetzung noch nicht so weit fortgeschritten waren, wurden betrachtet. Dabei wurden die bisherigen Erfahrungen in der Umsetzung der teilnovellierten Berufe, zur Ausgestaltung der Berufsbildposition und zum Einsatz von Zusatzqualifikationen genauso erfasst, wie die veränderten Qualifikationsanforderungen und Anforderungen in den vernetzten Arbeitssystemen der Produktion.

Abbildung 1: Erhebungskarte mit der regionalen Verortung von Fallstudien und Expertenbefragungen



Quelle: eigene Darstellung; blaue Punkte = Fallstudien, rote Punkte = Expertengespräche (teilweise mit mehreren Gesprächen an verschiedenen Standorten)

Die Fallstudienunternehmen wurden in Kooperation mit dem Auftraggeber und seiner regionalen Mitgliedsverbände ausgewählt und akquiriert. Dabei wurden mehrere Auswahlkriterien wie Größe, regionale Lage (Abbildung 1), Branche, Ausrichtung auf Produktionsbereiche und Wirtschaftszweige, Breite und Spezialisierung gewerblich-technischer Beschäftigung, Ausbildungsbetrieb, Innovationsträgerschaft

zugrunde gelegt, um durch die ausgewählten Unternehmen ein „Abbild“ zu den Anforderungen der M+E-Industrie zeichnen zu können, welches über die betrieblichen Anforderungen aufgrund der Digitalisierung Auskunft gibt.

Tabelle 2: Einordnung der Unternehmen nach Branche, Größe sowie einbezogenen Schwerpunkten und Produktionsbereichen

| Fall | Branche | Unternehmensgröße | Unternehmensschwerpunkt / Produktionsbereich |
|------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| 01 | Elektrotechnik | 1.500 Mitarbeiter am Standort | Elektrische Ausrüstungen für Maschinen- und Anlagenbau / Fertigung und Montage |
| 02 | Maschinen- und Anlagenbau | 150 Mitarbeiter am Standort | Holzbearbeitungsmaschinen / Fertigung |
| 03 | Heiztechnik | 12.400 Mitarbeiter (weltweit) | Heiztechnik / Fertigung |
| 04 | Sondermaschinenbau | 178 Mitarbeiter am Standort | Marinetechnik / Fertigung und Montage |
| 05 | Anlagenbau | 18.000 Mitarbeiter (weltweit) | Prozessindustrie / Fertigung |
| 06 | Sondermaschinenbau | 1.600 Mitarbeiter am Standort | Konstruktionstechnik / Anlagenbau, Fertigung, Montage |
| 07 | Maschinenbau | 740 Mitarbeiter am Standort | Land- und Baumaschinen / Fertigung |
| 08 | Maschinenbau | 3.500 Mitarbeiter (weltweit) | Energietechnik / Fertigung |
| 09 | Anlagenbau | 250 Mitarbeiter am Standort | Industrie- und Leichtbaurobotik, Systemlösungen und -integration |
| 10 | Automatisierungstechnik | 3.000 Mitarbeiter am Standort | Steuerungs- und Automatisierungstechnik / Produktion |
| 11 | Befestigungstechnik | 2.000 Mitarbeiter am Standort | Werkzeugherstellung / Entwicklung und Produktion |
| 12 | Automobilindustrie | 44.000 Mitarbeiter am Standort | Karosseriebau / Montage / Automatisierungstechnik / Instandhaltung |
| 13 | Maschinenbau | 4.100 Mitarbeiter am Standort | Produktion von Komponenten für Antriebe aller Art |
| 14 | Maschinenbau und Sondermaschinenbau | 18.000 Mitarbeiter am Standort | Produkte rund um Garten- und Forstarbeiten / Produktion |
| 15 | Maschinenbau | 220 Mitarbeiter am Standort | CNC-Bearbeitungszentren / Produktion |

Quelle: eigene Darstellung

In Anbetracht der begrenzten Anzahl von Fallstudien (vgl. Tabelle 2) kann kein lückenloses Bild über die Konsequenzen der Digitalisierung der Arbeit und der Umsetzung der Teilnovellierung dargestellt werden. Aufgrund des gewählten Mixed-Method-Ansatzes mit unterschiedlichen Forschungsmethoden, die sich gegenseitig im Projekt ergänzen, können jedoch eindeutige Entwicklungsrichtungen identifiziert und verhältnismäßig zuverlässig dargestellt werden. Die empirischen Analysen befassten sich mit den bisherigen Erfahrungen mit der Umsetzung der teilnovellierten Berufe beziehungsweise mit der Ausgestaltung der Berufsbildposition und dem Einsatz von Zusatzqualifikationen. Aber auch Veränderungen in den Qualifikationserfordernissen in Bezug zu den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen durch eine immer mehr vernetzte und digitalisierte Arbeitswelt wurden untersucht.

Methodisch sind die Fallstudien als berufswissenschaftliche Fallstudien (vgl. Becker/Spöttl, 2015, 88 ff.) angelegt, wobei insbesondere leitfadengestützte Interviews im Einsatz waren. Alle Fallstudien fanden in Betrieben und dort in verschiedenen Arbeitsgebieten statt. Besucht und befragt wurden die Ebenen der Produktionsplanung und -organisation, der Produktionsumsetzung sowie der Ausbildungsbereich. Dabei waren folgende Zielgruppen im Fokus: Geschäftsführung/Produktionsleitung, Fachabteilungen/Fachbereiche, Ausbildungsverantwortliche/-personal und Facharbeitsebene. Durch die Befragung der leitenden Ebene, von Fachkräften auf der mittleren Beschäftigungsebene, Fachkräften auf der produktiven Ebene (Facharbeiter, Techniker, Meister) sowie Ausbildungsverantwortlichen wurde sichergestellt, dass Einzelaussagen nicht das Erhebungszentrum darstellten. Es wurde vielmehr großer Wert auf mehrere Blickwinkel gelegt, um Selbst- und Fremdeinschätzung zu den Auswirkungen und Umsetzungen der Technologien sowie zum Stand und der Akzeptanz der Novellierung mit unterschiedlichem Kontextbezug zu erhalten.

Trotz der Corona-Pandemie wurden alle Befragungen vor Ort in den Unternehmen umgesetzt. Teilweise fanden Vorgespräche oder einzelne Interviews per Video über das Internet statt, jedoch wurde jedes Unternehmen von einem Zweier-Forscherteam besucht, um auch die Veränderungen in den Arbeitsprozessen vor Ort zu sehen und zu erfassen. Einschränkungen vor Ort konnten durch die jeweiligen Corona-Regelungen nicht vermieden werden. Folglich konnten nicht immer alle Produktionsbereiche besichtigt werden. Teilweise konnten nicht immer alle Zielgruppen eines Unternehmens befragt und die Interviews nicht immer am Arbeitsplatz oder dessen Umfeld durchgeführt werden.

3.6 Expertenworkshops

Ziel der zwei Expertenworkshops mit insgesamt 31 Teilnehmenden war es, das Fachwissen von Experten und Schlüsselpersonen der M+E-Industrie (zum Beispiel Entscheidungsträger von Verbänden, Wissenschaft, Unternehmen und der Berufsbildung) so weit wie möglich für eine Konkretisierung und Erhärtung der in den vorherigen Untersuchungsphasen gewonnenen Erkenntnisse nutzbar zu machen. Konkret dienen die Workshops der Überprüfung und Beantwortung der Forschungsfragen zu den Erfahrungen der Teilnovellierung und den Veränderungen in der Arbeitswelt sowie deren Konsequenzen für die Berufsbildung. Die vorhandenen unterschiedlichen Einschätzungen, Ausgangslagen und Orientierungen konnten „interaktionistisch“ offengelegt werden.

Der erste Expertenworkshop fand im April 2021 statt und fokussierte die Teilnovellierung der M+E-Berufe. Es nahmen insgesamt 16 Experten vorwiegend aus Unternehmensverbänden teil. Hier wurden erste Ergebnisse aus den Erhebungen zu dieser Fragestellung vorgestellt und diskutiert. Drei Fragestellungen wurden innerhalb des Workshops erörtert:

- Digitalisierung: integrative Herausforderung oder Zusatz/„Add-on“?,“
- Zusatzqualifikationen – Vor- und Nachteile, Herausforderungen sowie Umsetzungsstand,
- Verschiebungen zwischen Berufen / Hybridisierung.

Ziel des zweiten Expertenworkshops im November 2021 war es, die Einschätzungen der Teilnehmenden zum Einfluss der Digitalisierung auf Entwicklungen in der Arbeitswelt und den Veränderungen in den Anforderungen zu erfassen, genauso wie Erkenntnisse zu den Entwicklungen und Einflüssen der Digitalisierung auf die Berufsbildung und deren Konsequenzen erarbeitet wurden. Dazu wurden 15 Experten aus Unternehmen, Wissenschaft, Berufsschulen und von Industrie- und Handelskammern eingeladen. Folgende Diskussionsblöcke wurden umgesetzt:

- Intensität und zukünftige Entwicklung der Digitalisierung – Technologie und Verfahren,
- Intensität und zukünftige Entwicklung der Digitalisierung – Aufgaben und Prozesse,
- Verschiebungen in der Produktion aufgrund der Digitalisierung – heute und in Zukunft.

Beide Expertenworkshops wurden als Online-Workshops von jeweils etwa drei Stunden mit unterschiedlichen moderierten Arbeitsphasen zur Beantwortung der Leitfragen umgesetzt. Die Ergebnisse dieser Workshops wurden bei der weiteren Gestaltung des Projekts berücksichtigt, zum Beispiel bei der Formulierung von Fragen innerhalb der Experteninterviews und Fallstudien. Begleitend zum Projekt erfolgte eine Abstimmung mit dem vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) durchgeführten Projekt zur „Evaluation der Novellierung der Metall- und Elektroberufe 2018“, das im Jahr 2020 gestartet wurde (siehe hierzu unter anderem Kaufmann et al., 2021).

Durch die Restriktionen der Corona-Pandemie in den Jahren 2020 und 2021 wurde die Durchführung der Expertengespräche und Fallstudien erheblich erschwert. Durchgeführt werden konnten jedoch insgesamt 17 Expertengespräche und 15 Fallstudien. Zusammen mit den Experten aus den Workshops wurden über 120 Personen zu den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Digitalisierung mittels der qualitativen Methoden befragt. Allerdings verlängerte sich der ursprünglich geplante Zeitraum für das Forschungsvorhaben um etwas mehr als ein Jahr, da Termine in Unternehmen vor Ort über einen längeren Zeitraum nicht möglich waren.

4 Analyse der Ausgangslage: Der digitale Wandel in Wirtschaft, Arbeitswelt und Ausbildung

Der digitale Wandel ist ein zentraler Untersuchungsschwerpunkt dieser Studie in mehrfacher Hinsicht: Er ist Ursache für neue Qualifikationsanforderungen, selbst Mittel für neue Ansätze in der Arbeit und Ausbildung sowie Treiber zahlreicher Entwicklungen in den Unternehmen, der Berufsbildung und in der Gesellschaft. Nicht zuletzt stand dieser im Zentrum der Teilnovellierung der industriellen M+E-Berufe im Jahr 2018 und wird daher im Folgenden entsprechend der Zielsetzung der Studie genauer analysiert.

4.1 Digitalisierung und Industrie 4.0

Eine pauschale Beantwortung der Frage zum Stand der Forschung mit Blick auf Digitalisierung und Industrie 4.0 ist kaum möglich. Zu verschieden sind die Fragestellungen und Forschungsrichtungen hierzu. Analysiert man allerdings die vielfältige Forschungslage, dann sind seit Mitte des vergangenen Jahrzehnts in den Veröffentlichungen drei Schwerpunkte zu den Konsequenzen der zunehmenden Digitalisierung auszumachen¹:

1. die *technologische Entwicklung* von Industrie 4.0 zur Unterstützung der Wettbewerbsfähigkeit (Beispiel: Bauernhansl et al., 2014; acatech, 2013b),
2. die Konsequenzen der Digitalisierung für die *Beschäftigung*. Besonders intensiv wurde dabei der Implementierungsprozess von Industrie 4.0 betrachtet (Beispiel: acatech, 2011; Kagermann et al., 2013),
3. digital getriebene Veränderungen der Arbeit und der *Arbeitswelt* (Beispiel: Wetzel, 2015; Hirsch-Kreinsen, 2014; Pfeiffer/Suphan, 2015).

Diese drei Schwerpunkte spielen auch heute noch eine zentrale Rolle, werden jedoch wesentlich differenzierter betrachtet als das in der Vergangenheit der Fall war. Hinzugekommen sind als Diskussionspunkte:

4. die genauere Analyse der Entwicklungen hinsichtlich *gesellschaftlicher Auswirkungen* (Beispiel: Herzog, 2019; Precht, 2018) und eine
5. genauere Betrachtung der erwarteten und realen Veränderungen der *Bildungs- und Berufsbildungssysteme* und der in diesen jeweils stattfindenden Ausbildung (Beispiel: bayme vbm, 2016; Zinke, 2019).

Bei allen Ausführungen zur Digitalisierung und zur Industrie 4.0 besteht Konsens, dass diese Entwicklungen massiven Einfluss auf das gesellschaftliche Zusammenleben und die Arbeitsgestaltung haben werden und es darauf ankommt, die:

- technologischen,
- sozialen und
- arbeitsbezogenen

Dimensionen genauer zu analysieren. Diese Analyse ist eine wichtige Voraussetzung, um Entscheidungen über die strukturelle und inhaltliche Ausgestaltung des Bildungswesens und der Berufsbildung

¹ Es werden nur auf Deutschland bezogene Quellen benannt.

treffen zu können. Aufgrund der Tatsache, dass vor allem die Forschung zu Industrie 4.0 weit fortgeschritten ist (vgl. Kipar, 2021, 1) wird eine wettbewerbsfähige, innovative und nachhaltige Wirtschaft unterstützt. Das führt zu einer hohen Dynamik, welche bereits bei KMU sichtbar wird und das Innovationspotenzial großer Unternehmen fördert (vgl. Forschungsbeirat, 2021, 3). Es kommt zukünftig darauf an, durch Bildung und Berufsbildung auf diese Veränderungen vorzubereiten, um Fachkräfte mit einer auf „gute Arbeit“ ausgerichteten Gestaltungskompetenz auszustatten.

Zweifellos ist die technologische Entwicklung einer der dominierenden Faktoren bei der Weiterentwicklung von Industrie 4.0. Die Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung aller Akteure und relevanter Anlagen stehen im Zentrum der industriellen Wertschöpfung. Die Erfassung und Verarbeitung von Echtzeitdaten via cyber-physischer Systeme und die dazugehörige Mensch-Maschine-Schnittstelle spielen dabei eine wichtige Rolle (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2019; Schmitt et al., 2021, 104 ff.).

Wichtige Wegmarken der Entwicklung der vergangenen 50 Jahre hin zu einer „digitalen Welt“ sind unter anderem die Einführung der Personal Computer, des Internets, von mobilen Endgeräten und von Social Media. Für die aktuelle gesellschaftliche und industrielle Entwicklung sind es vor allem smarte Technologien (Smartphone, Smart Watches, Smart Home, Smart City etc.), künstliche Intelligenz, Big Data und maschinelles Lernen sowie virtuelle Realitäten, die diskutiert werden (vgl. vbw, 2018, 31 ff.).

Die Digitalisierung nimmt in der industriellen Produktion eine zentrale Rolle ein (vgl. ebd., 40 f.) und wird mit dem Schlagwort Industrie 4.0 umschrieben (vgl. Kagermann et al., 2011). Industrie 4.0 zeichnet sich durch einige charakteristische Merkmale aus (vgl. Neuburger, 2016):

- **Veränderte Produktionsweise und Werkzeuge:** Vermehrt kommen Werkzeuge und Anlagen (Fertigungszentren, kollaborative Roboter, 3-D-Drucker und anderes) zum Einsatz, die durch digitale Systeme unterstützt werden, oder es werden digitalisierte Assistenzsysteme bis hin zur Werkerführung (vgl. Bovenschulte, 2020) eingesetzt. Das hat Wirkungen auf die Gestaltung der Prozessabläufe. Mitarbeiter müssen auf den Umgang mit den veränderten Werkzeugen vorbereitet werden (vgl. Expertin 06). Dabei kommt es besonders darauf an, die Mitarbeiter für das Beherrschen digitalisierter und vernetzter Prozessabläufe zu qualifizieren. Das erfordert eine gründliche Auseinandersetzung mit den neuen Werkzeugen (ebd.).
- **Flexibilisierung von Produktion und Service:** Die technologische Entwicklung und der weltweite Datenaustausch erlauben ein standortunabhängiges Agieren von Unternehmen. Unterstützt wird dieses durch eine zunehmend stärkere Vernetzung, die branchenübergreifend erfolgt und darauf ausgerichtet ist, eigenständig Produktionsprozesse zu initiieren. Das wiederum zieht eine Veränderung der Arbeitsteilung in den Unternehmen nach sich. Klassisch aufgebaute Unternehmenshierarchien werden flacher und interdisziplinäre Teams gewinnen an Bedeutung. Das geht zugleich einher mit einer flacher werdenden technologiebezogenen Automatisierungspyramide. Beim kollaborativen Arbeiten kooperieren Menschen sowohl stärker untereinander als auch mit Maschinen, wie beispielsweise Robotern. Die damit verbundenen Herausforderungen sind bisher erst ansatzweise erforscht (vgl. etwa Bauer et al., 2019; Schuh et al., 2020).
- **Assistenzsysteme** werden in Vernetzungstechnologien eingebunden. Durch systematische Verarbeitung von Daten und Informationen über die Produktion sowie deren virtuelle Abbildung übernimmt die Virtualisierung von Produktions- und Arbeitsprozessen die Regelung sowie Organisationsfunktionen. Die Vernetzungstechnologien zielen auf eine Konnektivität unterschiedlicher Objekte und Produktionsabläufe (vgl. Jeschke et al., 2018) mit Werkzeugen (zum Beispiel

Assistenzsysteme, additive Produktionssysteme) ab, wobei zunehmend die Vernetzung von Maschinen (zum Beispiel Robotikanlagen) und Menschen (vgl. Fall 07) dabei an Bedeutung gewinnen. Die Adaptivität der digitalen Technologien unter Verwendung von Tablets, Datenbrillen, Exoskeletten sowie ergonomische Unterstützung spielen dabei eine wichtige Rolle (vgl. Hirsch-Kreinsen/Ittermann, 2019, 153 f.).

- Diese Veränderungen gehen mit einer Veränderung der **Automatisierungspyramide** – im Sinne einer Einordnung von Techniken und Systemen in die jeweilige Leittechnik für die verschiedenen Ebenen in der industriellen Fertigung – einher. Die Pyramide wird flacher und Vernetzungen zwischen den Ebenen werden auf der Arbeitsebene stärker sichtbar. Machine Execution Systems (MES) und auf der Prozessleitebene SCADA (Supervisory Control and Data Analysis) sind verfügbar, sodass die Steuerung und Überwachung digital angebundener Produktionsanlagen immer stärker den Alltag in den betrieblichen Arbeitsumgebungen bestimmt. Die Handlungsräume der Fachkräfte verändern sich dadurch (vgl. Becker, 2019, 121) und werden verstärkt über die softwareseitigen Zugänge bestimmt, bieten aber auch eine Chance für eine Mitgestaltung durch die Fachkräfte.
- **Automatisierung:** Die Automatisierung selbst leitet ein neues Niveau in der industriellen Produktherstellung ein. Kollaborative Robotik und künstliche Intelligenz werden als mögliche Treiber für eine verstärkte Automatisierung gesehen (vgl. Becker et al., 2021; Schmitt et al., 2021), weil dadurch der Einsatz neuer Technologien vervielfältigt werden kann. Wie vielfältig die Möglichkeiten des Technologieeinsatzes sind und welche Tätigkeiten automatisiert werden können, wird regelmäßig in Studien des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB) verdeutlicht (vgl. Dengler/Matthes, 2021), die beschreiben, wie hoch das Substituierbarkeitspotenzial menschlicher Tätigkeiten durch den Einsatz von (marktreifen) Technologien ist. Es bleibt dabei außer Acht, ob der Einsatz dieser Technologien im Hinblick auf Qualität und Kosten sinnvoll und laut Rechtslage erlaubt ist. Auch eine Betrachtung des jeweiligen Arbeitsumfeldes oder der arbeitsorganisatorischen Verhältnisse findet nicht statt (vgl. Pahl/Spöttl, 2021). Die verschiedenen Tätigkeiten innerhalb eines Berufsbildes werden in den auf den Arbeitsmarkt bezogenen Untersuchungen stets als ganz oder gar nicht substituierbar eingestuft und nicht trennscharf abgegrenzt. So seien laut dem Internettool „Job Futuromat“ (<https://job-futuromat.iab.de>) des IAB beispielsweise „Mechatroniker/-innen“ zu 88 Prozent oder „Chemikanten/-innen“ vollständig substituierbar.

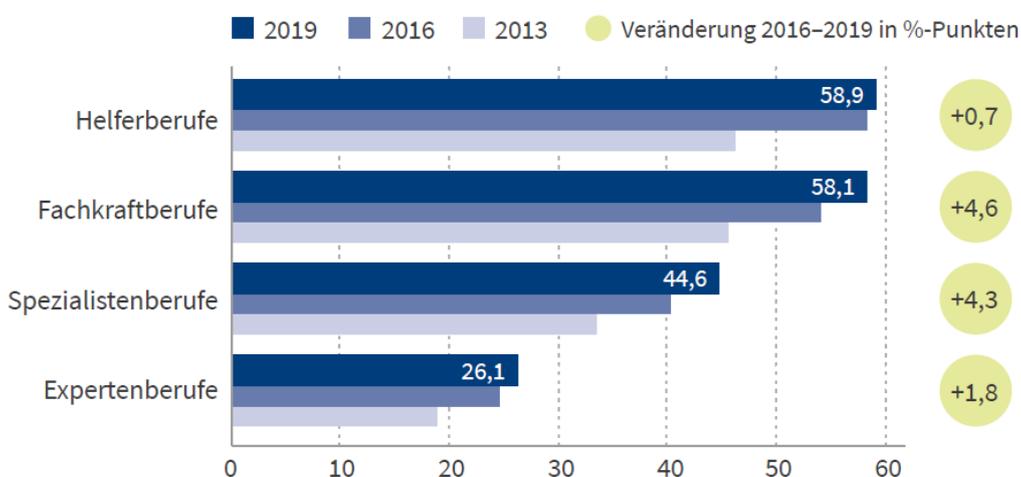
In der Realität übernimmt eine Technologie jedoch häufig nur Teile einer Tätigkeit und für den verbleibenden Teil einer Tätigkeit ist der Mensch unverzichtbar. Bemerkenswert ist allerdings, dass die jeweils analysierten Technologien oder Kerntätigkeiten innerhalb der Studien je nach Marktreife wechseln. Erste Erhebungen von Dengler/Matthes im Jahr 2015 zu qualifikatorischen Herausforderungen benennen Technologien wie mobile kollaborative Roboter, selbstlernende Computeralgorithmen, 3-D-Druck und virtuelle Realität als hoch relevant. Bei den aktuellen Erhebungen sind es hingegen die innerhalb der letzten fünf Jahre marktreif gewordenen Technologien: Blockchain, digitaler Zwilling, automatisierte Entscheidungsverfahren und additive Fertigung für die Produktion (über das Rapid Prototyping hinausgehend). Entsprechend ihrer Methodik kommen Dengler/Matthes (2021, 5) zu dem Ergebnis, dass das Substituierungspotenzial bei den Helfer- und Fachkräfteberufen am stärksten ausgeprägt ist (vgl. Abbildung 2): *„Hier könnten durchschnittlich fast 60 Prozent der Tätigkeiten durch den Einsatz von Computern oder computerisierten Maschinen automatisiert erledigt werden. Bei den Spezialberufen liegt der Wert bei rund 45 Prozent und bei den Expertenberufen bei etwa 26 Prozent“.*

Das Ausmaß des Substituierungspotenzials hat derzeit jedoch wenig Vorhersagekraft für die

tatsächliche Arbeitsmarktentwicklung. Stettes (2020) weist darauf hin, dass gerade in Berufen mit hohem Substituierungspotenzial häufig auch Fachkräfteengpässe bestehen, wonach die offenen Stellen nicht mit passend qualifizierten Arbeitskräften besetzt werden können. In einigen Berufen mit hohem Substituierbarkeitspotenzial, wie etwa dem Chemikanten oder dem Mechatroniker wird sogar mehr statt weniger ausgebildet (vgl. Burstedde/Schirner, 2018). *Unternehmen haben also in diesen Berufen nach wie vor einen hohen Arbeitskräftebedarf.*

Abbildung 2: Substituierbarkeitspotenziale nach Anforderungsniveau

Anteil der Tätigkeiten, die schon heute potenziell von Computern erledigt werden könnten, in Prozent



Quelle: Dengler/Matthes (2015, 2018), eigene Berechnungen für 2019. © IAB

- Beschäftigung:** Wie bereits angemerkt, ist bisher nicht erkennbar, dass die betrieblichen Entscheidungen zur Automatisierung allein auf der Grundlage von technologischen Substituierbarkeitspotenzialen erfolgen. Zahlreiche andere Faktoren spielen ebenfalls eine wichtige Rolle wie beispielsweise die vorhandenen Kompetenzen zur Nutzung neuer Technologien. Die Beschäftigungseffekte sind umstritten, vor allem, wenn es um mögliche Arbeitsplatzverluste geht. Zahlreiche Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass „kurzfristig mit Freistellungseffekten durch die neuen Technologien zu rechnen ist“ (vgl. Hirsch-Kreinsen/Wienzek, 2019, 3 f.). Umstritten ist jedoch, ob dieses auch längerfristig der Fall sein wird oder ob durch „neu entstehende Arbeitsplätze kompensiert werden“ (ebd.) wird. Wieder andere Positionen belegen die aktuellen Fachkräfteengpässe und weisen darauf hin, dass neue Technologien auch einen steigenden Fachkräftebedarf für deren Umsetzung und Weiterentwicklung induzieren können (vgl. Stettes, 2020). Dies dürfte beispielsweise auch für den seit etlichen Jahren steigenden Bedarf an Fachkräften, Spezialisten und Experten im IT-Bereich zutreffen.

Aufwändige Projektionen des IAB im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales gehen davon aus, dass selbst bei einer beschleunigten Digitalisierung etwa genauso viele Arbeitsplätze entstehen werden wie wegfallen (Schneemann et al., 2021, 36 ff.). Manche Autoren gehen davon aus, dass in Anbetracht des demografischen Wandels ist eine höhere Automatisierung einzelner Tätigkeiten sogar wünschenswert ist, um das Produktionsniveau zu erhalten (vgl. Burstedde et al., 2021). Dies gilt insbesondere für beruflich qualifizierte Fachkräfte, von denen bis 2040 jeder Vierte

ersatzlos den Arbeitsmarkt verlassen dürfte (vgl. Geis-Thöne, 2021).

Der gleichzeitige Auf- und Abbau von Arbeitsplätzen aufgrund neuer Technologien ist ein ganz normaler Prozess. Dabei sollten jedoch die negativ betroffenen Berufsgruppen, wie etwa bei der derzeit stattfindenden Transformation in der Automobilindustrie, in den Blick genommen werden. Weitgehender Konsens besteht bei einschlägigen Experten, dass auf lange Sicht *„Arbeitsplatzverluste vor allem im Segment geringqualifizierter und standardisierter Tätigkeiten wie in der Produktion und Logistik anfallen werden. Denn solche Tätigkeiten weisen einen strukturierten und regelorientierten Charakter auf und lassen sich daher problemlos in Algorithmen überführen“* (Hirsch-Kreinsen/Wienzek, 2019, 19; vgl. auch Frey/Osborne, 2017).

Dieser Trend wird auch von IAB-Untersuchungen zum Strukturwandel am Arbeitsmarkt bestätigt (vgl. Gartner/Stüber, 2019) und auf den gesamten Arbeitsmarkt ausgeweitet. Die Autoren haben herausgearbeitet, dass seit den 1970er-Jahren *„für Hochqualifizierte mehr Arbeitsplätze entstanden als verschwunden“* (ebd., 1) sind. *„Für Geringqualifizierte dagegen war es umgekehrt. Die technologische Entwicklung war also mit einer überwiegend qualitativen Veränderung des Bedarfs an Arbeitskräften verbunden“* (ebd.). Die durchschnittliche Rate des Arbeitsplatzabbaus lag pro Jahr bei durchschnittlich 9,5 Prozent, der Aufbau demgegenüber bei 9,7 Prozent. Der Auf- und Abbau von Arbeitsplätzen kann durchaus in unterschiedlichen Berufen und Sektoren erfolgen (vgl. ebd.). Technischer Fortschritt führt also nicht per se zu weniger Arbeit, sondern zu einer Umschichtung von Arbeitsplätzen, was eine besondere Herausforderung für die Aus- und Weiterbildung bedeutet, vor allem für die Beschäftigung und Nachqualifizierung von Geringqualifizierten (vgl. Hornberg et al., 2021). Eine weitere These ist, dass sich die *„Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen einerseits und einfachen Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau ... öffnet, während mittlere Qualifikationsgruppen durch Automatisierung und qualifikatorische Entwertung zunehmend an Bedeutung verlieren“* (Hirsch-Kreinsen/Wienzek, 2019, 5). Dem gegenüber steht derzeit ein großer Fachkräftemangel bei Fachkräften auf Ausbildungsniveau, deren Tätigkeit also in der Regel eine abgeschlossene Berufsausbildung voraussetzt (Burstedde et al., 2020, 37 ff.). Quantitativ ist derzeit der Mangel an ausgebildeten Fachkräften mit abgeschlossener Berufsausbildung am größten. Hinzu kommt, dass es beim Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit vor allem auf die berufliche Tätigkeit ankommt. Denn Geringqualifizierte bilden sich signifikant häufiger weiter, wenn sie wenig Einfacharbeit ausüben, im Vergleich zu Geringqualifizierten, die ein hohes Maß von Einfacharbeit ausüben (Seyda et al., 2018, 56). Hinzu kommt, dass die Weiterbildungsbeteiligung von An- und Ungelernten in den vergangenen 20 Jahren anteilig am stärksten von allen Qualifikationsgruppen gestiegen ist (Seyda, 2019, 5 f.). Die Betroffenheit von Automatisierung und die Beschäftigungsentwicklung in der Zukunft sollten demnach eher nach Berufen differenziert diskutiert werden als pauschal anhand von Qualifikationsniveaus (vgl. hierzu Abschnitt 5.2.3).

- **Aufgabenverlagerung:** Die Bewertungen zur Entwicklung der Beschäftigung wurden auch von mehreren der befragten Experten wahrgenommen (vgl. Experte 06, 09, 14, 15, 16). Diese verweisen darauf, dass ehemals komplexe Aufgaben, wie beispielsweise Auftragsverwaltung oder Fehlersuche, durch Modellierung und Formalisierung standardisiert und dadurch in Teiloperationen zerlegt werden können, die von Assistenzsystemen bewältigt werden. Neue und komplexe Tätigkeiten hingegen entstehen dadurch, *„dass ein störungsfreier Einsatz digitaler Technologien zugleich neue Planungs- und Überwachungsarbeiten erfordert, die nur mehr von spezialisierten technischen Experten ausgeführt werden können“* (vgl. Hirsch-Kreinsen/Wienzek, 2019, 5). Es sind allerdings auch für diese Aufgaben nicht allein hochqualifizierte akademisch ausgebildete Fachkräfte tätig, sondern verstärkt Teams aus hochspezialisierten Experten sowie Experten für die Produktion auf

Fachkräfteebene, die diese Aufgaben mit Enterprise-Resource-Planning- und MES-Tools bzw. Schnittstellen übernehmen (vgl. alle Fallstudien).

Eine „Job-Polarisierung“ hin zu einer Verlagerung der Beschäftigung aus den mittleren Qualifikationsgruppen hin zu den beiden extremen Segmenten wird sowohl für Europa als auch die USA zunehmend infrage gestellt (vgl. Autor et al., 2003; Goos et al., 2009). Die heute immer noch häufig angeführte These mit Anlehnung an Frey/Osborne (2017) ist, dass die Informationstechnologien vor allem Routinetätigkeiten ersetzen. Dies beinhaltet sowohl repetitive manuelle Tätigkeiten, aber auch analytische Routinetätigkeiten, die vor allem im mittleren Lohnsegment angesiedelt sind. Diese These als „routine-basierter technologischer Wandel“ basiert auf der Basis zahlreicher Studien, die versuchen, Routinetätigkeiten zu messen, um Entwicklungen zu prognostizieren.

Gegen diese Betrachtungsweise ist kritisch einzuwenden, dass vor allem Einzeltätigkeiten isoliert von den gesamten Aufgaben, die einen Beruf ausmachen, betrachtet werden. Berufe im Gesamten oder Berufsgruppen sind – wenn überhaupt – nur in Teilen durch die Digitalisierung gefährdet. Diese Position wird durch die Fallstudien dieser Studie bestätigt, die verdeutlichen, dass die Digitalisierungsprozesse in den Unternehmen mit einem sehr spezifischen, auf das jeweilige Unternehmen und dessen Abteilungen ausgerichteten Implementierungsprozess vorstattengehen und meist sehr individuell gestaltet werden. Substitutionsprozesse, die alleine von Technologien vorangetrieben werden, unabhängig von anderen Parametern, sind nicht erkennbar (vgl. Spöttl/Windelband, 2021).

4.2 Digitalisierung in den Handlungsfeldern der Betriebe

Wie in der Berufsbildung auf die dargelegten Veränderungsprozesse reagiert wird und werden soll, wird nachstehend am Beispiel ausgewählter Studien und Strategiepapiere näher betrachtet. Dazu werden verschiedene Studien von VDI/VDE, VDMA, acatech und anderen ausgewertet. Zusätzlich sind Ergebnisse der Enquete-Kommission „Berufliche Bildung in der digitalen Arbeitswelt“ (2021), die Denkschrift von Euler/Severing (2020), das EFI-Gutachten (2021) zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands sowie aktuelle BIBB-Studien (Kaufmann et al., 2021; Zinke, 2019) einbezogen worden.

Werden Veränderungen in der Arbeitswelt diskutiert, dann steht heute dafür der Begriff „Digitale Transformation“ im Mittelpunkt (vgl. Herzog 2019, 19). Dieser Begriff beschreibt die Veränderungen aufgrund der Einführung digitaler Technologien. Um welche Veränderungen es sich dabei jeweils handelt, ist von Fall zu Fall zu klären. Die digitale Transformation ist aus der Sicht eines jeden Unternehmens etwas anderes. Es kann die Einführung digitaler Kommunikation bedeuten, aber auch die Einführung automatisierter Entscheidungsverfahren, die Verbreitung von automatisierten Maschinen, die Automatisierung von Fertigungsanlagen oder Prüfverfahren oder auch die digitale Fabrik. Was aktuell zur Durchdringung der Unternehmen mit digitalen Technologien diskutiert wird, wird nachstehend erläutert.

Der Verein Deutscher Ingenieure/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDI/VDE)-Fachbereich „Digitale Transformation“ beschäftigt sich insbesondere mit Ansätzen für eine Standardisierung, damit Unternehmen auf der Basis einheitlicher Prozesse und Produktspezifikationen vorgehen können. Er listet dazu folgende Kernthemen auf (vgl. VDI/VDE, 2021)²:

² Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik hat in den letzten beiden Jahren zur digitalen Transformation allein 15 Richtlinien herausgegeben.

- Leittechnik in Kernkraftwerken,
- Leittechnik in konventionellen Kraftwerken,
- Regelung von Synchronmaschinen und Transformatoren,
- Netzregelung und Systemführung,
- Cyber-Physical-Systems,
- Industrie 4.0,
- Arbeitswelt Industrie 4.0,
- Geschäftsmodelle mit Industrie 4.0,
- Testen vernetzter Systeme für Industrie 4.0,
- Steuerung und Regelung von Kfz und Verbrennungsmotoren (AUTOREG),
- automatisierungstechnische Systeme für die Medizin.

Bereits die Hälfte der Kernthemen und die überwiegende Zahl der resultierenden VDI/VDE-Initiativen und -Richtlinien weisen hinsichtlich der Beschreibung von Veränderungen in den Unternehmen einen Zusammenhang mit der digitalen Transformation durch Automatisierung auf. Wie am Beispiel der Mess- und Automatisierungstechnik gezeigt werden kann, verweist die Entwicklung auf die Bedeutung der **Digitalisierung und Automatisierung für die Vernetzung von Aufgaben** als ein, oder sogar als das bedeutendste Handlungsfeld für die M+E-Industrie. War im Industrie-3.0-Zeitalter die Automatisierung noch eher auf einzelne Technologiefelder ausgerichtet (Fertigungsautomatisierung durch CNC, Automatisierung der Steuerungstechnik durch SPS, Montageautomatisierung durch Robotik usw.), so überwiegt nun die **Automatisierungstechnik zur Verknüpfung der einzelnen Handlungsbereiche** in den Unternehmen.

Das Netzwerk „Plattform Industrie 4.0“³ beschreibt den Kern der aktuellen Digitalisierungsdebatte im Kontext von Industrie 4.0 als die Herausforderung, Menschen, Maschinen und Produkte miteinander mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie zu vernetzen und benennt als Zielsetzungen

- die flexible Produktion,
- die wandelbare Fabrik,
- kundenzentrierte Lösungen,
- optimierte Logistik,
- Einsatz von Daten,
- ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft.

Im Versuch der inhaltlichen Schärfung und Konkretisierung der digitalen Transformation stößt man unweigerlich auf unendlich viele Entwicklungsrichtungen, die darauf im Hinblick auf den Menschen, die Arbeit, die Technologien und Organisationen sowie schließlich mit Blick auf Qualifikationen und Ausbildung eingeschlagen werden können. Die Frage hinsichtlich des Zusammenhangs dieser Entwicklungen und des Einflusses der Digitalisierung selbst ist nur dann befriedigend zu beantworten, wenn die Wirkung der Digitalisierung im Sinne von Industrie 4.0 dabei identifiziert werden kann, denn die Computerisierung und Einflüsse der Informations- und Medientechnik etwa sind eher „alte“ und mit der Epoche „3.0“ verbundene Entwicklungen. Eine zunehmende Bedeutung für die vorliegende Untersuchung nehmen hier **Reifegradmodelle** und Modelle zur Kennzeichnung der Ausprägung der Relevanz der Digitalisierung für die Facharbeit und die Berufsausbildung ein. Daraus lassen sich erste Hinweise für die Anforderungen an eine Kompetenzentwicklung ablesen.

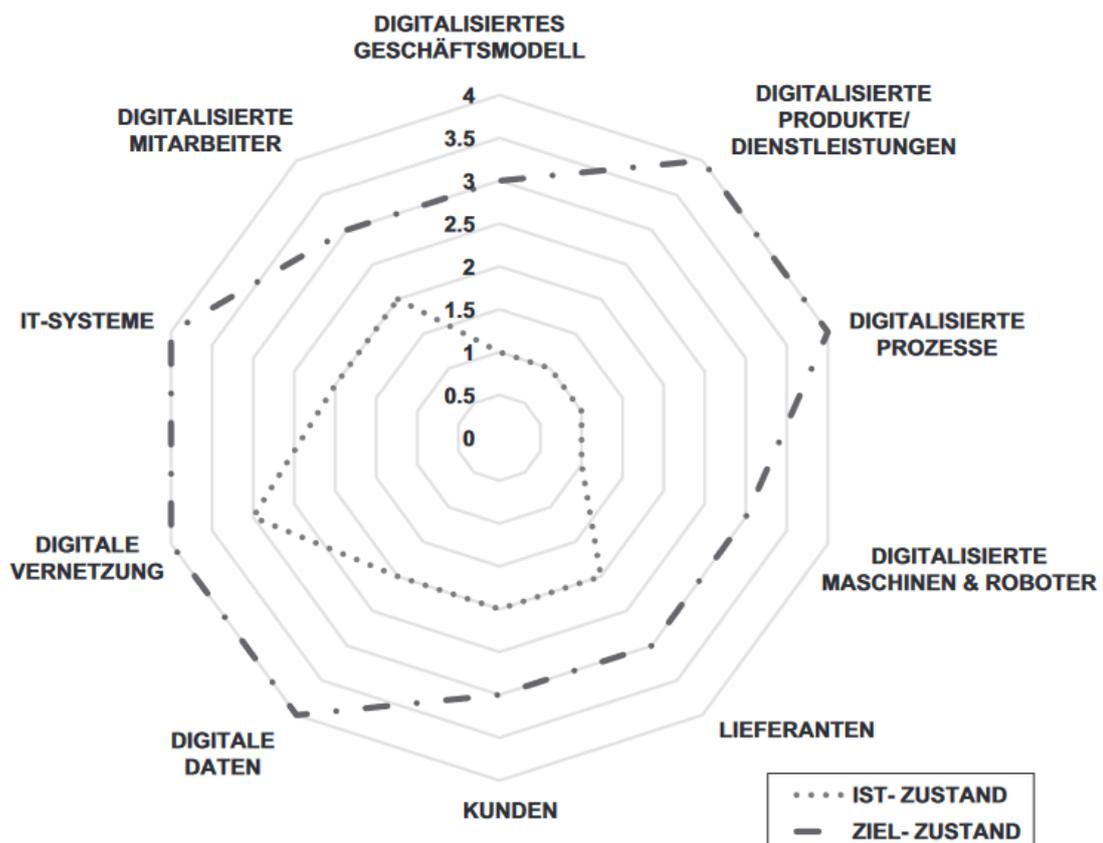
³ vgl. <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>

Eines der Reifegradmodelle setzt auf der Ebene der Unternehmen an und fragt danach, welche Elemente ein digitalisiertes Unternehmen ausmachen (vgl. Appelfeller/Feldmann, 2018, 13 ff., Abbildung 3). Die Ausprägung der Faktoren digitalisierter

- Maschinen und Roboter,
- Mitarbeiter,
- Produkte und Dienstleistungen,
- IT-Systeme,
- Vernetzung,
- Daten,
- Lieferanten und Kunden sowie
- Prozesse

bilden ein Referenzmodell, um so auch den Grad der digitalen Transformation zu messen.

Abbildung 3: Elemente eines digitalisierten Unternehmens



Quelle: Appelfeller/Feldmann, 2018, 15

Um die industrielle Produktion und den gewerblich-technischen Bereich beruflichen Handelns genauer in den Blick zu nehmen, muss die Perspektive von der Ebene des Unternehmens bis auf die Ebene des konkreten beruflichen Handelns auf Shopfloor-Ebene heruntergebrochen werden. Dies wird im Folgenden schrittweise konkretisiert und mit Einschätzungen der befragten Experten zu Technologien und zu

beruflichen Handlungsfeldern Industrie 4.0 untermauert. Dabei sollen zentrale Erkenntnisse zur Bedeutung der Digitalisierung aus der Literaturanalyse mit einfließen.

Ansätze zur Realisierung von Industrie 4.0 wurden vom Arbeitskreis Industrie 4.0 der acatech – der deutschen Akademie der Technikwissenschaften – bereits im April 2013 entwickelt und mit konkreten Umsetzungsempfehlungen in Hinblick auf folgende Handlungsfelder versehen (vgl. acatech, 2013a):

- Sicherheit als erfolgskritischer Faktor,
- rechtliche Rahmenbedingungen,
- Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung im digitalen Industriezeitalter,
- Normung, Standardisierung und offene Standards für eine Referenzarchitektur,
- Beherrschung komplexer Systeme,
- flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie,
- Aus- und Weiterbildung,
- Ressourceneffizienz,
- neue Geschäftsmodelle.

Für das genannte Handlungsfeld der Aus- und Weiterbildung wurden zunächst relevante Themen für die Ingenieurausbildung, wie die Modellierung und das Systems Engineering, identifiziert (ebd., 49). Schon damals wurde für die Aus- und Weiterbildung festgehalten, dass *„durch das Zusammenwachsen von IKT, Produktions- und Automatisierungstechnik und Software mehr Arbeitsaufgaben in einem technologisch, organisatorisch und sozial sehr breit gefasste[n] Handlungsfeld zu bewältigen sein“* (ebd., 59) werden. Auch wenn der Fokus durch die acatech auf die akademische Ausbildung gelegt wurde, ist bereits in diesem frühen Stadium der digitalen Transformation die Notwendigkeit einer **„veränderte[n] Ausbildungssystematik“** (ebd., 62, Hervorhebung durch die Verfasser) erkannt worden. Diese Notwendigkeit wird gekennzeichnet durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Betrieb sowohl in der vertikalen Hierarchie zwischen Facharbeitern, Meistern, Technikern und Ingenieuren als auch in der horizontalen Breite zwischen den verschiedenen Disziplinen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informationstechnik bis hin zu einer Zunahme an Schnittstellen zu den kaufmännischen Bereichen (vgl. Abschnitt 5.2.1).

Zur Kennzeichnung des Digitalisierungsgrades in der Produktion hat der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) einen Leitfaden für Unternehmen erarbeitet, der Merkmale der Digitalisierung in den beiden Bereichen „Produkte“ und „Produktion“ definiert und skaliert (vgl. VDMA, 2015, Abbildung 4). In den betrachteten Unternehmen und aus den Expertengesprächen sind zu nahezu allen Merkmalen Aussagen getroffen worden oder Beschreibungen verfügbar, die aber – und das ist die zentrale Erkenntnis – keine eindeutige Zuordnung zu einer Merkmalsausprägung zulassen. Es ist eher erkennbar, dass beispielsweise konventionelle Produktionsanlagen und Maschinen ohne Internetkonnektivität und solche mit voller Konnektivität in einem Arbeitsumfeld angetroffen werden. Genau diese Konstellationen einer Facharbeit in gewachsenen Strukturen prägen die Qualifikationsanforderungen (vgl. Becker et al., 2021).

Abbildung 4: Relevante Industrie 4.0-Themen aus Sicht des VDMA und Merkmale zur Identifikation des Digitalisierungsgrades

| Werkzeugkasten Industrie 4.0 | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|
| | | | | | Industrie 4.0 |
| Produkte | | | | | |
| Integration von Sensoren / Aktoren | | | | | |
| | Keine Nutzung von Sensoren/Aktoren | Sensoren/Aktoren sind eingebunden | Sensordaten werden vom Produkt verarbeitet | Daten werden vom Produkt für Analysen ausgewertet | Das Produkt reagiert auf Basis der gewonnenen Daten eigenständig |
| Kommunikation / Connectivity | | | | | |
| | Keine Schnittstellen am Produkt | Das Produkt sendet bzw. empfängt I/O-Signale | Das Produkt verfügt über Feldbus-Schnittstellen | Das Produkt verfügt über Industrial Ethernet-Schnittstellen | Das Produkt verfügt über Zugang zum Internet |
| Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch | | | | | |
| | Keine Funktionalitäten | Möglichkeit zur eindeutigen Identifikation | Produkt verfügt über passiven Datenspeicher | Produkt mit Datenspeicher zum autonomen Informationsaustausch | Daten- und Informationsaustausch als integrierter Bestandteil |
| Monitoring | | | | | |
| | Kein Monitoring durch das Produkt | Detektion von Ausfällen | Erfassung des Betriebszustands zur Diagnose | Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit | Selbstständige Maßnahmen zur Steuerung |
| Produktbezogene IT-Services | | | | | |
| | Keine Services | Services über Online-Portale | Service-Ausführung direkt über Produkt | Selbstständige Ausführung von Services | Vollständige Eingliederung in IT-Service-Infrastruktur |
| Geschäftsmodelle um das Produkt | | | | | |
| | Gewinne durch Verkauf der Standardprodukte | Verkauf und Beratung zum Produkt | Verkauf, Beratung und Anpassung des Produktes an Kundenwünsche | Zusätzlicher Verkauf produktbezogener Dienstleistungen | Verkauf von Produktfunktionen |

| Werkzeugkasten Industrie 4.0 | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|
| | | | | | Industrie 4.0 |
| Produktion | | | | | |
| Datenverarbeitung in der Produktion | | | | | |
| | Keine Verarbeitung von Daten | Speicherung von Daten zur Dokumentations | Auswertung von Daten zur Prozessüberwachung | Auswertung zur Prozessplanung /-steuerung | Automatische Prozessplanung /-steuerung |
| Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) | | | | | |
| | Keine Kommunikation | Feldbus-Schnittstellen | Industrial Ethernet-Schnittstellen | Maschinen verfügen über Zugang zum Internet | Webdienste (M2M-Software) |
| Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion | | | | | |
| | Keine Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen | Informationsaustausch über Mail / Telekommunikation | Einheitliche Datenformate und Regeln zum Datenaustausch | Einheitliche Datenformate und Abteilungsübergreifend vernetzte Datenserver | Abteilungsübergreifende, vollständig vernetzte IT-Lösungen |
| IKT-Infrastruktur in der Produktion | | | | | |
| | Informationsaustausch über Mail/ Telekommunikation | Zentrale Datenserver in der Produktion | Internetbasierte Portale mit gemeinsamer Datennutzung | Automatisierter Informationsaustausch (z.B. Auftragsnachverfolgung) | Zulieferer / Kunden sind vollständig in Prozessgestaltung integriert |
| Mensch-Maschine-Schnittstellen | | | | | |
| | Kein Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine | Einsatz lokaler Anzeigeräte | Zentrale / dezentrale Produktionsüberwachungs-steuerung | Einsatz mobiler Anzeigeräte | Erweiterte und assistierte Realität |
| Effizienz bei kleinen Losgrößen | | | | | |
| | Starre Produktionsmittel und geringer Anteil von Gleichteilen | Nutzung von flexiblen Produktionsmitteln und Gleichteilen | Flexible Produktionsmittel und modulare Baukästen für die Produkte | Baugliedenebene, flexible Produktion modularer Produkte im Unternehmen | Baugliedenebene, modulare Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken |

Quelle: VDMA, 2015, 9

Die Veränderungen in der Arbeitswelt sind dadurch gekennzeichnet, dass durch die Automatisierung vor allem einfache Tätigkeiten in der Produktion zunehmend ersetzt werden und auch stärker kognitiv fordernde Aufgabenstellungen nicht mehr vor Auswirkungen der Digitalisierung gefeit sind (vgl. Fall 01 und Fall 04). Für die Auswirkungen auf die Beschäftigung wird auf die Studien des IAB (u. a. Dengler/Matthes, 2021) verwiesen (siehe im Kapitel weiter oben). Zur Prognose qualifikatorischer Veränderungen kommen Pfeiffer et al. (2016) und das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) mit einem Branchen- und Berufescreening (Zinke, 2019) zu ähnlichen Erkenntnissen. In der vorliegenden Studie werden dagegen die qualifikatorischen Veränderungen für Berufsinhaber der M+E-Industrie im Nachfolgekapiel im Detail diskutiert und zuvor der Wandel in der Ausbildung durch die Digitalisierung dargelegt.

4.3 Digitaler Wandel in der Ausbildung

Die berufliche Erstausbildung ist durch die Digitalisierung in der M+E-Industrie massiv herausgefordert. Um zukünftig erfolgreich ausbilden zu können, sind Antworten zu der Frage nötig, wie sich Arbeitsplätze verändern, welche Folgen dieses für die Beschäftigten hat und wie ausgehend von diesen Erkenntnissen Berufsprofile für die Ausbildung ausgewählt werden und die Ausbildung der Fachkräfte selbst zukünftig gestaltet werden muss. Dieser Fragenkomplex steht in diesem Abschnitt im Mittelpunkt.

Fokus dieser Analysen ist die Teilnovellierung, die von den Sozialpartnern als „agiles Verfahren“ umgesetzt wurde. Dieser Impuls wurde von zahlreichen Branchen aufmerksam betrachtet und ist im Hinblick auf seine inhaltlichen und strukturellen Impulse sowie die Geschwindigkeit seiner Umsetzung in zahlreiche aktuelle wissenschaftliche und politische Überlegungen eingeflossen. So wird in verschiedenen Studien zunehmende Geschwindigkeit bei der Veränderung von Kompetenzanforderungen durch die Digitalisierung thematisiert und eine Erhöhung der Flexibilität in der Ausbildung eingefordert – insbesondere durch die Verwendung von Wahlmodulen und optionalen Qualifikationselementen:

„Um sowohl die berufliche Anpassungsfähigkeit als auch die Basis für differenziertere Fachkarrieren zu stärken, sollte das Angebot an Wahlmodulen und Zusatzqualifikationen während der Berufsausbildung weiter ausgebaut werden und möglichst überall verfügbar sein. Die Aufnahme von optionalen, kodifizierten Zusatzqualifikationen in die Ausbildungsordnungen sollte verstärkt werden“ (EFI, 2021, 65 f.).

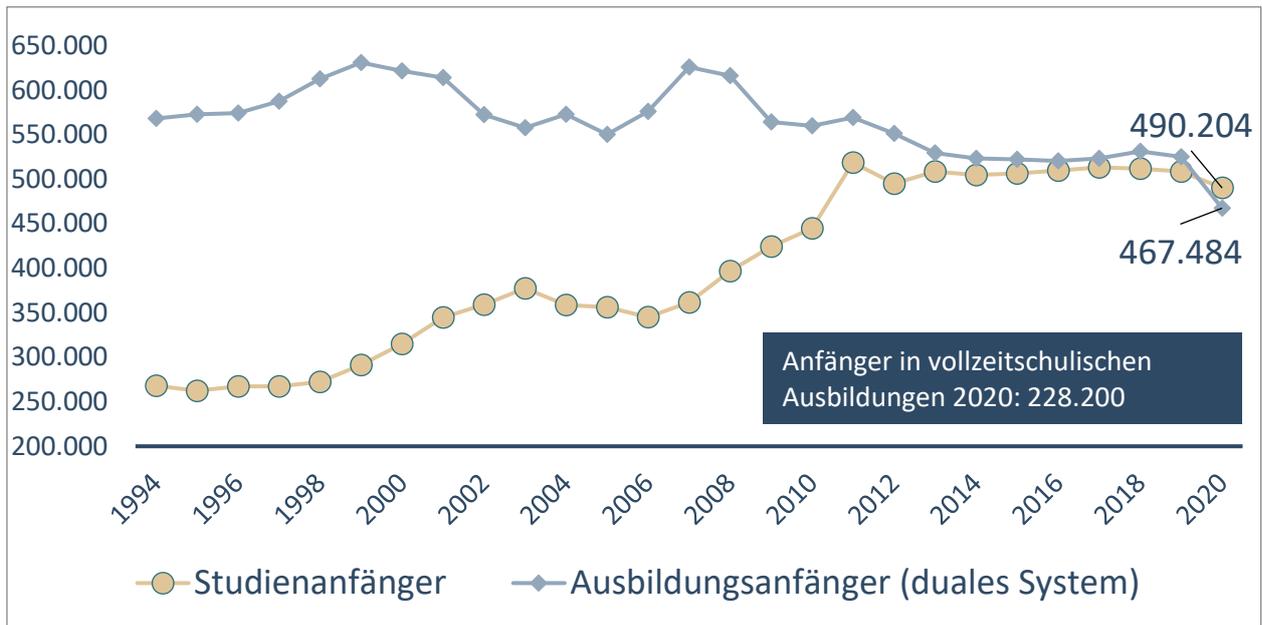
Die Digitalisierung soll dabei *„intensiver in die Ausbildung integriert werden, etwa durch die Schaffung weiterer Zusatz- und Wahlqualifikationen“* (Enquete-Kommission, 2021, 208). Euler und Severing sehen eine Herausforderung für die Ordnungsarbeit im ungleichen Auftreten und der unterschiedlichen Tiefe der Kompetenzanforderungen in einem Beruf. *„Dabei agiert die Berufsbildung auf schwankendem Grund: Viele der neuen Entwicklungen in den Berufsfeldern könnten von kurzer Dauer sein, sodass zu entscheiden ist, wie sie in der Ordnungsarbeit aufgenommen werden können“* (ebd., 19). Sie stellen fest, dass die gewohnte Ordnungsarbeit durch die Schnelllebigkeit der Digitalisierung an ihre Grenzen stößt und fordern eine Diskussion über die Ordnungsarbeit *„in Zeiten innovationsrasanter Entwicklungen“* (ebd., 20). Die Enquete-Kommission stellt das Konsensmodell und die bisherigen Verfahren der Ordnungsarbeit dabei nicht in Frage: *„Die Akteure sollten darauf achten, dass trotz der Geschwindigkeit der digitalen Transformation die Umsetzung und – bei Bedarf – Anpassung der betrieblichen Aus- und Fortbildungsordnungen (Curricula) in allen Branchen auch künftig funktionieren“* (ebd., 208). Die Ausbildungsgestaltung in den untersuchten Betrieben wird in Kapitel 6 ausführlich dargestellt.

4.3.1 Entwicklungen in den M+E-Ausbildungsberufen

Durch die veränderten Qualifikationsanforderungen beeinflusst haben die Unternehmen der M+E-Industrie Ausbildungsstrukturen modifiziert und neue Schwerpunkte innerhalb der ausgebildeten Berufe gesetzt. Dieser evolutionäre Veränderungsprozess ist zugleich von zahlreichen weiteren Einflüssen überlagert, wie etwa durch den demografischen Wandel, den Trend hin zur Akademisierung, den Wandel der Ausbildungsmotivation der Jugendlichen durch die aufkommende Generation C oder Alpha, die mit Digitalisierung in allen Lebensbereichen als Selbstverständlichkeit aufwächst (vgl. Shell, 2019; Maas, 2021), bis hin zu den aktuellen Auswirkungen der Corona-Pandemie, wonach viele Jugendliche ihre Schulzeit verlängern oder ein vermeintlich zukunftssichereres Studium wählen.

Die Trendentwicklung hin zur Akademisierung schlägt sich in erster Linie durch eine Zunahme der Studienanfänger und durch eine Abnahme der Auszubildenden im dualen System nieder. Waren im Zeitalter vor „Industrie 4.0“ – also vor der Hannover-Messe 2011 – im Jahr 2010 noch rund 560.000 neue Auszubildende im dualen System und „nur“ 445.000 Studienanfänger zu verzeichnen, so stehen im Jahr 2020 den knapp 468.000 neuen Auszubildenden im dualen System gut 490.000 Studienanfänger an den Hochschulen gegenüber (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Ausbildungs- und Studienanfänger im Vergleich



Quellen: Statistisches Bundesamt, 2021; Berufsbildungsbericht, 2021

Allein im Jahr 2020 ist die Anzahl der neuen Ausbildungsverträge gegenüber dem Vorjahr um 9,4 Prozent gesunken, allerdings ist auch die Zahl der Studienanfänger im gleichen Zeitraum um 4 Prozent zurückgegangen, wobei der Einbruch in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern mit 10 Prozent im Maschinenbau und 14 Prozent im Bereich Elektrotechnik und Informatik höher ausfällt⁴. Die insgesamt rückläufige Zahl an Ausbildungsanfängern hat auch Auswirkungen auf die Ausbildung in M+E-Berufen, da hierdurch insgesamt ein deutlich geringeres und strukturell verändertes Bewerberpotenzial bereitsteht als noch vor zehn oder zwanzig Jahren.

Im Folgenden wird ein Fokus auf das veränderte Ausbildungsgeschehen in der M+E-Industrie gelegt, welches sich aus den Fallstudien heraus im Zusammenhang mit den darstellbaren Veränderungen der Ausbildungszahlen beschreiben lässt.

Unter den Top 20 der am häufigsten gewählten Ausbildungsberufe sind im Jahr 2020 mit 15.126 neuen Fachinformatiker/-innen, 10.689 Industriemechaniker/-innen, 7.653 Mechatroniker/-innen und 6.327 Elektroniker/-innen für Betriebstechnik die vier ebenso am häufigsten in den Fallstudien angetroffenen Berufe zu finden. Von besonderem Interesse sind bei Fachinformatiker/-innen die beiden neuen Fachrichtungen „Digitale Vernetzung“ (2020: 51; 2021: 192 neue Ausbildungsverträge) sowie „Daten- und Prozessanalyse“ (2020: 72; 2021: 270 neue Ausbildungsverträge), die beide auch in den Fallstudienunternehmen als neue Ausbildungsprofile identifiziert wurden. Dies ist angesichts der noch geringen Zahl der Ausbildungsverträge in diesen Fachrichtungen bemerkenswert, werden doch bereits in einem spezifischen Fallstudienunternehmen allein bereits ein sehr großer Anteil dieser Ausbildungsverträge in der Fachrichtung „Digitale Vernetzung“ ausgestellt.

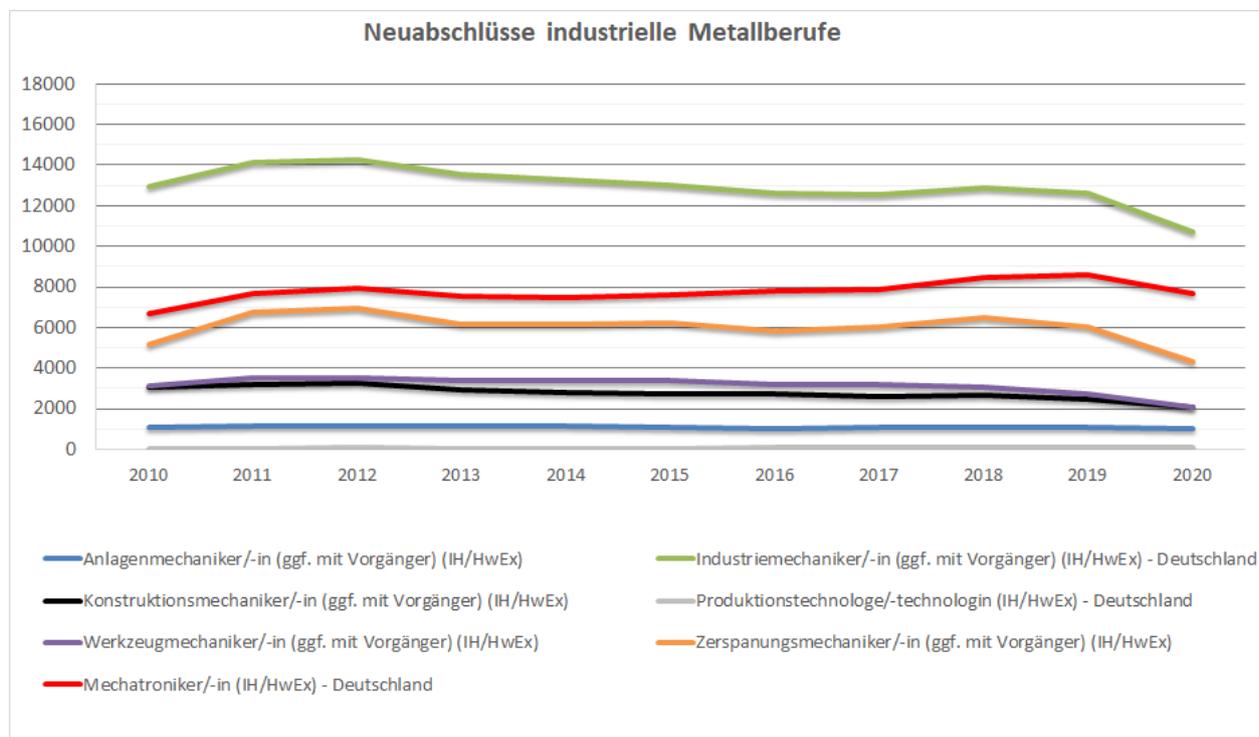
Der negative Trend bei den Neuabschlüssen im dualen System mit minus 20 Prozent im Zeitraum 2010 bis 2020 fällt im Schnitt für die industriellen M+E-Berufe mit -7,9 Prozent nicht so stark aus im Vergleich

⁴ vgl. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/12/PD20_497_213.html

zu allen Ausbildungsberufen. Besonders hervorzuheben sind die Fachinformatiker/-innen und Mechatroniker/-innen sowie die Elektroniker/-in für Betriebstechnik und für Automatisierungstechnik, für die sogar ein gegenläufiger positiver Trend auszumachen ist (vgl. Tabelle 3). Alle vier Ausbildungsberufe sind in den letzten Jahren mit einem starken prozentualen Zuwachs deutlich häufiger gewählt worden. Für die Darstellung der Schwerpunktsetzungen der Unternehmen in der Ausbildung spielen neben den prozentualen Veränderungen bei den Neuabschlüssen auch die resultierenden absoluten Zahlen einerseits und die Entwicklungen im Bereich des dualen Studiums eine große Rolle. So fällt etwa der Zuwachs an Neuabschlüssen bei Produktionstechnologen/-innen mit 125 Prozent relativ gesehen hoch aus. Angesichts des absoluten Zuwachses mit 60 neuen Ausbildungsverträgen mehr und 258 Auszubildenden im Jahr 2020 insgesamt, ist der Anteil immer noch sehr niedrig. Bei Mechatroniker/-innen und Fachinformatiker/-innen bedeutet der prozentuale Zuwachs dagegen eine Zunahme an Ausbildungsverträgen um das 15- oder gar 100-Fache im Vergleich zu Produktionstechnolog/-innen.

In den industriellen M+E-Berufen hat sich in den letzten zehn Jahren zudem ein starker struktureller Wandel vollzogen: Während in den metalltechnischen Ausbildungsberufen ein deutlicher Rückgang zu erkennen ist: Industriemechaniker/-in -17,3 Prozent, Werkzeugmechaniker/-in -34,1 Prozent, Zerspanungsmechaniker/-in -17,1 Prozent (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), findet sich ein Zuwachs beim Mechatroniker/-in mit +14,2 Prozent (vgl. Abbildung 8) sowie bei einigen elektrotechnischen Berufen wie Elektroniker/-in für Betriebstechnik +14,6 Prozent; Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik +34 Prozent und Fachinformatiker/-in +73,3 Prozent (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) statt.

Abbildung 6: Neue Ausbildungsverträge in ausgewählten industriellen Metallberufen



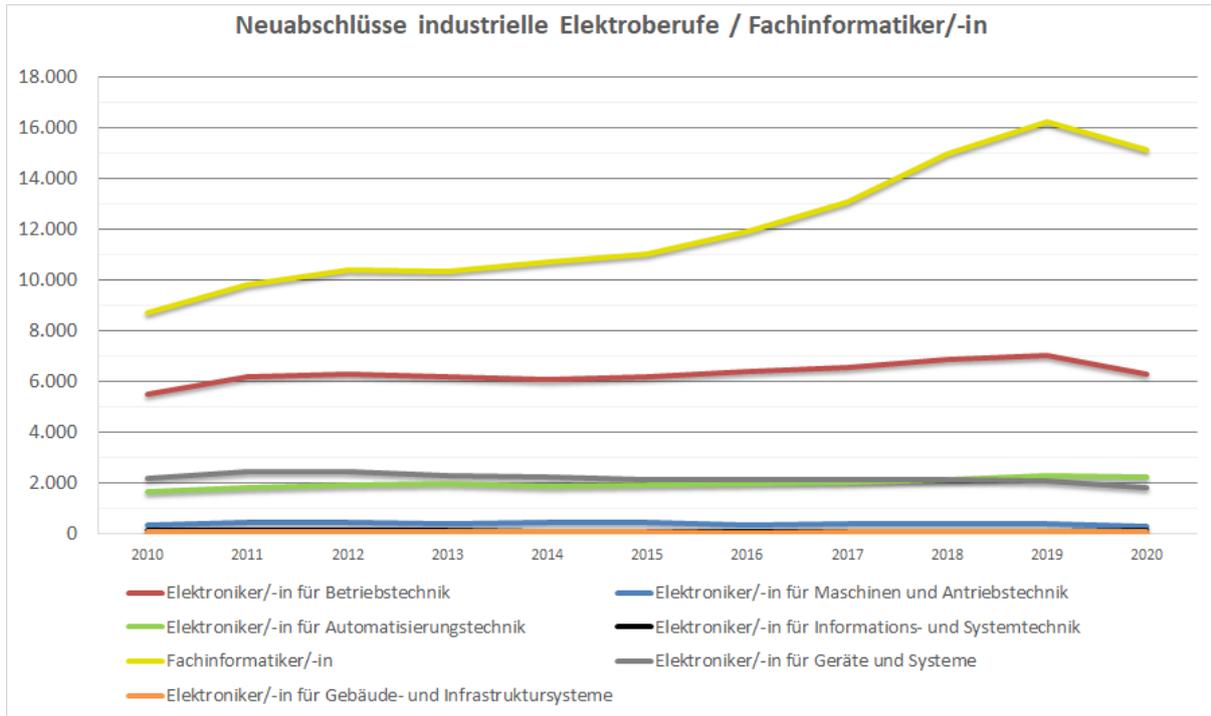
Quelle: eigene Darstellung; Datenquelle: BIBB/Dazubi

Tabelle 3: Entwicklung der Neuabschlüsse in ausgewählten industriellen M+E-Berufen sowie IT-Berufen

| Beruf | Entwicklung der Neuabschlüsse im Zeitraum 2010-2020 | | Neuabschlüsse in 2020 |
|--|---|---------------------|-----------------------|
| | in Prozent | in absoluten Zahlen | in absoluten Zahlen |
| Anlagenmechaniker/-in | -6,9 | -75 | 1.008 |
| Industriemechaniker/-in | -17,3 | -2.229 | 10.689 |
| Konstruktionsmechaniker/-in | -32,6 | -987 | 2.043 |
| Werkzeugmechaniker/-in | -34,1 | -1.056 | 2.043 |
| Zerspanungsmechaniker/-in | -17,1 | -885 | 4.290 |
| Produktionstechnologe/-in | +125 | +60 | 108 |
| Mechatroniker/-in | +14,2 | +954 | 7.653 |
| IT-Systemelektroniker/-innen | -24,8 | -471 | 1.425 |
| Fachinformatiker/-in (alle Fachrichtungen) | +73,3 | +6.396 | 15.126 |
| Fachinformatiker/-in FR Daten- und Prozessanalyse (ab 2020) | - | +81 | 81 |
| Fachinformatiker/-in FR Digitale Vernetzung (ab 2020) | - | +51 | 51 |
| Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik | +34,0 | +462 | 2.283 |
| Elektroniker/-in für Betriebstechnik | +14,6 | +804 | 6.327 |
| Elektroniker/-in für Geräte und Systeme | -18,6 | -414 | 1.815 |
| Elektroniker/-in für Maschinen- und Antriebstechnik | -20,8 | -81 | 309 |
| Elektroniker/-in für Informations- und Systemtechnik | +1,9 | +3 | 162 |
| Elektroniker/-in für Gebäude- und Infrastruktursysteme | -5,7 | -6 | 99 |
| Alle Neuabschlüsse in den M+E-Berufen und Mechatroniker/-in (ohne IT-Berufe) | -7,9 | -3.333 | 38.829 |
| Alle Neuabschlüsse in den dargestellten industriellen M+E-Berufen und IT-Berufen | +4,7 | +2.478 | 55.266 |
| Alle Neuabschlüsse im IHK-Bereich | -20,0 | -65.412 | 261.819 |

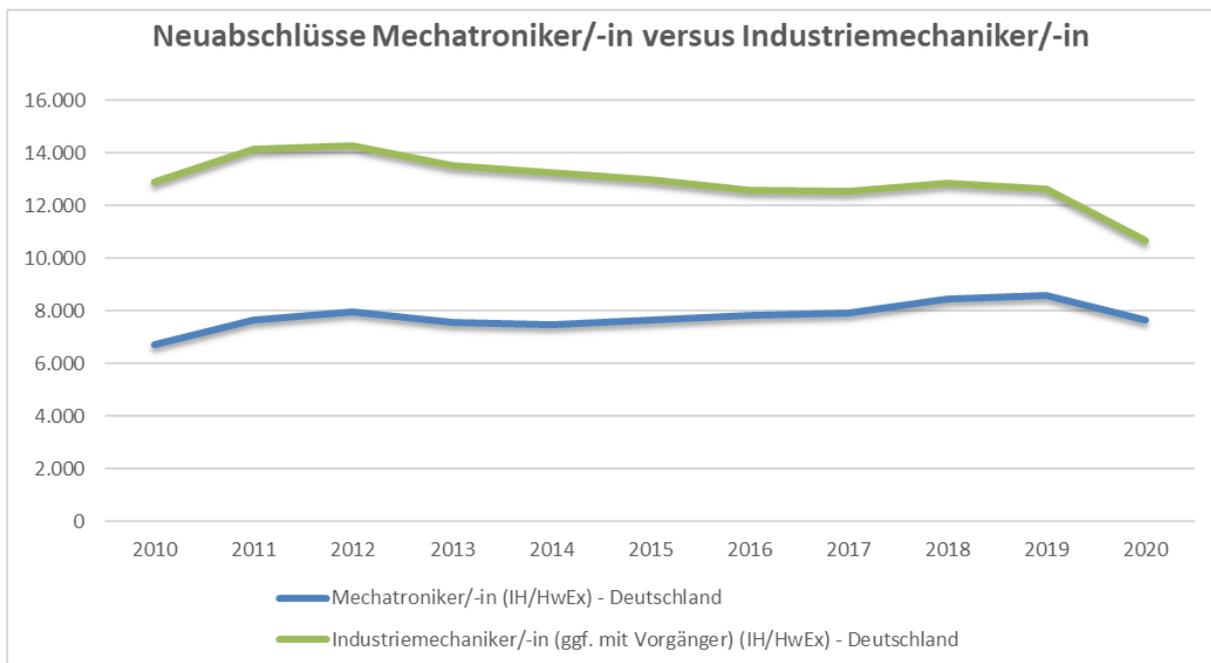
Quelle: eigene Darstellung; Datenquelle: BIBB

Abbildung 7: Neue Ausbildungsverträge in ausgewählten industriellen Elektroberufen und Fachinformatiker/-innen



Quelle: eigene Darstellung; Datenquelle: BIBB/Dazubi

Abbildung 8: Vergleich der Neuabschlüsse in den beiden „Instandhaltungsberufen“ Mechatroniker/-innen und Industriemechaniker/-innen



Quelle: eigene Darstellung; Datenquelle: BIBB/Dazubi

Dies spiegelt sich genauso in den Fallstudien wider; in mehreren Unternehmen wurden die Ausbildungszahlen von Industriemechanikern/-innen und Zerspanungsmechanikern/-innen reduziert. Dagegen war

ein Anwachsen des/der Mechatroniker/-in und/oder der Elektroniker/-innen (EBT oder EAT) feststellbar. Dazu ausgewählte Beispiele aus den Fallstudien:

- Fall 01: ab dem Ausbildungsjahr 2021 werden erstmals Mechatroniker/-innen ausgebildet,
- Fall 08: Zerspanungsmechaniker/-innen wurden von zwölf auf zwei reduziert und die Ausbildung von Industriemechanikern/-innen wurde zugunsten von Mechatroniker/-innen eingestellt,
- Fall 11: aktuelle Planung: zukünftig werden vor allem Mechatroniker/-innen ausgebildet und weniger Industriemechaniker/-innen,
- Fall 12: Seit 2000 werden keine Industriemechaniker/-innen mehr ausgebildet, dafür jedoch Mechatroniker/-innen. Ab 2021 wird zusätzlich im Berufsbild Fachinformatiker/-in in der Fachrichtung „Digitale Vernetzung“ ausgebildet,
- Fall 14: Im Ausbildungsjahr 2021 keine Ausbildung von Industriemechanikern/-innen.

In allen Fallstudien kam die zunehmende Bedeutung der Elektrotechnik und Informationstechnik für die Arbeit in der M+E-Industrie zum Ausdruck. Dabei wird betont, dass Ausbildungsberufe bevorzugt gewählt werden, in denen diese Domänen eine „produktionsnahe“ Bedeutung haben. Damit ist gemeint, dass die Unternehmen gerade nicht für die Digitalisierung auf eine zunehmende Ausbildung in den Elektroberufen oder gar informationstechnischen Berufen setzen, was auch die Entwicklung der elektrotechnischen Berufe in den letzten zehn Jahren zeigt (vgl. Abbildung 7). Es werden diejenigen Elektroniker-Berufe gewählt, die mit engem Bezug zum Produktionsgeschehen ausgebildet und später beschäftigt werden können, insbesondere Elektroniker/-innen für Betriebstechnik (EBT) und auch Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik (EAT) – letztere allerdings mit einem geringeren Anstieg als angesichts der Digitalisierungsentwicklungen ursprünglich zu erwarten war. Vielmehr überwog in den Fallstudien die Tendenz, notwendige elektrotechnische und informationstechnische Inhalte in bestehende Berufe einzubauen – insbesondere die Elektrofachkraft (EFK) beziehungsweise die Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten. Die EFK als Ausbildungselement wurde in den letzten fünf Jahren unter anderem entweder unternehmensintern oder in Zusammenarbeit mit Industrie- und Handelskammern als Zusatzqualifikation im Hinblick auf die Zertifizierung angeboten. Besonders öffentlichkeitswirksam war die Initiative eines Automobilherstellers, bei dem im Jahr 2018 erstmals Fachinformatiker/-innen in der Fachrichtung Systemintegration mit der Zusatzqualifikation EFK ihren Abschluss gemacht haben (vgl. Fall 12).

Den Charakter der Integration elektrotechnischer und informationstechnischer Inhalte in die bestehenden Ausbildungsberufe macht ein anderes Beispiel noch viel deutlicher. In einem Fall (06) wurde eine komplexe Schweißrobotik-Anwendung in der Produktion implementiert. Eine Hauptanforderung an die Anwendung war, dass Konstruktionsmechaniker/-innen in der Lage sein müssen, die komplexe Anlage zu betreiben, um einwandfreie Produktionsergebnisse zu erzielen. An dieser Vorgabe ausgerichtet wurde sogar die Schweißanlage und insbesondere die hierfür erforderliche Software ausgewählt. Eine Umorientierung auf elektrotechnische oder informationstechnische Berufe fand hingegen nicht statt.

„Die Software muss so sein, dass Werker diese handhaben können; der Schweißprozess muss unterstützt werden, das Know-how für das Schweißen muss dort abgebildet sein“ (Meister, Fall 06).

Solche Beispiele stützen die These, dass für die M+E-Berufe ein neuer Trend auszumachen ist, der sich dadurch ausdrückt, dass die **zu verwendende Software oder allgemeiner die Digitalisierung insgesamt von der Produktion her (also allgemeiner von den Arbeitsprozessen her) zu denken ist**. War der Trend in den ersten fünf Jahren der Industrie 4.0-Epoche noch eher dadurch gekennzeichnet, dass sich bei den M+E-Berufen der Umgang mit Daten und Software zu einer neuen, auch heute noch notwendigen Kernkompetenz entwickelte („Von der Software her denken“, vgl. bayme vbm, 2016; Spöttl/Windelband,

2016), so kristallisiert sich jetzt heraus, dass die Unternehmen ET- und IT-Kompetenzen für die Aufgaben im Betrieb bei allen Fachkräften und insbesondere auch bei den metalltechnischen Berufen benötigen. Sie erscheinen nicht mehr als separate Qualifikationsanforderung in Verbindung mit derart geprägten elektrotechnischen oder informationstechnischen Aufgaben, sondern als **Standard** für die Aufgaben in den generischen Handlungsfeldern der Industrie 4.0. Diese Ausrichtung der Profile unterscheidet sich erheblich von den traditionellen Strukturen. Zwei zentrale Folgen dieser Entwicklung sind:

1. Die Ausbildung folgt immer weniger der Logik der in den Ausbildungsordnungen angelegten Strukturen, die trotz des Strukturmodells aus Kern- und Fachqualifikationen durch eine starke Trennung von Grund- und Fachbildung sowie durch themen- statt prozessstrukturierte Inhaltsvermittlung gekennzeichnet ist.
2. Es werden verstärkt Ausbildungsberufe gewählt, mit denen Qualifikationen für digitalisierte Arbeitsprozesse bereitgestellt werden können – insbesondere die Ausbildung zum/zur Mechatroniker/-in (vgl. Abbildung 8).

Mechatroniker/-innen haben in einigen Unternehmen die Ausbildung zu Industriemechaniker/-innen (zumindest zeitweise) zurückgedrängt oder gar komplett ersetzt (Fall 08, 11, 12, 14). Vor allem für Instandhaltungsaufgaben in der Produktion erscheint die Ausbildung zu Industriemechaniker/-innen immer weniger geeignet, zumindest wenn den Vorgaben der Ausbildungsordnung streng entsprochen wird und diese nicht flexibel genug interpretiert werden. Die Aufgabenstellungen in der Instandhaltung sind verstärkt durch die Durchdringung digitalisierter Tools geprägt, mit denen

- zustandsbasierte Analysen (Condition Maintenance),
- vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance),
- Prozessüberwachung (mit Visualisierungstools),
- Prozesssteuerung (unter anderem mit MES) und
- Qualitätsmanagement (Statistical Process Control etc.),

auf Shopfloor-Ebene betrieben wird. Diese Durchdringung ist verbunden mit der Übernahme „klassischer“ Aufgabenstellungen für die Aufrechterhaltung der Produktion, wie das Nachlegen von Teilen oder das Reinigen und Warten von Produktionseinrichtungen:

„In der Vergangenheit waren in einer Fertigungsfunktion zehn Mitarbeiter beschäftigt, acht davon als Teileeinleger und zwei als Straßenführer. Heute sind grundsätzlich weniger Mitarbeiter als früher beschäftigt und der größte Anteil sind Technologen, die von der Roboterprogrammierung bis hin zu Instandhaltungsaufgaben (einschließlich Elektrotechnik/Automatisierung) Kenntnisse haben müssen. Es sind nur noch zwei Mitarbeiter für die Anlagenbestückung (Teileeinleger) nötig“ (Fall 12).

Für diese Aufgabenstellungen werden je nach Bedeutung der eingesetzten Automatisierungslösungen anstatt Industriemechaniker/-innen zunehmend Mechatroniker/-innen und Elektroniker/-innen (EBT oder EAT) ausgebildet.

Flankiert werden die Entwicklungen von einem zunehmenden Einsatz von IT-Fachkräften in den produktionsnahen Bereichen. Dies führt auch zu einer Zunahme der Bedeutung informationstechnischer Ausbildungsberufe. Auch hier gilt aber, dass die Unternehmen großen Wert auf eine „produktionsnahe“ Ausbildung legen, das heißt, dass bei der Ausbildung etwa von Fachinformatiker/-innen in den fragten

Fachrichtungen Anwendungsentwicklung, Systemintegration oder Digitale Vernetzung nicht die informationstechnische Sicht überwiegt, sondern die produktionstechnische Perspektive.

4.3.2 Bedeutung des dualen Studiums

Ein weiterer Einfluss auf die Ausbildung in den M+E-Berufen stellt die zunehmende Abflachung der Hierarchien und die intensivere Verschmelzung zwischen praktischen und theoretisch dominierten Aufgabenstellungen dar. Hinzu kommt, dass ein Teil der Unternehmen zunehmend den fachlich versierten Mittelbau mit Bezug auf Projekt- statt Führungsaufgaben stärkt. In diesem Zusammenhang wird in den Unternehmen auch auf das duale Studium, meist in ausbildungsintegrierter, aber auch in praxisintegrierter Form ohne Kammerprüfung, gesetzt.

In den Fallstudien konnte beobachtet werden, dass das duale Studium die duale Ausbildung ergänzt, anstatt dieses zu ersetzen. Quantitativ betrachtet nimmt die Bedeutung des dualen Studiums für die Industrie eindeutig zu (vgl. BIBB, 2020 und www.ausbildungplus.de). Die Zahl der Studiengänge hat sich von 2010 mit 776 dualen Studiengängen auf knapp 1.700 im Jahr 2019 erhöht, die Zahl der Studierenden von 50.764 im Jahr 2010 auf gut 108.000 im Jahr 2019 (vgl. Hofmann et al., 2020, 11). Nach einer groben Schätzung umfassen die Anfänger in dualen Studiengängen damit einen Anteil von rund zehn Prozent bezogen auf die Ausbildungsanfänger im dualen System (vgl. CHE, 2021). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich knapp 75 Prozent der Erstsemester für ein praxisintegrierendes Studium ohne Ausbildungsabschluss einschreiben (Deutscher Bundestag, 2021, 6). Quantitativ entfällt ein großer Teil der Studierenden auf das Modell der Dualen Hochschule in Baden-Württemberg, die auch von vielen Unternehmen aus anderen Bundesländern genutzt wird, wobei inzwischen gut die Hälfte in einem ausbildungsintegrierten Studium mit Kammerprüfung qualifiziert wird (Hofmann et. al, 2020, 15). Das Ingenieurwesen umfasst 36 Prozent der Studierenden, die Informatik 13 Prozent (ebd., 18).

In etwa der Hälfte der Unternehmen in den untersuchten Fallstudien wird ein gewisser Anteil der Erstausbildung in Form eines ausbildungsintegrierten dualen Studiums angeboten⁵ (zuweilen auch Verbundstudium genannt). Rund ein Drittel der Fallstudienunternehmen bieten auch praxisintegrierte Studiengänge ohne Kombination mit einer Berufsausbildung an. Die in den Fallstudien angetroffenen Kombinationen entsprechen den deutschlandweiten Entwicklungen (vgl. BIBB, 2020, 20), die insbesondere für die M+E-Industrie am häufigsten aus den Kombinationen

- Industriemechaniker/-in – Wirtschaftsingenieurwesen oder Maschinenbau,
- Mechatroniker/-in – Mechatronik oder Wirtschaftsingenieurwesen,
- Elektroniker/-in für Betriebstechnik oder Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik – Elektrotechnik, Mechatronik oder Automatisierungstechnik,

bestehen (vgl. Tabelle 4).

Zugleich wird in den Fallstudien erkennbar, dass Studiengänge der Automatisierungstechnik verstärkt in die engere Wahl gezogen werden. Die konkrete Wahl einer Kombination hängt allerdings vom regionalen Angebot ab. Absolventen dualer Studiengänge werden überwiegend im Engineering-Bereich beispielsweise dort eingesetzt, wo es um die Implementation vernetzter Produktionslösungen geht.

⁵ Die Teilnehmerzahlen am dualen Studium lagen in den einzelnen Fällen immer deutlich niedriger als die Auszubildendenzahlen.

Tabelle 4: Bedeutung des dualen Studiums in den Fallstudienunternehmen

| Fall | Typ / Zielsetzung | Kombination Ausbildungsberuf / Studiengang | Anteil am Ausbildungsvolumen |
|------|--|---|------------------------------|
| 01 | ausbildungsintegriert / Fabrikplanung+Engineering | EBT / Elektro- und Informationstechnik (Ba) | 25 % |
| 02 | nicht genutzt | - | - |
| 03 | praxisintegriert | 9 Studiengänge, u. a. Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau, Elektrotechnik | 30 % |
| 04 | ausbildungsintegriert | EBT / Elektrotechnik | 10 % |
| 05 | ausbildungsintegriert | IM / Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau | 30 % |
| 06 | ausbildungsintegriert | KM / Wirtschaftsingenieurwesen | 0 % (z. Z. eingestellt) |
| 07 | ausbildungsintegriert | IM / Maschinenbau | n. v. |
| 08 | ausbildungsintegriert / Produktautomatisierung, Asset-Management | Mechatroniker/-in / Mechatronik, Intelligent System Engineering, Elektro- und Informationstechnik | 10 % |
| 09 | ausbildungsintegriert | Mechatroniker/-in / Automatisierung – Mechatronik | 50 % |
| 10 | praxisintegriert | 5 Studiengänge, u. a. Elektrotechnik, Informatik, Mechatronik | n. v. |
| 11 | ausbildungsintegriert | Mechatroniker/-in / Elektrotechnik, Mechatronik | 10 % |
| 12 | praxisintegriert | u. a. Maschinenbau, Wirtschaftsinformatik, Elektro- technik, Mechatronik | 6 % |
| 13 | praxisintegriert | u. a. Maschinenbau, Automatisierungstechnik & Robotik, Robotik, Wirtschaftsinformatik | 20 % |
| 14 | praxisintegriert / Automatisierungstechnik | u. a. Mechatronik, Elektrotechnik, Embedded Sys- tems, Wirtschaftsinformatik | n. v. |
| 15 | nicht genutzt | - | - |

IM: Industriemechaniker/-in, KM: Konstruktionsmechaniker/-in, EBT: Elektroniker/-in für Betriebstechnik,
EAT: Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik

n. v.: Zahlen nicht verfügbar / Anteil am Ausbildungsvolumen: Prozentsatz der neuen dual Studierenden zu allen neuen Ausbildungsverträgen

Quelle: eigene Darstellung

Noch relativ neu ist die Entwicklung in der M+E-Industrie, insbesondere für Zukunftsthemen anstatt auf universitäre Studiengänge für das Engineering auf duale Studiengänge zu setzen, um den Transfer in die betriebliche Praxis zu beschleunigen (Fall 08, 09, 13, 14). Ein typisches Beispiel hierfür sind Studiengänge wie Intelligent Systems Engineering, Embedded Systems oder Künstliche Intelligenz in Kombination mit

einer Ausbildung zum/zur Fachinformatiker/-in oder Mechatroniker/-in⁶. Welche Folgen diese Entwicklung für die berufliche Erstausbildung haben wird, ist bisher nicht abschließend geklärt.

4.3.3 Strukturelle Bedeutung von Zusatzqualifikationen

In Deutschland wurden im Zuge der Novellierung der Ordnungsmittel im Jahre 2018 zum 1. August 2018 für die Ausbildungsberufe Mechatroniker/-in sowie die industriellen Elektro- und Metallberufe optionale und kodifizierte Zusatzqualifikationen (kZQ) eingeführt (vgl. AO, 2018a, b, c), also solche, die über das Berufsbild hinaus geordnet sind, ausgebildet werden können und bei Nutzung geprüft werden müssen (vgl. AO, 2018a §28, b §28, c §9).

Damit soll den Herausforderungen durch die Digitalisierung begegnet werden. Die damit verbundene zentrale Frage ist, ob Zusatzqualifikationen für diese neuen und veränderten Anforderungen die geeignete Antwort darstellen und den notwendigen Modernisierungsschub für die gewerblich-technischen Berufe unter dem Einfluss von Industrie 4.0 erbringen.

Das 2005 novellierte Berufsbildungsgesetz (vgl. BIBB, 2005) ermöglicht es, sogenannte kodifizierte Zusatzqualifikationen anzubieten. Verstanden werden *darunter* „*zusätzliche berufliche Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten ...*, die die berufliche Handlungsfähigkeit ergänzen oder erweitern“ (ebd., §5 (2), Nr. 5). Erstmals beim Ausbildungsberuf Musikfachhändler/-in angeboten (vgl. Annen/Paulini-Schlottau, 2009) wurden bislang nur in wenigen Fällen bei Ausbildungsberufen kZQ angeboten, mit denen die Qualifikation eines Berufes horizontal und/oder vertikal erweitert werden kann. Wesentliches Merkmal einer solchen kZQ ist, dass sie Qualifikationen betrifft, die **über das Berufsbild hinausgehen** (dies ist analog zu allen anderen Zusatzqualifikationen), und dass sie in der Ausbildungsordnung (AO) geregelt sind (dies gilt nicht für andere, nicht kodifizierte Zusatzqualifikationen). Für die M+E-Berufe stellt sich also nicht nur die Frage, ob die angebotenen kZQ letztlich zu einer Erweiterung der Qualifikations- und Kompetenzprofile von Absolventen der betroffenen Berufe beitragen. Vielmehr sind die Fragen zu klären,

1. ob die neu entstandenen Qualifikationsanforderungen durch die kodifizierten ZQ beantwortet werden und die Berufsbilder ergänzen oder inzwischen zum Kern der beruflichen Anforderungen gehören und
2. ob und wie intensiv die kodifizierten ZQ genutzt werden, um den durch die Digitalisierung aufkommenden Qualifikationsbedarf zu decken.

Die optionalen ZQ wurden von den Sozialpartnern entwickelt, um den Betrieben die Möglichkeit für eine weitergehende berufliche Entwicklung zu geben, ohne vor allem kleinere Betriebe zur Ausbildung dieser Inhalte verpflichten zu müssen (vgl. dazu die Beiträge von Becker/Windelband, 2018 und Müller, 2018). ZQ zu absolvieren ist weder für Betriebe noch für Auszubildende verpflichtend. Es ist allein eine Entscheidung der ausbildenden Betriebe, den Auszubildenden in Abstimmung mit diesen ein Absolvieren einer ZQ als Spezialisierung oder Vertiefung zu ermöglichen. Diese Freiwilligkeit ist auch der Grund dafür, dass ZQ nicht Teil oder Gegenstand der regulären Facharbeiterprüfung sind. Auch die beruflichen Schulen sind nicht an den ZQ, deren Durchführung oder Prüfung verbindlich beteiligt. *„Die schulischen Mitglieder des Facharbeiterprüfungsausschusses haben die Ergebnisse nicht zu verantworten“* (Experte 01).

⁶ Ein exemplarisches Beispiel ist das Angebot der TH Deggendorf: <https://www.th-deg.de/duales-studium>, in dem auch Berufsschulen mitwirken und Unternehmen Förderprogramme auflegen, um die Angebote attraktiv zu gestalten (vgl. <https://www.th-deg.de/Studieninteressierte/Studienangebot/speedup.pdf>).

Die grundsätzliche Möglichkeit für Auszubildende, eine Prüfung in einer kZQ per Antrag absolvieren zu können, setzt voraus, dass dafür ein Prüfungsausschuss gebildet werden kann, der fachlich und organisatorisch in der Lage ist, die Prüfung abzunehmen. Das ist nicht immer gewährleistet, weil zahlreiche Ausbilder die Themenvielfalt der ZQ nicht unbedingt abbilden können oder den zusätzlichen organisatorischen Aufwand, eine Prüfung zu organisieren, nicht leisten können. *„Betriebe sind auch heute, mehrere Jahre nach der Teilnovellierung und der Einführung der ZQ, noch nicht darauf eingestellt, dieses Element umzusetzen“* (Experte 12). Negativ schlägt hier auch zu Buche, dass die beruflichen Schulen mit den ZQ „wenig am Hut haben“ (ebd.).

Über die kodifizierten ZQ hinaus werden in den Betrieben zahlreiche Qualifikationsmaßnahmen zur Ausbildung in der Digitalisierung in unterschiedlich starker Strukturierung umgesetzt. Der Grad der Berücksichtigung reicht von der Berücksichtigung digitalisierter Medien über den Einsatz von Zusatzqualifikationen ohne Anbindung an die Ausbildungsordnung bis hin zu den kodifizierten ZQ. Die Bedeutung und die genauere Charakterisierung der zusätzlichen Angebote werden im Folgenden näher dargestellt.

4.3.4 Nutzung der Zusatzqualifikationen

Die kodifizierten Zusatzqualifikationen der M+E-Berufe nehmen mit einer Größenordnung von **rund einem Prozent** aller abgelegten Abschlussprüfungen in den M+E-Berufen nur eine marginale Rolle im Prüfungsgeschehen ein. Eine Erhebung des Deutschen Industrie- und Handelskammertags (DIHK) hat basierend auf Angaben aller 79 Industrie- und Handelskammern ergeben (vgl. Tabelle 5), dass in der Winterprüfung 2018/2019 nur 26 Prüfungen in den ZQ abgelegt wurden, in der Sommerprüfung 2019 waren es 62 (vgl. Schwarz, 2019, 34; Schwarz, 2020). Nach Erhebungen des DIHK nahm die Zahl der Prüfungen auch zu den Folge-Prüfungsperioden mit 108 (Winter 2019/20) und 124 (Sommer 2020) nur sehr moderat zu.

Tabelle 5: Anzahl der bundesweit abgelegten Prüfungen zu den kodifizierten Zusatzqualifikationen

| ZQ | Anzahl der ZQ-Prüfungen | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | Sommer 2019 | Winter 2019 / 2020 | Sommer 2020 | Winter 2020 / 2021 | Sommer 2021 |
| Digitale Vernetzung | 0 | 7 | 18 | 11 | 23 |
| IT-Sicherheit | 0 | 4 | 9 | 5 | 2 |
| Programmierung | 24 | 33 | 37 | 28 | 35 |
| Additive Fertigung | 35 | 60 | 59 | 87 | 70 |
| IT-gestützte Anlagennutzung | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 |
| Prozessintegration | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Systemintegration | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Summe | 62 | 108 | 124 | 133 | 134 |

Quelle: DIHK, 2020; DIHK, 2022

Selbst wenn ausschließlich diejenigen Abschlussprüfungen, die nur nach der Verordnung von 2018 abgeschlossen wurden zum Vergleich herangezogen werden, dann wurden die kodifizierten

Zusatzqualifikationen etwa in der Sommerprüfung 2020 mit rund 10.000 Abschlussprüfungen nur in der Größenordnung von 1,2 Prozent aller Prüfungen geprüft. Die ersten Prüfungsjahrgänge nach der Teilneuvollziehung sind dabei insofern mit Vorsicht zu interpretieren, als die Mehrzahl der Prüfungen für Ausbildungsverträge nach der alten Verordnung von 2007 noch keine Zusatzqualifikationen vorsah (vgl. ebd., 34).

Auch im Prüfungsjahr 2020 / 2021 ist die Zahl der Prüfungen in den kZQ kaum gestiegen. So waren im Prüfungstermin Winter 2020 / 2021 in der Summe nur 133 und im Prüfungstermin Sommer 2021 nur 134 Prüfungen in allen sieben kZQ zu verzeichnen (vgl. Tabelle 5). Damit hat sich gegenüber dem Vorjahr die Zahl der Prüflinge kaum nennenswert erhöht.

Von Anfang an dominierte die Wahl der ZQ „additive Fertigungsverfahren“ bei den Metallberufen einschließlich Mechatroniker/-in und der ZQ „Programmierung“ bei den Elektroberufen (vgl. Tabelle 5). In den Prüfungsperioden bis einschließlich Sommer 2020 wurde die ZQ „Prozessintegration“ kein einziges Mal und die ZQ „Systemintegration“ insgesamt gerade fünfmal geprüft.

Im DIHK-Berichtsjahr 2020 absolvierten 39.915 Auszubildende in der M+E-Industrie die Facharbeiterprüfung (vgl. Tabelle 6). Bei den im gleichen Zeitraum abgeschlossenen 232 ZQ-Prüfungen dominierten das Programmieren und die additiven Fertigungsverfahren. Andere Themen wie beispielsweise Prozessintegration, Systemintegration, IT-gestützte Anlagenänderung, IT-Sicherheit oder digitale Vernetzung spielten keine oder nur eine sehr geringe Rolle. Die bundesweite Erhebung des DIHK zeigt, dass teils gar die Zahl der Abschlussprüfungen zu den ZQ wie bei der additiven Fertigung von 2020 auf 2021 wieder leicht abnimmt.

Im Expertenworkshop II (durchgeführt am 23. April 2021, siehe Kapitel 3.6) wurde aus dem Kammerbezirk München und Oberbayern mitgeteilt, dass rund 0,5 Prozent der infrage kommenden Auszubildenden im Herbst/Winter 2020/21 eine Prüfung zur ZQ abgelegt haben. Der Kammerbezirk ist von besonderer Bedeutung aufgrund einer regional stark konzentrierten Automobilindustrie und weiterer wesentlicher M+E-Betriebe. Auch andere Kammervertreter bestätigten eine geringe Quote bei den ZQ-Prüfungen. Zu den Begründungen, Ursachen und Situationen aus einzelnen Kammerbezirken liegen aus den Fallstudien weitere Erkenntnisse vor, die im Folgenden und in Abschnitt 7.3 dargelegt sind.

Ursache für die sehr geringe Nutzung von Prüfungen zu kZQ ist unter anderem die fehlende Verknüpfung des Ausbildungsbereichs mit den arbeitsprozessbezogenen Anforderungen der Arbeitswelt in großen Unternehmen: *„Die ZQ (wie additive Fertigung), die in einer lehrgangsorientierten Ausrichtung umgesetzt werden können, werden häufiger gewählt, die anderen ZQ mit einer prozess- und systemorientierten Ausrichtung eher weniger“* (Experte 07).

Die additive Fertigung wird in den Fallstudienunternehmen bereits vermehrt als Ausbildungsinhalt vermittelt, weil diese Thematik hinsichtlich Ausstattung und Verfügbarkeit von Lernaufträgen vergleichsweise leicht in den Ausbildungsbereichen umgesetzt werden kann. Dagegen ist es äußerst schwierig, sinnvolle Auseinandersetzungen mit der Prozessintegration oder Systemintegration im Rahmen reiner Ausbildungszusammenhänge etwa in einer Ausbildungswerkstatt zu identifizieren und noch schwerer, solche in der Ausbildung zu implementieren.

„Die Unterschiede zwischen Systemintegration und Prozessintegration sind nur schwer nachvollziehbar. Bisher hatte auch die IHK noch keine Erfahrungen mit dieser ZQ, da das Unternehmen eines der ersten in der Umsetzung war“ (Fall 11).

Tabelle 6: Teilnahme an Abschlussprüfungen nach Verordnung 2018 (Prüfungen, bei denen der Ausbildungsvertrag nach der Verordnung 2018 abgeschlossen wurden)

| Ausbildungsberuf \ Anzahl der Prüfungen | Winter 2019/2020 | Sommer 2020 | Winter 2020/21 | Sommer 2021 | DIHK / Berichtsjahr 2020 (alle Prüfungen nach alter UND neuer Verordnung) |
|--|------------------|-------------|----------------|-------------|--|
| Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik (EAT) | 17 | (773) | 281 | 756 | 2.029 |
| Elektroniker/-in für Betriebstechnik (EBT) | (4.222) | 96 | 515 | 1.737 | 5.991 |
| Elektroniker/-in für Gebäude- und Infrastruktursysteme (EGI) | (35) | 6 | 45 | 14 | 60 |
| Elektroniker/-in für Geräte und Systeme (EGS) | (1.483) | 152 | 346 | 624 | 2.143 |
| Elektroniker/-in für Informations- und Systemtechnik (EIS) | n. v. | n. v. | n. v. | n. v. | 81 |
| Mechatroniker/-in (Mech) | (5.026) | (2.307) | 445 | 2.059 | 7.255 |
| Anlagenmechaniker/-in | (686) | (198) | 40 | 113 | 898 |
| Industriemechaniker/-in | (8.654) | 503 | 1.493 | 3.274 | 11.680 |
| Konstruktionsmechaniker/-in | (1.682) | (510) | 1.458 | 416 | 2.193 |
| Werkzeugmechaniker/-in | (2.180) | (637) | 233 | 529 | 2.867 |
| Zerspanungsmechaniker/-in | (3.763) | 224 | 762 | 1.136 | 4.718 |
| Summe | 27.748 | 5.406 | 5.618 | 10.658 | 39.915 |

Quelle: IHK Gesellschaft für Informationsverarbeitung / <http://pes.ihk.de>⁷; in Klammern: Prüfungen nach Verordnung 2007 bzw. 2011; n. v.: nicht verfügbar

Im Rahmen von Versetzungen in betriebliche Abteilungen, in denen System- und Prozessintegration als Aufgabenstellungen auftauchen, sind Auszubildende nur schwer unterzubekommen, da beide Bereiche

⁷ Die Datenbank pes.ihk.de differenziert nach der Art des Ausbildungsvertrages (Verordnung von 2007/2011 bzw. 2018). Wo verfügbar, wurden nur die Zahlen der Abschlussprüfung ermittelt, bei denen der Ausbildungsvertrag nach der Verordnung 2018 geschlossen wurde.

technologisch besonders herausfordernd für die Unternehmen und sensibel hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ausbildungskapazitäten sind. Zudem ist die Ausbildung in diesen beiden kZQ ohne größeren Aufwand kaum mit Hilfe feststehender Ausbildungspläne umsetzbar, da diese bislang üblicherweise noch nicht in betriebliche Prozesse und Systeme integriert wurden.

Tabelle 7: Nutzung der kZQ in den Fallstudienunternehmen

| Fall | kZQ bekannt | kZQ genutzt | Inhalte, Umfang und zentrale Aussage |
|------|-------------|-------------|---|
| 01 | ja | nein | Digitalisierung ist Querschnittstechnologie im Unternehmen |
| 02 | ja | nein | Programmieren von Werkzeugmaschinen wird als Standard in der Ausbildung implementiert |
| 03 | ja | ja | additive Fertigung ist leicht im letzten Ausbildungshalbjahr zu integrieren; bislang nur ein Azubi |
| 04 | ja | nein | keine Aufgaben und kein Prüfungsausschuss verfügbar |
| 05 | ja | nein | keine Infrastruktur zur Durchführung von Prüfungen verfügbar. Ideen zur Ausbildung im Bereich additive Fertigung für Mechatroniker/-innen ohne Prüfung |
| 06 | ja | nein | keine Prüfungsausschüsse verfügbar. IT-Sicherheit und digitale Vernetzung wird ohne Relevanz für Prüfungen in Ausbildung integriert |
| 07 | nein | nein | ZQs (CAD, 3-D-Druck) werden zur Steigerung der Attraktivität in der Ausbildung genutzt; ZQ wie Schweißrobotik programmieren wird in Form von Lehrgängen angeboten; Prüfungen sind nicht beabsichtigt; ZQs sollten als Standard in der Berufsschule vermittelt werden |
| 08 | ja | ja | vor allem für leistungsstarke Jugendliche; überwiegend additive Fertigung |
| 09 | ja | nein | einzelne Auszubildende werden mit der additiven Fertigung vertraut gemacht; auch IT-Sicherheit wird standardmäßig in der Ausbildung untergebracht; vereinzelt Aufgabenstellungen zur Systemintegration als betrieblicher Auftrag ohne zusammenfassende Prüfung (Pick-by-Light). |
| 10 | ja | ja | erstmalig additive Fertigung im Jahr 2021 für Industriemechaniker/-innen und Zerspanungsmechaniker/-innen; Industrie 4.0 wird allgemein in die Ausbildung integriert |
| 11 | ja | ja | bisher einmal additive Fertigung und einmal Prozessintegration (Brandschutzmasse dosiert mit Hilfe von Sensoren abfüllen) für Industriemechaniker/-innen; nur in Einzelfällen umsetzbar |
| 12 | ja | ja | nur in geringem Umfang für Leistungsstarke. Mechatroniker/-in: je zweimal additive Fertigung und digitale Vernetzung; Inhalte sollten langfristig zu einem Standard in der Ausbildung werden |
| 13 | ja | nein | die Inhalte werden als Standard in der Ausbildung integriert vermittelt; Prüfungsaufwand wird gescheut |
| 14 | nein | nein | Qualifizierungen zur elektrisch unterwiesenen Person (EUP) wird integriert; ebenso spezifisches Know-how, welches nicht Bestandteil der Ausbildungsordnung ist |
| 15 | nein | nein | additive Fertigung wird im Rahmen der Ausbildung vermittelt |

Quelle: eigene Darstellung

Sowohl die zitierten Berichte aus den Fallstudien und Expertengesprächen als auch die quantitative Betrachtung der absolvierten ZQ-Prüfungen zeigen eine geringe Akzeptanz des Instruments der kZQ im Hinblick auf deren vollumfängliche Umsetzung und abschließende Kammerprüfung (Tabelle 7). Deutlich lässt sich feststellen, dass bei den kZQ ein dreifacher Konstruktionsfehler auszumachen ist, wenn eine vollumfängliche Umsetzung und Prüfung der kZQ angestrebt wird:

1. kZQ sind eigenständig zu prüfen, also unabhängig von der Facharbeiterprüfung, weil sie nicht Gegenstand des Facharbeiterabschlusses sind. Das macht es erforderlich, einen eigenen Prüfungsausschuss zu organisieren, was eine erhebliche Mehrbelastung für die Beteiligten darstellt. *„Die Zusatzqualifikationen zur Wahl zur stellen, ist der falsche Weg“* (Ausbildungsverantwortlicher, Fall 05).
2. Die beruflichen Schulen sind an der Vermittlung und Prüfung der kZQ nicht beteiligt. Der duale Partner Schule hat also keinerlei Verantwortung in der Ausbildung und Prüfung von kZQ und ist deshalb kein verbindlich vorgesehener Unterstützer dieses Qualifizierungselements.
3. Die definierten kZQ decken schwerpunktmäßig Inhalte ab, die bereits in vielen der in dieser Studie befragten Unternehmen Ausbildungsgegenstand sind. Diese Unternehmen sehen häufig in einer Umorganisation im Hinblick auf die Prüfungsanforderungen der kZQ keinen originären Mehrwert.

Ausgewählte betriebliche Positionen zu den ZQ aus Fallstudien und Experteninterviews werden im folgenden Abschnitt herangezogen (vgl. Tabelle 7), um die Diskrepanz zwischen kZQ als Instrument und Ausbildungspraxis sowie Qualifikationserfordernissen zu verdeutlichen.

4.3.5 Bildungspersonal

Ausgewählte Studien kommen zur Erkenntnis, dass sowohl an den beruflichen Schulen als auch in Ausbildungsbetrieben die Aus- und Fortbildung der Lehrkräfte sowie der Ausbilder noch stärker auf die neuen inhaltlichen und methodisch/didaktischen Anforderungen durch die Digitalisierung ausgerichtet werden müssen (beispielsweise Seyda/Risius, 2021; Risius et al., 2021). Dabei sollen die Anreize für eine entsprechende Fort- und Weiterbildung von Berufsausbildungspersonal gestärkt sowie ein Austausch zwischen dem Bildungspersonal initiiert werden. Flankierend dazu hält es die Expertenkommission EFI (2021, 65) für dringend erforderlich, *„die Berufsschulen flächendeckend mit einer leistungsfähigen digitalen Infrastruktur, modernen Medien und Zugängen zu hochwertiger Lernsoftware auszustatten“*. Beim Ausbildungspersonal fordert die Enquete-Kommission *„das Lehren und Lernen mit digitalen Medien für Ausbildungspersonal, zum Beispiel durch Regelförderungsinstrumente und mit Modellversuchen, insbesondere für KMU“* zu unterstützen (ebd., 211).

Euler/Severing (2020, 26 f.) weisen darauf hin, dass *„digitale Technologien ... nicht nur einen Gegenstand bzw. Inhalt der Ausbildung dar(stellen, d. V.), sondern sie können auch die methodische Gestaltung der Berufsausbildung unterstützen“*. Da die Digitalisierung nicht nur zu einer veränderten Medienlandschaft führt, die durch das Bildungspersonal zu berücksichtigen und einzusetzen ist, sondern veränderte Zugänge zur Produktionstechnik, zu Werkzeugen, Produktionsumgebungen und Arbeitsprozessen zur Folge hat, ist dies bei der Qualifizierung des Bildungspersonals zu berücksichtigen. Dabei ist die verkürzte Perspektive einer Mediendidaktik zu überwinden (vgl. Becker, 2021).

4.3.6 Rolle von Aus- und Weiterbildung und zukünftige Entwicklungen

Die Forderung einer engeren Verknüpfung von Aus- und Weiterbildung ist im Abschlussbericht der Enquete-Kommission und im EFI-Gutachten sehr deutlich formuliert. Dies wird für die Zusatzqualifikationen sogar noch konkretisiert, so dass diese für die berufsbezogene Weiterbildung geöffnet werden sollen (EFI, 2021, 66). Empfohlen wird die Stärkung regionaler Netzwerke, in die alle örtlichen Berufsbildungsakteure (Schulen, Betriebe, ÜBS, Bildungsträger) einbezogen sind, um gemeinsam am jeweiligen Bedarf orientierte Aus- und Weiterbildungsstrategien zu entwickeln sowie innovative Lernzentren und berufsfeldübergreifende Experimentierräume zur Kompetenzentwicklung und Profilbildung in der digitalen Arbeitswelt auszubauen (zum Beispiel Lernfabriken, FabLabs) (vgl. Enquete-Kommission 2021, 212).

Dies unterstützt auch die Expertenkommission EFI und fordert ein Forcieren der Weiterbildungsverbände (ebd., 66). Dabei soll auch die Bedeutung und die Integration der berufsbildenden Schulen in der Weiterbildung ausgebaut werden: *„Die berufsbildenden Schulen/Fachschulen sollen in der Allianz für Aus- und Weiterbildung eine größere Rolle spielen und als gleichberechtigter Akteur in der Weiterbildungslandschaft mit einbezogen werden“* (ebd., 215). Damit soll die Rolle der berufsbildenden Schulen bei der Umsetzung der kZQ gestärkt werden, wo sie formell bisher nicht beteiligt sind. Gleichzeitig sollen die berufsbildenden Schulen stärker ihre Rolle in der Weiterbildung im Kontext der Digitalisierung ausbauen. Die horizontale wie vertikale Verknüpfung von Inhalten und die institutionellen Zuordnungen und Vernetzungen sind, wie die Fallstudien zu dieser Studie zeigen, neu zu überdenken.

Die mit der Digitalisierung verbundenen langfristigen Veränderungsprozesse betreffen genauso die Berufsbilder, die Anpassung von Ausbildungsordnungen sowie den Einsatz von digitalen Medien in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Mit Blick auf den Ausbildungsmarkt sei eine Stärkung der ausbildenden Unternehmen und der berufsbildenden Schulen zum Erhalt bestehender Ausbildungsverträge und der Ermöglichung neuer Ausbildungsangebote erforderlich, so die Forderung der Enquete-Kommission (2021). Die Denkschrift von Euler und Severing (2020) fordert, die Berufsbildung stärker proaktiv-gestaltungorientiert zu denken und knüpft damit eng an die Vorstellungen aus den 1990er-Jahren von Rauner (1995) und Spöttl (1998) zur Gestaltungsorientierung in der beruflichen Bildung an:

„Berufsbildung sollte im Hinblick auf den Umgang mit der Entwicklung von digitalen Technologien und technologieunterstützten Anwendersystemen jedoch nicht reaktiv-anpassungsorientiert, sondern proaktiv-gestaltungsorientiert gedacht werden. Damit wird der Anspruch aufgenommen, dass die Berufsbildung nicht nur zur Qualifizierung für Vorgegebenes, sondern auch zur Bildung für das Mögliche beitragen soll“ (Euler/Severing, 2020, 12).

4.3.7 Berufe und Ordnungsmittel

Das BIBB hat in den vergangenen Jahren genauer untersucht, wie sich die Anforderungen für Berufe in Industrie und Handwerk entwickeln und welche Schlussfolgerungen daraus zu ziehen sind. Wesentliche Erkenntnisse daraus lassen sich wie folgt zusammenfassen⁸:

„Die Diffusion neuer Techniken, Technologien, Verfahren und Prozessabläufe infolge der Digitalisierung ist in vielen der Berufe ein Prozess, der schleichend erfolgt. Das heißt, die Veränderungen wachsen in die Arbeitsaufgaben der Fachkräfte hinein. Weniger häufig sind Fälle und Berufe, in denen dadurch neue Arbeitsplätze und Arbeitsumgebungen entstehen, die gegebenenfalls künftig nicht

⁸ Die Literatur für die Analyse beschränkt sich auf den deutschen Raum. Es wird bewusst keine internationale Forschung zurate gezogen.

mehr von in dem betreffenden Beruf ausgebildeten Personen besetzt werden. Beispiele dafür fanden sich in den Berufen Landwirt/-in ... und Fachkraft Lagerlogistik

Als Zwischenbilanz kann festgestellt werden, dass in den meisten Ausbildungsberufen und Unternehmen die Möglichkeiten der Digitalisierung noch lange nicht ausgeschöpft sind. Viele der nachgefragten Techniken und Technologien befinden sich noch nicht in der breiten Anwendung, auch wenn sie in einem Teil der Unternehmen anzutreffen sind. Neben Treibern der Digitalisierung wurden auch Hemmnisse identifiziert. Selbst dort, wo der Digitalisierungsgrad als hoch eingeschätzt wird, sind die Vernetzungsansätze in den meisten Fällen noch nicht weit fortgeschritten.

Allerdings finden sich immer wieder Mischformen. In den meisten Fällen wird sehr deutlich, dass die Veränderungen der Tätigkeiten und Arbeitsaufgaben innerhalb des Berufs erfolgen und die Berufe als eigenständige Profile eine Zukunft haben. ... In der Mehrzahl der Berufe wird infolge der Digitalisierung und damit einhergehenden veränderten Prozessabläufe eine deutliche Komplexitätssteigerung der Arbeitsaufgaben bestätigt“ (Zinke, 2019, 12).

In einer weiteren Studie setzt sich das BIBB mit den 2018 für die M+E-Berufe eingeführten kZQ auseinander (vgl. Kaufmann et al., 2021) und stellt vorläufig fest: *„Mit Blick in die Zukunft sind die bisherigen Teilergebnisse eher ein erster Hinweis darauf, dass kZQ nur bedingt geeignet sind, um Innovationen voranzubringen, die Berufsausbildung in den entsprechenden Berufen generell zu verbessern und für künftige Herausforderungen anzupassen“* (ebd., 2). Es besteht vielmehr der *„Wunsch nach für alle verbindlichen Mindestausbildungsinhalten und die Idee einer möglichen Zweiteilung der Ausbildung in eine erste Phase des jeweiligen Kernberufs und eine daran anschließende Differenzierung, über deren Art und Weise erst im Ausbildungsverlauf endgültig entschieden werden kann“* (ebd.). Ein besonderer Hinweis wird für die Metallberufe gegeben: Für die Metallberufe *„wurde wiederholt angeregt, elektrotechnische und IT-Inhalte stärker in die Ausbildung zu integrieren“* (ebd., 2).

4.4 Digitaler Wandel in der Weiterbildung

Betriebliche Weiterbildungsmaßnahmen sind von hoher Relevanz, um Fachkräfte für die sich verändernden Anforderungen der Arbeitswelt zu qualifizieren. Ebenso können geringqualifizierte Beschäftigte von Weiterbildungsmaßnahmen profitieren; solche senken das Risiko des Arbeitsplatzverlustes (vgl. Hornberg et al., 2021, 44). Die Angebote von ausgewählten Weiterbildungsanbietern im Rahmen von Industrie 4.0 wurden bei der bayme vbm Studie (vgl. bayme vbm, 2016, 93 ff.; Richter, 2017, 241 ff.) analysiert und drei Jahre später erneut untersucht (vgl. Richter, 2019, 291 ff.). Diese Untersuchung wurde mit Blick auf die jetzige Studie ein drittes Mal durchgeführt. Bei der ersten Analyse wurden Anbieter ausgewählt, die die Teilnehmer vor allem in Süddeutschland rekrutierten. Zur zweiten und dritten Analyse wurde das Spektrum auf bundesweite Anbieter ausgeweitet. Weil die Anbieter in den meisten Fällen von Kammerorganisationen, Unternehmensverbänden, Gewerkschaften oder bundesweit tätigen Unternehmen getragen wurden, änderte sich die Struktur der Anbieter durch den vergrößerten regionalen Fokus nicht. Zielsetzung war es herauszufinden, ob sich bei den Anbietern eine Angebotsstruktur ausbildet, die geeignet ist, die Weiterqualifizierung von Fachkräften zur Gestaltung der digitalen Transformation zu unterstützen.

Es handelt sich dabei um Weiterbildungsangebote, die der non-formalen Weiterbildung zuzuordnen sind. Im Gegensatz zur formalen Weiterbildung, die nach dem Ende der Erstausbildung erfolgt, ist es durch die Teilnahme nicht möglich, einen berufsqualifizierenden Abschluss oder einen Fortbildungsabschluss zu erwerben oder einen Schulabschluss nachzuholen. Auch sind diese Veranstaltungen von

Aktivitäten der informellen Weiterbildung abzugrenzen, die nicht in organisierten Veranstaltungen stattfinden (vgl. Kruppe/Baumann, 2019, 9). Die Teilnehmenden besuchen Kurse oder Seminare. Der Besuch dieser Veranstaltungen kann ohne die Ausstellung eines Nachweises erfolgen, er kann aber auch mit einem Zertifikat abschließen.⁹

Im Rahmen der früheren Analysen konnte festgestellt werden, dass die Kurse und Seminare der externen Anbieter betrieblicher Weiterbildung vorwiegend an die Zielgruppe „Unternehmensleitung, Führungskräfte und Entscheider“ gerichtet waren und bei der inhaltlichen Ausrichtung der Veranstaltungsangebote das übergeordnete Thema „Prozessmanagement“ im Vordergrund stand. Dieses Bild veränderte sich in den Folgejahren: Einerseits waren die Angebote weiterhin durch Veranstaltungen bestimmt, die den Kategorien „Prozessmanagement“ und „Grundlagen/Basiswissen“ zugeordnet werden konnten. Andererseits waren mehr Veranstaltungen in der Kategorie „technische Seminare“ zu verzeichnen. Im Vergleich zu den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchung konnte ein deutlicher Anstieg bei der Anzahl von Veranstaltungen verzeichnet werden, die sich an „Facharbeiter/-innen und Meister/-innen“ richten. Diese Verschiebungen lassen den Schluss zu, dass Industrie 4.0 in Unternehmen bereits Realität war oder der Eintritt in die operative Phase bevorstand (vgl. Richter, 2019, 291 ff.).

4.4.1 Analyse aktueller Angebote

Analysiert wurden Kurs- und Seminarprogramme von 33 Anbietern, die insgesamt 163 Weiterbildungsveranstaltungen anboten, die auf Industrie 4.0 ausgerichtet waren (vgl. Abbildung 9). Es zeigt sich, dass die in den früheren Auswertungen identifizierten Schwerpunkte „Einführung/Basiswissen“, „technische Kurse und Seminare“, „Prozessmanagement“, „Datenschutz/-sicherheit“ und „Mitarbeiterentwicklung“ bestätigt werden. Die Kategorie „rechtliche und ethische Fragen“ wurde aufgrund der analysierten Kurse und Seminare neu hinzugefügt. Durch die geringe Anzahl der Angebote wurden diese in einer Kategorie zusammengefasst. Hinter den Kategorienbezeichnungen verbergen sich nachstehend genannte Schwerpunkte und Kurs- sowie Seminartitel:

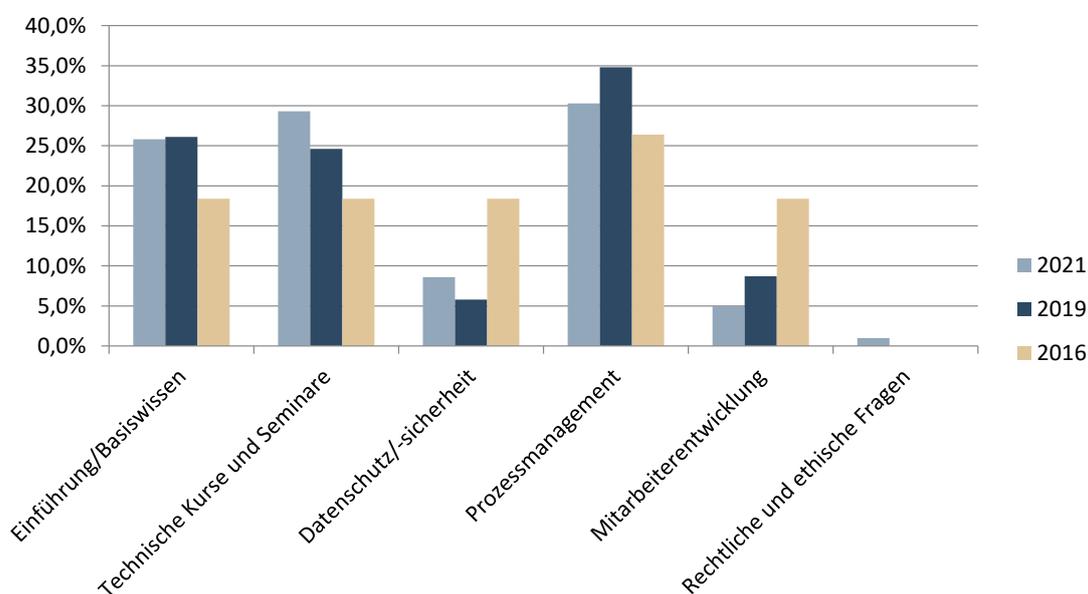
- Einführung/Basiswissen: Veranstaltungen zielen auf begriffliche Klärungen und die Sensibilisierung für Industrie 4.0. Typische Titel lauten: „Industrie 4.0 – Abschied von den Fabrikmauern“, „Industrie 4.0 – Automatisierung: Fluch oder Segen?“, „Industrie 4.0: Smart Factory“.
- technische Kurse und Seminare: Es handelt sich um technologische Schwerpunkte in Form von einführenden Veranstaltungen oder solchen mit realen praktischen Übungen. Exemplarische Titel lauten: „Robotertechnik – Stand der Technik, Applikationen und Programmieren kompakt“, „Predictive Maintenance: Zustandsbasierte Instandhaltung“.
- Datenschutz/-sicherheit: Im Mittelpunkt stehen Fragen und Maßnahmen zum generellen Schutz personenbezogener Daten und der Daten eines Unternehmens. Exemplarische Themen sind: „Cybersecurity: Schützen Sie Ihr Unternehmen“, „Datenschutz und IT-Sicherheit im Rahmen von Digitalisierung und Industrie 4.0“.
- Prozessmanagement: Es werden die Chancen und Herausforderungen für Unternehmen durch die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt und Veränderungen der Geschäfts- und

⁹ Sehr spezifische Initiativen wie Weiterbildung aufgrund firmeninterner oder abteilungsinterner Aktivitäten konnten nicht erfasst werden. Als Beispiel dafür sei das Expertengespräch 08 genannt. Dort wird von einer Plattform berichtet, mit deren Hilfe – basierend auf künstlicher Intelligenz – sehr spezifische Qualifizierungsbedarfe ermittelt werden, woraus individuelle Lernpfade entwickelt und umgesetzt werden. Wie wichtig das direkt auf einzelne Personen bezogene Lernen im Betrieb ist, wird auch vom Experten 02 untermauert. Er sieht in der innerbetrieblichen Produktschulung das zentrale Element betrieblicher Weiterbildung.

Wertschöpfungsprozesse thematisiert. Typische Titel lauten: „Industrie 4.0 – vom Konzept zur Umsetzung: Strategien, Anwendungen, Praxisbeispiele“, „So verändert Industrie 4.0 Ihre Geschäftsprozesse“.

- Mitarbeiterentwicklung: Teilnehmende werden über veränderte Kompetenzanforderungen und Handlungsbedarfe informiert und auf veränderte Anforderungen der Mitarbeiterführung vorbereitet. Beispielhafte Titel sind: „Change in der Ausbildung“, „Leadership 4.0“ und „Digitale Führung – Chancen und Herausforderungen“.
- Rechtliche und ethische Fragen: Es werden rechtliche und ethische Fragestellungen behandelt, die sich durch den Einsatz von digitalen Technologien stellen. Beispielhafte Titel: „Kompakteinstieg Ethik und KI“ und „KI – Rechtliche Grundlagen der künstlichen Intelligenz“.

Abbildung 9: Veranstaltungsangebote zur betrieblichen Weiterbildung differenziert nach ihrer inhaltlichen Ausrichtung



Quellen: eigene Erhebung des Autorenteam; Richter, 2019

Im Jahr 2019 dominierte noch das „Prozessmanagement“ mit knapp 35 Prozent, aber die technischen Kurse und Seminare (29,3 Prozent) gewinnen an Bedeutung. 2021 geht das Angebot an Veranstaltungen der Kategorie „Prozessmanagement“ zurück und beträgt aktuell 30,3 Prozent. Der prozentuale Anteil der Veranstaltung mit der Ausrichtung „Datenschutz/-sicherheit“ hat sich im Vergleich zum Jahr 2019 leicht erhöht, ist jedoch mit 8,6 Prozent noch von geringer Bedeutung. Der Anteil der Veranstaltungen zum Thema „Mitarbeiterentwicklung“ hat kontinuierlich abgenommen (5,0 Prozent in 2021). Das legt die Vermutung nahe, dass seitens der Unternehmen der Bedarf an derartigen externen Veranstaltungen gering ist. In den Jahren 2019 und 2016 konnten noch keine Angebote zu der Kategorie „rechtliche und ethische Fragen“ identifiziert werden.

Bemerkenswert ist der mit 46,5 Prozent relativ hohe Anteil an „technischen Kursen und Seminaren“, die im Online-Format durchgeführt werden bzw. durchgeführt werden können. Die Anteile der Online-Veranstaltungen mit anderen inhaltlichen Ausrichtungen sind weniger stark ausgeprägt. Wird das Verhältnis von Online- und Präsenzveranstaltungen abhängig von den Zielgruppen betrachtet, ist der prozentuale

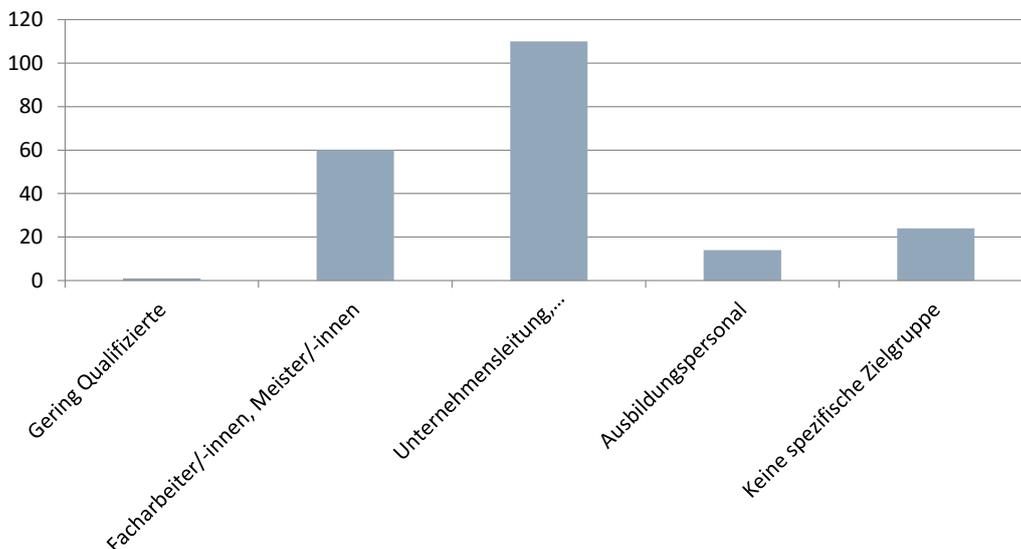
Anteil an Kursen und Seminaren, die im Online-Format durchgeführt werden, für die Zielgruppe „Unternehmensleitung, Führungskräfte, Entscheider“ am größten.

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus dem Jahre 2019 wurde angenommen, dass Unternehmen die mit Industrie 4.0 verbundenen Chancen erkannt haben und sich zunehmend darauf konzentrieren, Industrie 4.0-Strukturen zu realisieren. Diese Einschätzung wurde durch Ergebnisse einer Studie der Staufen AG (vgl. 2018) zum aktuellen Stand der Umsetzung von Industrie 4.0 gestützt. 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.

4.4.2 Zielgruppen der Kurse und Seminare

Bezogen auf die Zielgruppen entfällt der überwiegende Anteil der analysierten Veranstaltungen (74,6 Prozent) auf „Unternehmer, Führungskräfte, Entscheider“ und „Facharbeiter/-innen, Meister/-innen“ (vgl. Abbildung 10). Die meisten Veranstaltungen sind für Unternehmer, Führungskräfte und Entscheider ausgelegt (41,1 Prozent).

Abbildung 10: Veranstaltungsangebote zur betrieblichen Weiterbildung nach Zielgruppen



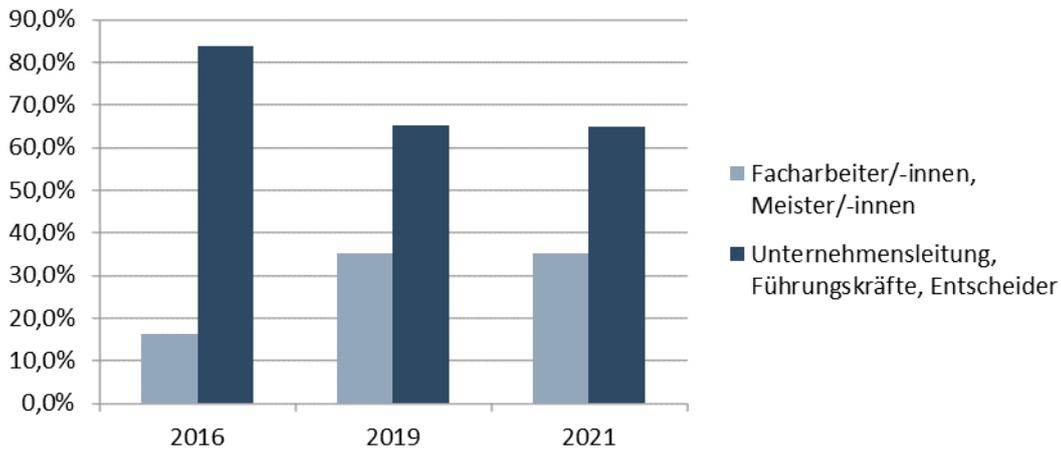
Quelle: eigene Erhebung des Autorenteam

Werden ausschließlich die Veranstaltungen betrachtet, die sich an die Zielgruppen „Unternehmensleitung, Führungskräfte, Entscheider“ und „Facharbeiter/-innen, Meister/-innen“ richten, können die prozentualen Verhältnisse mit den Ergebnissen aus den Jahren 2016 und 2019 verglichen werden (siehe dazu Richter, 2019 und Abbildung 11). Es ist zu erkennen, dass sich die Verteilung der Veranstaltungen verändert hat: Der Anteil der Veranstaltungen für Facharbeiter/-innen und Meister/-innen ist angestiegen, für Unternehmer/-innen hingegen ist der Anteil rückläufig. Dadurch wird die weiter oben formulierte Einschätzung gestützt, dass seitens der Unternehmen ein zunehmender Bedarf an entsprechenden

Qualifizierungen für die Arbeitnehmer/-innen auf Facharbeiter- und Meisterebene besteht, weil Industrie 4.0 in zahlreichen Unternehmen Realität geworden ist.

Erstmals wurden auch die Zielgruppen „gering Qualifizierte“ und „Ausbildungspersonal“ berücksichtigt. Es ist hervorzuheben, dass lediglich eine Veranstaltung identifiziert werden konnte, die auch die Gruppe der gering qualifizierten Beschäftigten adressiert. Es handelt sich um die Veranstaltung „Planspiel: ‚Digitalisierte Produktionssteuerung.‘“ Als Zielgruppen werden „Produktionsleitende, Fertigungsplanende, Mitarbeitende (Maschinenbediener/-innen, Logistik, QM, Montagemitarbeitende)“ benannt. Die Untersuchungsergebnisse zeigen demnach, dass die Gruppe der gering qualifizierten Beschäftigten (aktuell) nicht zu den spezifisch angesprochenen Zielgruppen der Weiterbildungsdienstleister im untersuchten Sample gehört. Inwiefern sie an entsprechenden Weiterbildungsangeboten teilnehmen, lässt sich jedoch nicht analysieren.

Abbildung 11: Entwicklung der prozentualen Verhältnisse von Weiterbildungsangeboten für ausgewählte Zielgruppen



Quelle: eigene Erhebung des Autorenteam

5 Veränderungen in der Arbeitswelt und in den Qualifikationsstrukturen

Die zu beobachtenden Veränderungen in der Arbeitswelt sind eher evolutionärer Natur denn als disruptiv zu beschreiben. Dennoch sind strukturelle Veränderungen in den Unternehmen auszumachen und vor allem die Geschwindigkeit der Veränderungen erfordert erweiterte Maßnahmen zur Anpassung der Qualifikationsstrukturen auf den verschiedenen Ebenen von der Berufsbildgestaltung bis hin zur Gestaltung der Ausbildungsprozesse.

5.1 Ergebnisse zur Digitalisierung der Arbeitswelt aus Unternehmensbefragungen

Für die vorliegende Studie greifen wir Erkenntnisse der Berufsbildungsforschung im Zusammenhang mit Befragungsergebnissen aus Unternehmensbefragungen im IW-Personalpanel auf. Dabei konzentrieren wir uns auf jene Forschungsarbeiten, die unmittelbar im Zeitraum vor beziehungsweise nach der Teilnovellierung veröffentlicht wurden.

Grundsätzlich ist ein Großteil der Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft der Auffassung, dass die Modernisierung von Ausbildungsprofilen und die Integration von Digitalisierungsaspekten in Berufsbildpositionen innerhalb von Berufsbildern geeignet sind, um einen Beitrag zum digitalen Wandel zu leisten. Eine grundlegende Neuordnung oder gar Schaffung neuer Ausbildungsberufe wurde nicht für erforderlich gehalten. Dennoch wurde bereits 2017 ein Modernisierungsbedarf in der M+E-Industrie erkannt. Dies zeigte auch eine repräsentative Unternehmensbefragung des IW (vgl. Abbildung 12). Die bestehenden Freiräume durch die technologie- und gestaltungsoffene Ausrichtung der damaligen Ausbildungsordnungen erschien der Mehrheit der Unternehmen allerdings nicht als ausreichend oder flexibel genug handhabbar, um die Bedürfnisse der Digitalisierung in betrieblichen Lehr-/Lernumgebungen ausreichend abzubilden, sodass folgerichtig eine Teilnovellierung der Ausbildungsberufe zunächst das Mittel der Wahl darstellte.

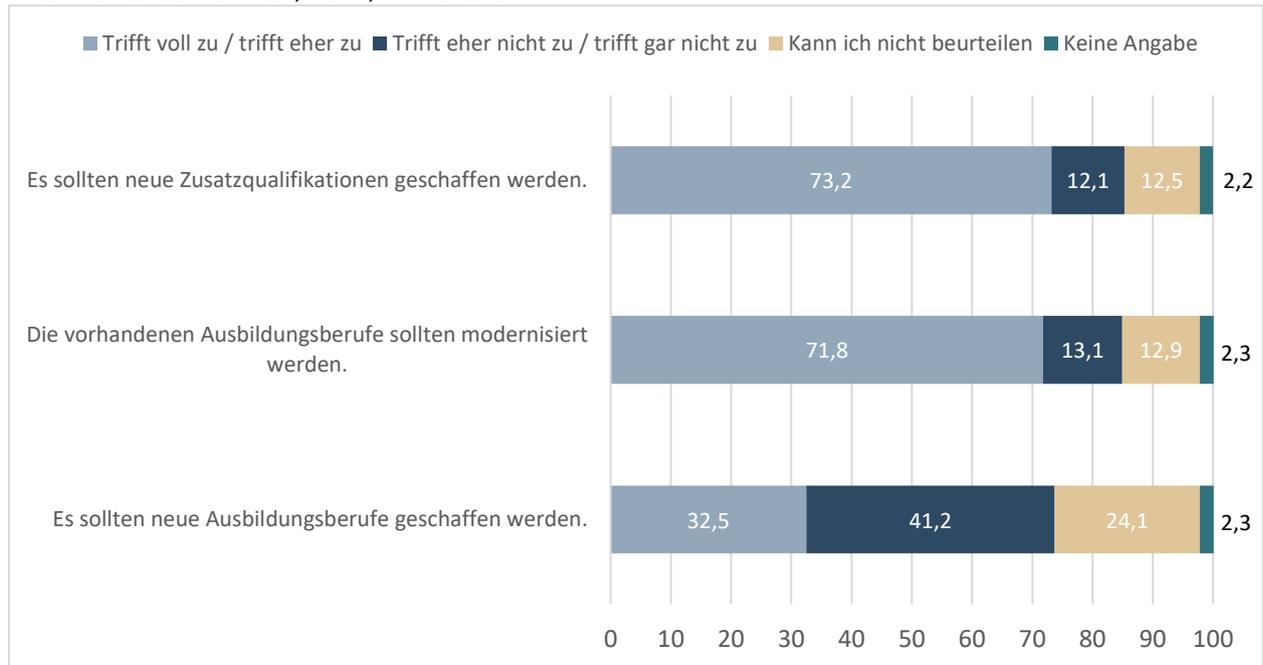
Eine große Mehrheit der Unternehmen sprach sich im Rahmen einer Befragung im IW-Personalpanel 2017 dafür aus, dass neue Zusatzqualifikationen geschaffen und bestehende Ausbildungsberufe modernisiert werden sollten (vgl. Abbildung 12). Der Bedarf zur Schaffung neuer Ausbildungsberufe wird insbesondere von jenen Unternehmen geäußert, die sich noch gar nicht mit dem Thema Digitalisierung in der Berufsausbildung beschäftigt haben. Die Schaffung neuer Berufe findet aber bei der Mehrheit aller Unternehmen keine Unterstützung. Ein Grund hierfür könnte die potenziell langfristige Umsetzung einer solchen Maßnahme im Vergleich zur Novellierung von Ausbildungsordnungen sein. Denkbar ist aber auch, dass Unternehmen, die bereits intensiver den digitalen Wandel gestalten, vorhandene Ausbildungsordnungen flexibler nutzen, um diese Anforderungen im Rahmen der betrieblichen Ausbildung umzusetzen. Wichtig zur Einordnung der Ergebnisse ist, dass diese Einschätzungen Unternehmen über alle Branchen hinweg und mit unterschiedlichen Ausbildungsberufen tragen und nicht den Metall- und Elektrobereich spezifisch abbilden (Flake et al., 2019).

Neben dem geäußerten Bedarf nach strukturellen Änderungen existiert bei Unternehmen auch ein Bedarf an spezifischer Weiterbildung vor allem der Ausbilder, um im digitalen Wandel zu bestehen. So meldet in einer weiteren repräsentativen Unternehmensumfrage im Rahmen des IW-Personalpanels 2019 (Seyda et al., 2019) rund jedes zweite Unternehmen Weiterbildungsbedarf seiner Ausbilder zur Gestaltung der betrieblichen Ausbildung im digitalen Wandel an. 44 Prozent der befragten Unternehmen geben an, dass ihre Ausbilder Weiterbildungsbedarf im Bereich der digitalen Fachkompetenzen, wie etwa dem passenden Umgang mit betriebsspezifischer Software oder mit Maschinen, haben. Diese

Kompetenzen sind je nach Branche sehr wichtig, um die betriebliche Ausbildung im eigenen Unternehmen auf die Anforderungen der zunehmenden Digitalisierung hin auszurichten. Unternehmen mit vorrangig gewerblich-technischen Ausbildungsberufen berichten von einem höheren Weiterbildungsbedarf als Unternehmen mit kaufmännischen Ausbildungsberufen.

Abbildung 12: Bedarf der Unternehmen bei der Modernisierung von Ausbildungsordnungen

Anteil von Unternehmen, 2017, in Prozent



Quelle: IW-Personalpanel 2017; gewichtete Hochrechnung: N = 830

Auch Ergebnisse aus dem IW-Personalpanel 2020 verdeutlichen die anhaltende Bedeutsamkeit von digitalen Fachkompetenzen: Über alle Berufsgruppen hinweg geben 83,4 Prozent der befragten Unternehmen an, dass sie es als sehr wichtig ansehen, dass Fachkräfte mit abgeschlossener Berufsausbildung oder Aufstiegsfortbildung in der Lage sind, berufs- und fachspezifische Software anzuwenden.

Bei der Bedeutung des Umgangs mit Maschinen zeigen sich hingegen starke branchenspezifische Unterschiede zwischen Dienstleistungsunternehmen und Unternehmen aus dem Bereich Industrie und Bau, in dem auch die M+E-Industrie verankert ist (Risius, 2020). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, branchenspezifischen Herausforderungen unterschiedlich zu begegnen.

Hinsichtlich der in diesem Bericht betrachteten Teilnovellierung der M+E-Berufe ergibt sich aus der empirischen Ausgangssituation eine besondere Relevanz der Unterstützung von Unternehmen zur erfolgreichen Umsetzung der neuen Ordnungsmittel. Allerdings verfolgen nur knapp vier von zehn Unternehmen die Digitalisierung der Ausbildung strategisch.

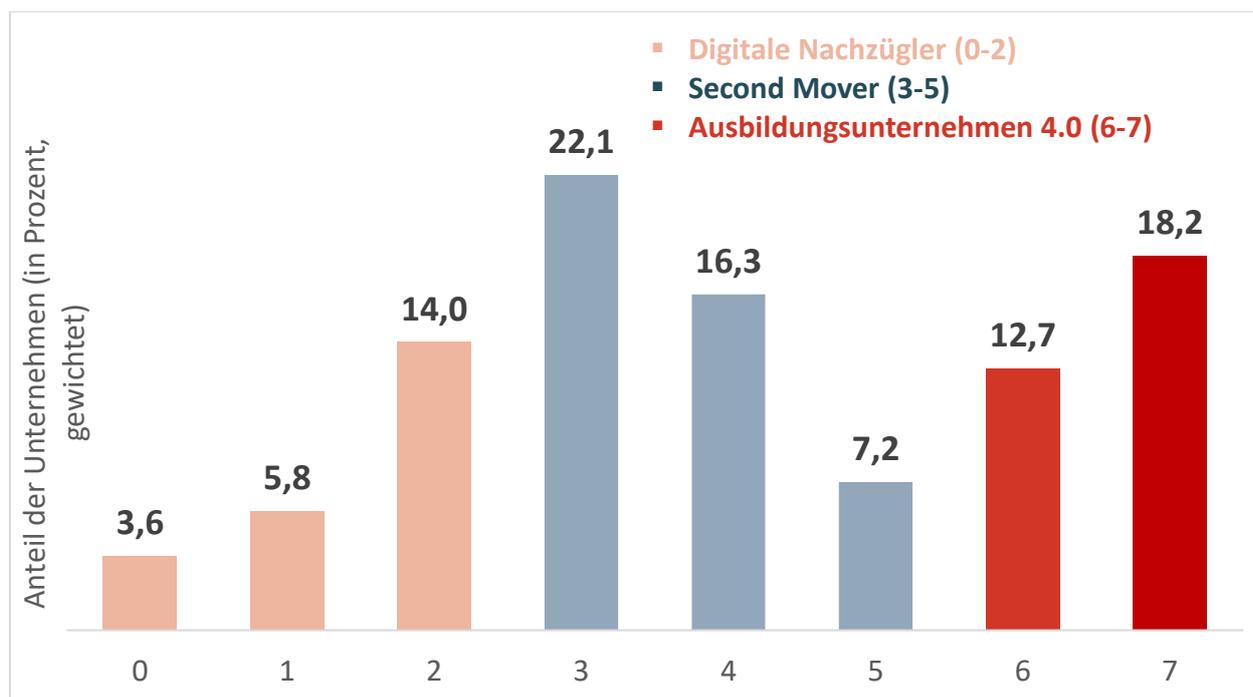
In knapp einem Viertel aller Unternehmen spielt die Digitalisierung der Ausbildung noch kaum eine Rolle, sie gelten als digitale Nachzügler (vgl. Risius/Seyda, 2020), wobei auch die Entwicklungen im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie nicht zu einem Aufholen der Nachzügler geführt hat (vgl. Risius, 2020). In den IW-Index „Ausbildungsunternehmen 4.0“ fließen zahlreiche Indikatoren ein, die in folgende vier Handlungsfelder im Unternehmen zusammengefasst werden:

- Beschäftigung mit der Digitalisierung in der Ausbildung (0 bis 2 Punkte),
- Was: Es werden digitale Inhalte vermittelt (0 bis 2 Punkte),
- Wie: Es werden digitale Lernmedien eingesetzt (0 bis 2 Punkte),
- Wer: Ausbilder machen sich laufend vertraut mit neuen Technologien (0 bis 1 Punkt).

Insgesamt können Unternehmen auf dem IW-Ausbildungsindex sieben Punkte erreichen. Immerhin drei von zehn Unternehmen konnten bereits im Jahr 2019 zu den digitalen Vorreitern gezählt werden, weil sie auf allen betrieblichen Handlungsfeldern sehr aktiv waren und erzielten auf dem IW-Index sechs oder sieben Punkte (Risius/Seyda, 2020; Abbildung 13). Darin sind zwar anteilig deutlich mehr Großunternehmen vertreten als kleine, allerdings finden sich darunter auch viele kleine und mittlere Unternehmen. Der Anteil der digitalen Vorreiter wächst, allerdings mit nur geringer Geschwindigkeit.

Dieser insgesamt sehr unterschiedliche Umsetzungsstand ist ein erstes Anzeichen dafür, dass die Umsetzung der Novellierung der Ausbildungsinhalte in Unternehmen von sehr unterschiedlichen Startpunkten heraus erfolgt.

Abbildung 13: Index „Ausbildungsunternehmen 4.0“ – heterogener Umsetzungsstand der Digitalisierung in der betrieblichen Ausbildung



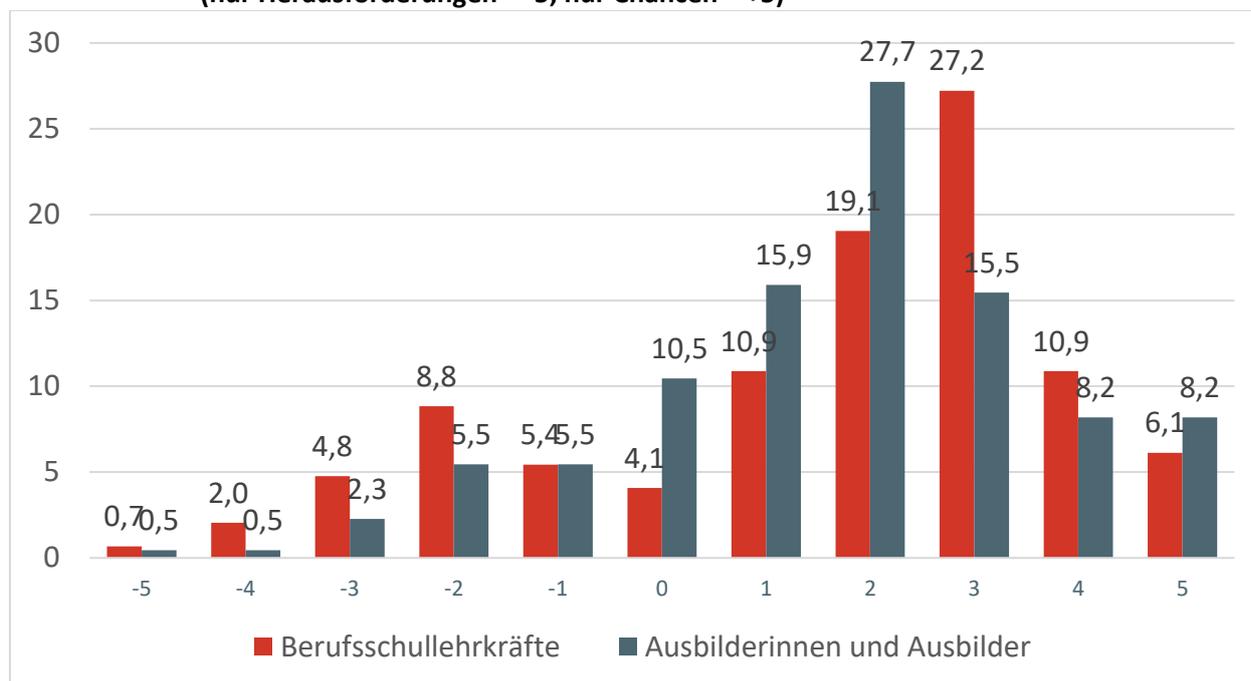
Quelle: IW-Personalpanel 2019, N = 710; Datenbasis: Unternehmen, die aktuell ausbilden oder in den letzten fünf Jahren ausgebildet haben, in Prozent

Die zunehmende Digitalisierung verändert auch die Zusammenarbeit von Ausbildungsbetrieben und Berufsschulen, stärkt die Intensität der Lernortkooperation, aber erhöht zugleich auch den Bedarf an Abstimmung zwischen den dualen Partnern (Risius/Meinhard, 2021). Von Seiten des Berufsbildungspersonals überragen die wahrgenommenen Chancen der Digitalisierung in der beruflichen Ausbildung dabei deutlich die wahrgenommenen Herausforderungen (Abbildung 14). So sieht jeweils eine deutliche Mehrheit sowohl der befragten Lehrkräfte (74,1 Prozent) als auch der Ausbilder (75,5 Prozent) vorrangig

Chancen in der Digitalisierung, während nur wenige der befragten Lehrkräfte (21,7 Prozent) und der Ausbilder (14,3 Prozent) die Risiken betonen. Insgesamt sind die Ausbilder in Unternehmen in ihrer Einschätzung etwas verhaltener als Lehrkräfte an Berufsschulen.

Dieses Kernergebnis eines positiven Blicks des Berufsbildungspersonals auf die Digitalisierung in der Ausbildung deckt sich mit einer anderen repräsentativen Unternehmensbefragung des IW, in der 82,2 Prozent und damit die überwiegende Mehrheit der Unternehmen angab, mehr Chancen als Risiken zu sehen. Somit sind neben dem Berufsbildungspersonal auch Entscheidungsträger und Personalverantwortliche in Unternehmen optimistisch eingestellt (vgl. Risius, 2020).

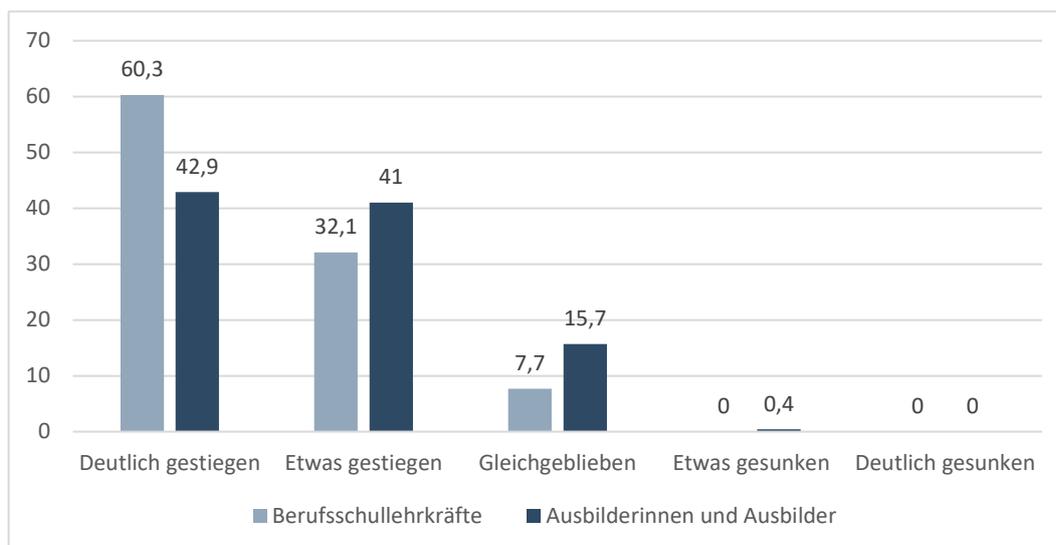
Abbildung 14: Einstellung des Berufsbildungspersonals zur Digitalisierung der beruflichen Ausbildung (nur Herausforderungen = -5; nur Chancen = +5)



Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft, Netzwerk Q 4.0-Befragung des Berufsbildungspersonals, 2021; N (Berufsschullehrkräfte) = 147, N (Ausbilder) = 220

Nach wie vor fühlen sich allerdings knapp ein Viertel der befragten Lehrer und Ausbilder unsicher im Umgang mit digitalen Lernmedien (vgl. Risius et al., 2021). Insgesamt hat der Weiterbildungsbedarf aus Sicht des Berufsbildungspersonals zwischen 2018 und 2020 deutlich zugenommen. In einer Studie berichteten 92 Prozent aller befragten Berufsschullehrkräfte und 83 Prozent aller befragten Ausbilder von einem Anstieg, weniger als ein Prozent beider Berufsgruppen hingegen von einer Abnahme des Weiterbildungsbedarfs (Abbildung 15).

Abbildung 15: Veränderung des Weiterbildungsbedarfs des Berufsbildungspersonals (2017 bis 2020)



Quelle: Befragung des Berufsbildungspersonals, 2020; N (Berufsschullehrkräfte) = 156, N (Ausbilder) = 261

5.2 Ergebnisse zu Entwicklungen in der Arbeitswelt aus Fallstudien und Expertengesprächen

In den Unternehmen der M+E-Industrie ist die aus anderen Studien bekannte Technologielandschaft anzutreffen und schlägt sich in veränderten Handlungsfeldern für die Beschäftigten nieder. Interessanterweise wird dabei nicht allein ein Wandel hin zu digitalisierten Arbeitsumgebungen und mediengestützten Arbeitswelten sichtbar, sondern eine auf die Unternehmensaufgaben (in und für die Produktion) ausgerichtete Durchdringung etablierter Aufgabenstellungen mit Digitalisierung.

5.2.1 Relevanz von Technologien und Handlungsfeldern

Bei den Fallstudien und Expertengesprächen wurden ergänzend zwei Fragebögen eingesetzt (siehe Anhang). Einer der Fragebögen zielte darauf, dass die Befragten (Experten aus der Produktion, Ausbildungsleiter, Arbeitsvorbereiter, Fertigungsleiter, Wissenschaftler, Projektleiter, Lehrkräfte) bewerten sollten, welche Technologien in der M+E-Industrie zukunftsrelevant sind. Der zweite Fragebogen zielte darauf, einzuschätzen, welchen Stellenwert die generischen Handlungsfelder¹⁰ haben werden, die die Produktionsorganisation bestimmen und inwieweit dort die digitale Transformation bereits Wirkungen zeigt.

Generische Handlungsfelder Industrie 4.0 beschreiben neue Anforderungen und Aufgaben in Gebieten, die typisch sind für das Industrie-4.0-Umfeld. Sie werden hier verstanden als zusammengehörige Aufgabenkomplexe, die eine Fachkraft in ihrem Arbeitsumfeld bewältigen muss (vgl. bayme vbm, 2016, 126).

¹⁰ Die hier zu Diskussion stehenden „generischen Handlungsfelder“ wurden im Rahmen der bayme vbm Studie (2016) identifiziert.

Ein generisches Handlungsfeld beschreibt also typische Aufgaben der industriellen M+E-Berufe, wie etwa die Instandhaltung, bringt diese aber in einen Zusammenhang mit den durch die Digitalisierung hervorgerufenen neuen Qualifikationsanforderungen. Dies sind bei der Instandhaltung Aspekte des Asset-Managements, der präventiven Instandhaltung, der zustandsbasierten Überwachung und der Diagnose mit digitalisierten Tools. Die Digitalisierungsaspekte wurden den Befragten entsprechend stichwortartig mitgeteilt, um den Bewertungsprozess zu unterstützen.

Generische Handlungsfelder Industrie 4.0

Anlagenplanung – mittels Planungssoftware / Simulation / digitale Zwillinge
 Anlagenaufbau – mit digitalen Planungswerkzeugen / digitale Fabrik / Virtual Reality / Augmented Reality
 Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme – inkl. softwaregestützter Vernetzung
 Anlagenüberwachung – mit Prozessvisualisierungs- und -steuerungssoftware
 Prozessmanagement – Visualisierung / Monitoring / Koordinierung / Organisation
 Datenmanagement – Umgang mit Betriebsdaten / Softwarezugang / Parametrieren / Programmieren
 Instandhaltung – Asset Management / vorausschauend / Einsatz von Diagnosesystemen
 Instandsetzung – auch softwaregestützt an vernetzten Anlagen
 Störungssuche und -behebung mittels Ferndiagnose, softwaregestützt

Zu den generischen Handlungsfeldern wurde die folgende Frage gestellt, die auf einer Skala mit vier Stufen (keine Bedeutung, noch geringe Bedeutung, fester Bestandteil, zukünftig noch wichtiger) eingeschätzt werden konnte:

„Bitte bewerten Sie die aktuelle Bedeutung der beruflichen Handlungsfelder in Ihrem Unternehmen.“

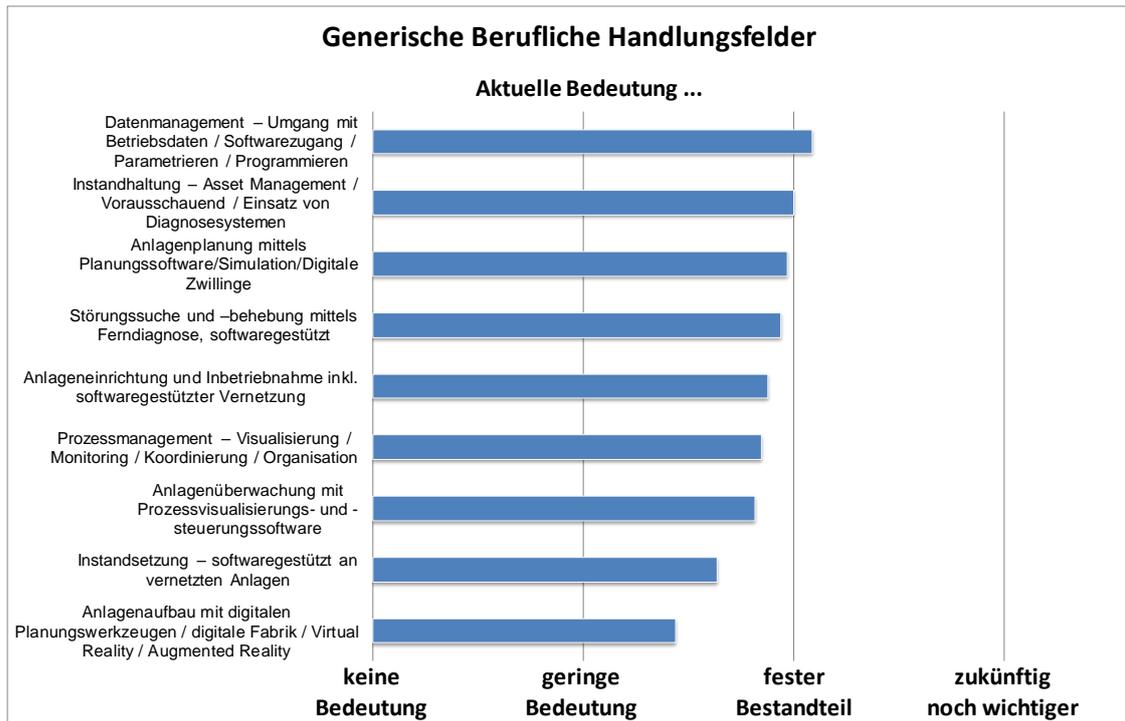
Zur Relevanz der Technologien im Kontext zu Industrie 4.0 wurden die Befragten gebeten, den Grad der Anforderungen für die Fachkräfteebene auf einer Dreier-Skala mit den Optionen „gar nicht gefordert“, „mäßig gefordert“ und „stark gefordert“ (zusätzlich: „kann ich nicht beurteilen“) einzuschätzen:

„Bitte bewerten Sie die aktuelle Bedeutung der Technologien und Aufgabenbereiche für Fachkräfte in Ihrem Unternehmen.“

Die Ergebnisse sind in Abbildung 16 sowie Abbildung 17 dokumentiert und zeigen zunächst eine durchgängige Relevanz der Technologien und auch der generischen Handlungsfelder für die Industrie 4.0. Dies ist erst einmal methodisch begründet, denn es wurden für die verwendeten Items ja bereits im Vorfeld eben solche ausgewählt, für die eine Relevanz zumindest zu vermuten war.

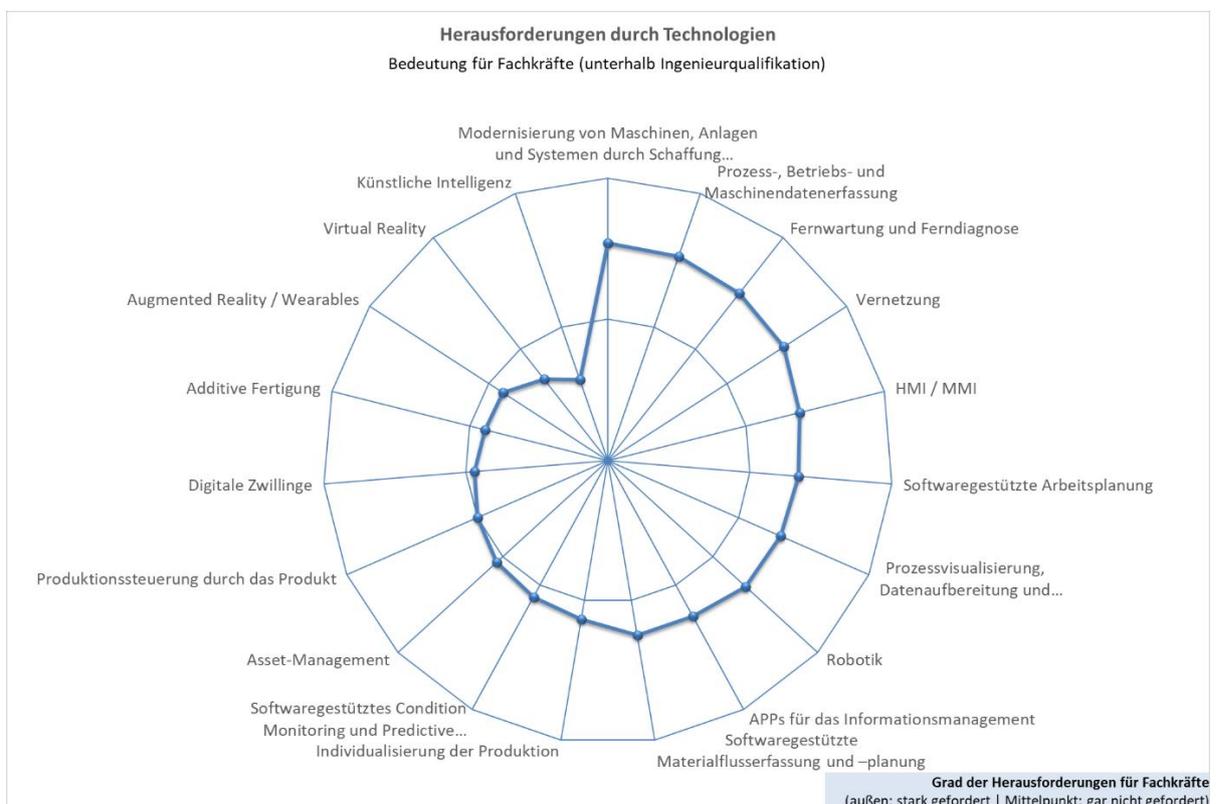
Umso interessanter sind die Einschätzungen bei genauerer Betrachtung unter Einschluss der Beobachtungen, Expertengespräche und Interviews in den Fallstudien selbst. Mit den geringen Fallzahlen (N = 34 und N = 39) ist auch keine repräsentative quantitative Befragung beabsichtigt, sondern eine Abschätzbarkeit der Bedeutung derzeit als relevant eingeschätzter Digitalisierungstrends für die Facharbeit in der Produktion. Abgebildet sind jeweils die Mittelwerte der numerisch skalierten Antworten. Eine Antwort als „zukünftig noch wichtiger“ zieht den jeweiligen Balken in Richtung einer höheren Bedeutung. Befragt wurden ausschließlich Personen, die als Experten für das Produktionsumfeld gelten oder aus einer leitenden Tätigkeit in der Ausbildung einen sehr guten Überblick über die Produktionsanforderungen im jeweiligen Unternehmen haben.

Abbildung 16: Einschätzung der Befragten zur Bedeutung der generischen Handlungsfelder Industrie 4.0



Quelle: eigene Darstellung (N = 34)

Abbildung 17: Einschätzung der Befragten zum Grad der Herausforderung für Fachkräfte durch typische Digitalisierungstechnologien



Quelle: eigene Darstellung (N = 39)

Bedeutung der generischen Handlungsfelder

Von den abgefragten generischen Handlungsfeldern wird der Anlagenaufbau mit virtuellen Tools in ihrer Bedeutung für die Facharbeit noch am geringsten eingeschätzt. Auch in den Fallstudien wurden kaum konkrete Aufgabenstellungen für Fachkräfte identifiziert, die Produktionsanlagen mit Ansätzen der AR- oder VR-Technologie geplant und aufgebaut haben. Meist werden solche Planungstools über das Engineering in neu aufgesetzten Planungen zu Fabrikanlagen eingeführt und betreffen eher logistische Prozesse und Flächenplanungen. Fachkräfte werden aber immer häufiger mit virtualisierten Tools konfrontiert, wenn Produktionsaufgaben miteinander gekoppelt werden (zum Beispiel Robotiklösungen zur Entnahme und Bestückung von Teilen und Zuführung an Messeinrichtungen oder weiteren Fertigungsstationen wie das Schleifen – vgl. unter anderem Fall 08, 09, 12, 14 sowie Experte 09). Dort kommen Tools wie Siemens NX zum Einsatz, in denen verschiedene Simulationsansätze (etwa CNC-Programme, Robotik-Programme und SPS-Programme) miteinander gekoppelt werden und für die konkrete Produktionsplanung (Feintuning, Bearbeitungsparameter) das erfahrungsbasierte Know-how der Fachkräfte gebraucht wird.

Instandsetzungsaufgaben in der Produktion betreffen mehr und mehr softwareseitig das Bewerten, Dokumentieren und Zurücksetzen von Meldungen in Leitwarten oder Produktionssteuerungen. Insofern sind solche Aufgabenstellungen zwar noch lange nicht in allen Betrieben zu einem festen Bestandteil geworden, aber vor allem im Bereich der Serienproduktion (zum Beispiel Fall 12 und Fall 14) müssen Fachkräfte nicht mehr nur Meldungen an einzelnen Maschinen und Anlagen quittieren, sondern die über die Software bereitgestellten Funktionalitäten nutzen, um „normale Begleiterscheinungen“ in der Produktion von Störungen zu unterscheiden, Meldungen in MES-Systemen zu beobachten und zu dokumentieren und gegebenenfalls geeignete Instandsetzungsaufträge zu generieren (vgl. Fall 08 und Fall 09).

Im Bereich der Anlagenüberwachung wird in nahezu allen Fallstudienunternehmen mit Qualitätsmanagementsystemen und zugehörigen QM-Übersichten zu Produktionsdaten und Qualität der Produktion gearbeitet. Die konkrete Anlagenüberwachung an den Maschinen und Anlagen erfolgt dabei zunehmend digital (vgl. Fall 08), auch wenn trotz Verfügbarkeit eines Manufacturing Execution System (MES) oder Enterprise Resource Planning System (ERP) noch sehr häufig Aushänge auf analogen Produktionstafeln in Papierform üblich sind und aus guten Gründen nicht abgeschafft wurden (vgl. Fall 13). Dennoch sind die Daten für die Anlagenüberwachung selbst inzwischen durchgängig als fester Bestandteil durch Fachkräfte in digitaler Form zu erfassen und weiterzuverarbeiten.

Mit der Anlagenüberwachung in engem Zusammenhang stehend befassen sich Fachkräfte mit dem Prozessmanagement inzwischen als festem Bestandteil der Arbeit. Sie sorgen dafür, dass Daten aus dem Shopfloor-Management visualisiert, gemonitort und deren Weiterverarbeitung organisiert wird (vgl. Fall 03). In seltenen Fällen (zum Beispiel Fall 05) werden dazu bereits insbesondere via OPC-UA erfasste Maschinendaten in Tools wie TULIP (vgl. Experte 09) aufbereitet, um Informationen für die Produktionsoptimierung zu gewinnen. Der Trend hin zu einer systematischen Maschinendatenerfassung (MDE) oder gar Betriebsdatenerfassung (BDE) ist allerdings noch nicht weit verbreitet, sondern eher die Zuführung der Prozessdaten für dafür spezialisierte Unternehmensbereiche einerseits und die unmittelbare Handhabung von Maschinendaten über die Terminals / Human-Machine-Interfaces (HMI) zur Optimierung an einzelnen Fertigungsstationen andererseits. Es sind jedoch auch kleinere Unternehmen erkennbar, die Shopfloor-Managementsysteme zur Erfassung der Maschinendaten einsetzen und immer häufiger auch eine digitalisierte Produktion abbilden und überwachen (vgl. Fall 15 und Experte 10).

Gerade bei neuen Produktionsanlagen und deren Modernisierung ist die Einrichtung und Vernetzung der Anlagen mit Digitalisierungswerkzeugen inzwischen fester Bestandteil der Aufgaben. Vor allem dort,

wo Robotiklösungen oder Stationen übergreifende Montage- und Fertigungsoperationen implementiert werden, richten Fachkräfte der M+E-Industrie diese ein und kümmern sich um deren Vernetzung. Teamarbeit von Fachkräften mit beruflicher Qualifizierung und Ingenieuren ist dabei durchaus gängige Praxis (vgl. Fall 04 und Fall 14). Dabei geht es zwar sehr häufig um informationstechnische Aufgabenstellungen (IP-Vernetzungsstruktur, VPN-Zugänge/Tunnel, IP-Zonen, IP-Vergabe, Adressierung, Firewall, IT-Sicherheit etc.), was eine Domäne für IT-Berufe darstellt, jedoch ist vermehrt auch die Sicherstellung der damit einhergehenden Verfügbarkeit von Sensor- und Aktordaten bis hin zu ganzen Datensätzen für Produktionsanlagen relevant für alle in der Produktion tätigen Berufe (vgl. Dlugosch, 2021, 22 ff.). Im laufenden Betrieb sind von Fachkräften der M+E-Industrie oft Aufgabenstellungen zur Justage und Parametrierung zu erledigen (zum Beispiel Fall 01 – Automatisierungslösung für das Gewindeformen, Fall 12 – Nachjustierungen an einer Rollieranlage, Fall 02 – neu justieren von automatisierten Großsägeanlagen, Experte 11 und 14), die den Charakter einer Anlageneinrichtung haben (also neben der Erstinbetriebnahme auch Anlagenänderungen im Aufgabengebiet haben).

In allen Betrieben gehört mittlerweile die Störungssuche und -behebung mit Softwaretools und auch die Ferndiagnose zum festen Bestandteil der Aufgabenstellungen. Auch wenn längst nicht alle Produktionsanlagen über eine Internetschnittstelle verfügen, werden Ansätze für die Störungssuche und -analyse nur noch in Ausnahmefällen ohne den Einsatz von Softwarelösungen realisiert.

Die Anlagenplanung mittels Simulationen, entsprechender Software und auch der Einsatz digitaler Zwillinge ist zunehmend fester Bestandteil der Aufgabenstellungen in den M+E-Berufen (vor allem bei Technikern und Meistern), allerdings in Kooperation mit Ingenieuren:

Robotiklösungen für Kunden sind in der Regel so komplex, dass diese zuvor durchgängig in virtuellen Umgebungen aufgebaut, simuliert und programmiert werden. Hier kommen Programme wie Siemens NX und Kuka.Sim zum Einsatz (Ansätze des digitalen Zwillings). Solche Aufgaben werden von Ingenieuren und Technikern wahrgenommen und übersteigen die Kompetenzen von Facharbeitern. *„Hier sind Spezialisten gefragt; selbst von vielleicht zehn Studierenden ist eventuell einer nach Jahren der Einarbeitung kompetent genug, um solche Aufgaben zu übernehmen“* (Fall 09).

„Von der einzusetzenden Robotik bis hinunter zum zu verwendenden Code der SPS sind in der Regel kundenspezifische Standards zu erfüllen; zum Beispiel Integra¹¹ bei Daimler. Damit geht eine zunehmende Einführung von Ansätzen des digitalen Zwillings einher, weil die Funktionalität der Produktionsanlagen bereits im Vorfeld zu überprüfen ist. Für Personen mit einer beruflichen Erstausbildung sind Aufgaben der Konzipierung und auch kundenspezifischen SPS-Programmierung meist zu ambitioniert und werden in Projektteams realisiert, in denen Ingenieure und Techniker neben der Auslegung und Konzeption auch die SPS-Programmierung übernehmen. Die Montageaufgaben im Werk (Vormontage) sowie beim Kunden übernehmen dagegen meist EBT bzw. Personen mit einer beruflichen Ausbildung“ (Fall 09).

Die digitalisierte Anlagenplanung wird durch die verstärkte Einführung entsprechender HMI-Interfaces als Standard neuer Maschinen gepusht. Simulationen finden immer weniger im Bereich einer zentralen Arbeitsvorbereitung statt und stattdessen (da flexibler) im Zusammenhang mit der Arbeit direkt an den Fertigungs- und Produktionseinrichtungen (vgl. Fall 03).

¹¹ Integra: Automatisierungsstandard und Steuerungssoftware bei Daimler: https://www.lbcg.com/media/downloads/events/607/D2_9_20_Ali_Akca_Daimler_AG_Mercedes_Benz_Trucks.1480425472.pdf

Im Bereich der Instandhaltung wird die Digitalisierungsdurchdringung besonders deutlich. Die mittlerweile nicht mehr neuen Ansätze der Zustandsüberwachung, der vorausschauenden Instandhaltung, der softwaregestützten Wartung und schließlich gar des Asset-Managements werden immer mehr zum Alltag in der Instandhaltung. Durch die Verbindung zwischen Produktionsumgebung und Software für das Instandhaltungsmanagement ist gerade hier ein Trend hin zum Einsatz von Mechatronikern wahrnehmbar:

„Bis vor einigen Jahren dominierten im Unternehmen die Industriemechaniker. Sie waren vor allem für die Montage bestens geeignet – heute werden dafür Mechatroniker eingesetzt“ (Fall 08).

„Die Zahl der Mechatroniker wurde hingegen verdoppelt. Der Grund dafür ist, dass die Mechatroniker die „elektrotechnische Unterweisung“ mitbringen und deshalb auch an elektrischen Anlagen arbeiten können“ (Fall 14).

„Die Mechatronik trifft die Aufgabenverschiebung ganz gut; daher passt die Ausbildung von Mechatroniker/-innen anstatt von Industriemechaniker/-innen für die Instandhaltung auch“ (Instandhaltungsleiter Fall 12).

In allen Fallstudienbetrieben und Expertengesprächen wurde deutlich, dass alle Mitarbeiter in der Produktion im Alltag mit dem Management von Daten befasst sind. Oftmals sind es erst einmal gar nicht die direkten Produktionsdaten, sondern das Handling von Auftragsdaten, Arbeitsplanungsdaten, Personalplanung, Urlaubsplanung und weiteren Betriebsdaten, die alle Mitarbeiter mit Tablets, Smartphones und sonstigen Computern handhaben müssen. Das Datenmanagement steht stets in einem engen Zusammenhang mit der Einführung von MES-Systemen in der Produktion (vgl. etwa Fall 06, 07, 12, 14). Typisch ist, mit den Daten den Produktionsfortschritt zu erfassen und zu dokumentieren sowie notwendige Ressourcen (Material, Personal) und überhaupt den Arbeitsprozess zu planen. Expertengespräche belegen die Bedeutung von Daten für die Produktion und Fachkräfte:

„Daten Security; Was ist Big Data? Was ist Software, was ist Service? Was sind Cloud-Lösungen? Grundzüge KI: Was kann es leisten? Grenzen und Möglichkeiten; IoT; maschinelles Lernen; Verknüpfung von Aktoren und Sensoren mit Übertragungstrecken und Software und Datentransfer sowie der Verarbeitung größerer Datenmengen ... dies sind die Themen, aus denen die Innovationen entstehen“ (Experte 04, Seite 5 f.).

„Aufgrund der hohen Produktionszahlen wurde das Ziel verfolgt, eine Skalierbarkeit herzustellen und Daten über die Maschinenbelegung zu bekommen. Es ging also um die Implementierung eines Manufacturing Execution Systems (MES). Verbunden wurde dieses mit M-Soft für die Stücklistenidentifikation und Materialplanung. Auch die Arbeitszeiten werden über dieses System erfasst. Jeweils auf einer Fläche von rund 100 m² steht ein Terminal, von welchem die Mitarbeiter die Fertigungsdaten ablesen können, um davon abhängig die Produktion weiter zu optimieren“ (Experte 10, Seite 2 f.).

„Es gibt in der Ausbildung bereits Projekte für

- das Auslesen von Maschinendaten,*
- den Aufbau von Kenntnissen von Daten an Maschinen und deren Nutzung für die Kundenberatung,*
- Umgang mit Software zu entwickeln,*
- Kundenberatung auf Basis der erfassten Daten,*

- *Analyse von Daten zur Feststellung von Maschinen- und Werkzeugverschleiß und anderes“ (Experte 11, Seite 6).*

Die Verbindung der verschiedenen Handlungsfelder mit Digitalisierungstechnologien und untereinander konnte in den Unternehmen deutlich ausgemacht werden. Diese führt zu interdisziplinären Arbeitsweisen, die auch als ebensolche Qualifikationsanforderungen ihren Niederschlag finden. Die Entwicklungen zu den Handlungsfeldern in den Betrieben (vgl. Kapitel 4.2) konnte durch die Expertengespräche und Fallstudien (vgl. Experten 14, 11, 16 und Fall 02, 05, 08) bestätigt sowie genauer beschrieben werden und stellt die überwiegend disziplinär ausgerichtete Ausbildungspraxis in Frage, wie nachstehende Aussagen untermauern:

„Den Blick über die Arbeitsgrenzen hinweg entwickeln, mehr von den Produkten und Produktionsprozessen her denken. Diese Verknüpfungen müssen innerhalb der Ausbildung schon gefördert werden, um die Wirkungszusammenhänge zu verstehen – Die Fachsprache des anderen Experten muss verstanden werden“ (Fall 12).

„Heute wird die Konstruktion und Steuerung von Robotern zusammengeführt und per Simulation erprobt. Das macht es erforderlich, dass verschiedene Berufsgruppen, wie beispielsweise Elektriker für Automatisierungstechnik, Elektriker für Betriebstechnik und Mechatroniker eng kooperieren müssen“ (Fall 09).

„Die Digitalisierung im Unternehmen schreitet weiter voran. Ziel ist, alle Arbeitsbereiche stärker miteinander zu vernetzen. Hier wird von den Mitarbeitern verlangt, dass sie diese Zusammenhänge verstehen und nachvollziehen können, wie diese Prozesse zusammenhängen“ (Fall 15).

Bedeutung der digitalen Technologien

Hinsichtlich der digitalisierten Technologien sind im Vergleich zur Bedeutung der generischen Handlungsfelder deutlich größere Unterschiede auszumachen. Während die Modernisierung von Maschinen, Anlagen und Systemen durch Schaffung digitaler Schnittstellen und Bedienkonzepte die Fachkräfte bereits stark fordert, ist das Thema der künstlichen Intelligenz in den Unternehmen auf Fachkräfteebene noch kaum sichtbar (vgl. Abbildung 17). Auch im Abgleich zu den Einschätzungen zu generischen Handlungsfeldern sind Virtualisierungsansätze wie VR, AR, Wearables noch wenig auf Fachkräfteebene relevant.

Gegenüber der mittlerweile doch erkennbaren Zunahme der Nutzung des 3-D-Drucks und der additiven Fertigung in der Ausbildung ist im Rahmen der Produktion diese Technologie noch unterdurchschnittlich stark gefordert; sie taucht in den Fallstudienunternehmen in Einzelfällen auf (Fall 04, 05, 10) und wird dann von Spezialisten beziehungsweise spezifisch dafür weitergebildeten Personen wahrgenommen.

Ansätze des digitalen Zwillings und der Produktionssteuerung durch das Produkt (Einsatz von RFID) sind in den Unternehmen mittlerweile häufiger anzutreffen und fordern die Fachkräfte eher mäßig, weil diese im betrieblichen Einsatz befindlichen Technologien bereits gut beherrscht werden. Technologien rund um das Asset-Management und die softwarebasierte Instandhaltung werden ebenso kontinuierlich in den Produktionsprozess eingebunden, sodass die Fachkräfte in diese Technologien hereinwachsen und diese als fordernd, aber nicht zu stark fordernd wahrnehmen.

„Im Bereich der Instandhaltung gewinnt durch die datengestützte Regelung, die teils auch aus der Ferne stattfinden kann, das Asset-Management an Bedeutung. Das Asset-Management wird von Mechatronikern ausgeführt oder von Absolventen des dualen Studiums“ (Fall 08).

„Sie benötigen für die Störungssuche eine praxisorientierte Logik. Die Störung an einem Knoten in der Produktion muss unter Berücksichtigung der vorgelagerten und nachgelagerten Prozesse analysiert werden. Im Unternehmen sind vor allem für die vorbeugende Instandhaltung Fachkräfte notwendig, die Prozessabläufe logisch durchdenken können („von der Software her denken“) und zugleich die Praxiserfahrungen zu auftretenden Störungen mit einbringen können. So ist die Komplexität in den Anlagen beherrschbar, jedoch nimmt diese stetig zu (teilweise durch eine Überlagerung von Fehlern)“ (Fall 12).

Die Vernetzung, die Robotik, der Umgang mit HMI-Interfaces, die softwaregestützte Arbeitsplanung, die Prozessvisualisierung bis hin zur softwarebasierten Materialflussplanung führen inzwischen wegen ihrer hohen Verbreitung zu einer relativ starken Herausforderung für Fachkräfte. Im Spitzenfeld bei den Einschätzungen der befragten Experten liegen die Fernwartung und -diagnose, die Maschinen- und Betriebsdatenerfassung (MDE/BDE) sowie die Modernisierung von Anlagen, Maschinen und Systemen. Diese Technologien weisen oftmals einen sehr hohen Durchdringungsgrad mit IT-gestützten Aufgabenstellungen auf (zum Beispiel zur Aufbereitung der Daten, vgl. den Fall zur Maschinendatenerfassung im Nachfolgeabschnitt) und gehören in allen Unternehmen mittlerweile zu den strategisch ausgerichteten Projekten und Produktionsoptimierungsansätzen. Diese Technologien sind alle dadurch gekennzeichnet, dass sie ohne vertiefte IT-Kenntnisse zur Programmierung und Softwarenutzung keine Zugänge mehr zum unmittelbaren Produktionsgeschehen zulassen, was insbesondere die Metallberufe vor große Herausforderungen stellt. Der Charakter der Programmierung, der hier allerdings Einzug in die Produktionsumgebungen hält, ist nicht oder selten auf Hochsprachenniveau angesiedelt (C, C++, Python, Java), sondern wird verstärkt im Sinne von Low-Code- und No-Code-Programmierungsansätzen umgesetzt (vgl. Experte 05 und Experte 09). Im Bereich der Robotik wird dies besonders deutlich. Oft ist es nicht mehr erforderlich, Programmiercodes zu schreiben. Die „Programmierung“ von Abhängigkeiten beschränkt sich im Wesentlichen auf „Wenn-Dann“-Beziehungen (vgl. Experte 09). Statements:

„Alle Auszubildenden sollen darüber hinaus grundlegende Kompetenzen im Umgang mit Robotik haben, um diese in eine Ausgangsposition zu verfahren, für Instandhaltungsaufgaben zu positionieren, also in einen wartungssicheren Zustand zu versetzen oder Aufgaben des Teachens bei Prozessanpassungen übernehmen zu können. Tiefergehende Programmieraufgaben im Bereich der Robotik und SPS werden von studierten Personen (Ingenieuren) oder Technikern übernommen, weil die Komplexität der Gesamtanlagen in den letzten Jahren erheblich zugenommen hat“ (Fall 09).

„Der Ausbilder ist auch davon überzeugt, dass für alle Berufe eine Grundausbildung im Bedienen von Robotern angebracht ist, um vor allem die Scheu vor dieser Technologie abzulegen. Das muss nicht so weit gehen, dass sie eine höhere Programmiersprache erlernen müssen“ (Fall 13).

5.2.2 Digitalisierungsaufgaben in den Unternehmen

Eine der zentralen Fragen ist, ob die digitale Transformation in den Unternehmen sichtbar ist. Aus den Fallstudien heraus kann diese eindeutig bejaht werden. Übergreifend betrachtet sind vier Entwicklungen feststellbar, die unterschiedliche Richtungen im Fokus haben:

1. Die Produktions- und Fertigungsstrukturen in Unternehmen sind gegenüber der Produktion in den 1980er- und 1990er-Jahren unverändert und es finden nur vorsichtige Optimierungen der Arbeitsorganisation und der betrieblichen Abläufe statt (vgl. beispielsweise Fall 01 und Fall 02).

2. Unternehmen konzentrieren sich auf die Herstellung „intelligenter Produkte“. Diese Unternehmen legen weniger Wert darauf, Fertigungsprozesse besonders zu automatisieren und nach den Vorstellungen von Industrie 4.0 umzubauen. Sie konzentrieren sich darauf, Produkte für Sonderaufgaben herzustellen (zum Beispiel softwaregesteuerte Sondermaschinen) und diese besonders nach den Bedürfnissen der Auftraggeber zu gestalten. Dafür werden durchaus fortgeschrittene Softwarelösungen angewandt. Es handelt sich jedoch in den meisten Fällen um eine Einzelteil- und individuelle Fertigung, wofür automatisierte Anlagen nicht zweckmäßig wären. Meist werden für diese Fertigung bestehende Industrie 3.0-Anwendungen optimiert, inklusive des Einsatzes von 3-D-Druckern. Vernetzungsoptionen auf der Ebene von ERP und MES werden jedoch genutzt (vgl. beispielsweise Fall 01, 02, 04, 15).
3. Unternehmen verändern ihre Organisationsstrukturen dahingehend, dass die über ERP, MES und SCADA geschaffene Hierarchie in Unternehmen flacher wird. Das geht einher mit dem Umbau von Fertigungslinien bis hin zur fast vollständigen Vernetzung der Produktionsabläufe. Moderne Technologien wie kollaborierende Roboter (Cobots), lernende Maschinensteuerungen, additive Fertigungssysteme, Qualitätssicherung mittels Big Data, Assistenzsysteme und anderes kommen hierfür zum Einsatz (vgl. Fall 01, 05, 06, 08, 09, 12, 13, 14).
4. Unternehmen arbeiten daran, im Rahmen des digitalen Transformationsprozesses eine neue Fertigungsphilosophie zu etablieren. Oft werden für das Vorantreiben des Umbaus gezielt einzelne Abteilungen eingesetzt, Arbeitsgruppen zusammengestellt oder Digitalisierungsteams initiiert, um den Digitalisierungsprozess voranzutreiben. Einer der wichtigsten Aufträge für die Akteure ist es, umsetzbare Vorschläge zu erarbeiten für eine Optimierung der Arbeitsabläufe und Arbeitsprozesse in Verbindung mit der Klärung, welche digitalen Technologien zur Optimierung der Prozesse beitragen können. Die Initiativen schließen Reorganisationsprozesse ein, damit die Digitalisierung ein Erfolg wird. Um die Akzeptanz dieser Veränderungsprozesse zu sichern, werden meist Fachkräfte, Mitarbeiter in den Produktionslinien, Meister, Verantwortliche der Aus- und Weiterbildung, Fertigungsleiter sowie Management mit eingebunden und können sich aktiv einbringen (vgl. Fall 12, 13, 14).

Abbildung 18: Unternehmenstypen der untersuchten Betriebe nach dem Grad der Vernetzung durch die Digitalisierung und resultierende Produktionsstrukturen

| Charakter | Status der PT, FT, MT ... | Entwicklungsaktion |
|-----------|---|--|
| Typ 01 | Produktions- und Fertigungsstrukturen unverändert | Vorsichtige Optimierung der organisatorischen Abläufe |
| Typ 02 | Reorganisation der Produktions- und Fertigungsabläufe | Aufbau der Datenerfassung Organisation von Einzelmaschinen modifiziert hin zu Fertigungszentren |
| Typ 03 | Strukturierung der Prozessabläufe unter Nutzung digitaler Daten(analyse) und vernetzter Werkzeuge und Softwaresysteme | Systematische Optimierung der Prozessabläufe durch Implementierung von softwaregesteuerten Einheiten |
| Typ 04 | Vernetzung von Produktionsanlagen und Kopplung von Fertigungssystemen zu cyberphysischen Einheiten | Steuerung der Prozessabläufe mittels standardisierter Produktionsdaten |

Zunahme der Vernetzung durch Digitalisierung



Quelle: eigene Darstellung

Die vier Entwicklungsrichtungen lassen sich in vier Unternehmenstypen überführen, die charakteristisch für den Status der digitalen Transformation der M+E-Industrie sind (vgl. Abbildung 18). Es liegt auf der

Hand, dass es sich bei der Charakterisierung der Unternehmenstypen um eine idealtypische Darstellung handelt und in der Realität häufig Mischformen auftreten, vor allem, weil viele Unternehmen im Prozess des Wandels sind. Grundsätzlich entwickeln sich die Unternehmen aktuell mit einer hohen Dynamik. Dabei spielen zum Beispiel der verstärkte Einsatz digitaler Werkzeuge, aber auch andere Faktoren, wie eine verbesserte Auftragslage zum Ende der Corona-Einschränkungen oder eine verstärkte Ausrichtung auf eine nachhaltigere Produktion eine Rolle.

Sieht man von den verschiedenen Entwicklungsrichtungen ab, dann ist allen Unternehmen, die sich auf den Weg gemacht haben, die digitale Transformation voranzutreiben, gemeinsam, dass sie sehr sorgfältig vorgehen. Oberste Priorität hat immer, die Produktion nicht zu beeinträchtigen. Das führt dazu, dass der „Intensivierungsgrad digitaler Anwendungen“ unterschiedlich weit fortgeschritten ist, weil die Umbaumaßnahmen sich in erster Linie in wiederholten aufeinander aufbauenden Vorgängen vorangetrieben werden. Dieser iterative Charakter kann dabei eine bewusst vorsichtige Implementation von Industrie 4.0-Ansätzen in der gesamten Produktion sein, als auch eine vollständige Umstellung nur einer Fertigungsstraße oder auch beides zusammen (zum Beispiel Fall 03, 05, 11, 13).

Basierend auf Beispielen aus den Fallstudien wird nachstehend der jeweilige Intensivierungsstatus digitaler Anwendungen bei verschiedenen Unternehmen der Fallstudien beschrieben.

Im *Fall 03* wird seit zwei Jahren im Rahmen eines Transformationsprozesses auf den verschiedenen Unternehmensebenen daran gearbeitet, eine neue Unternehmensphilosophie zu etablieren. Aktuell ist das Unternehmen dem Typ 03 bis 04 von Abbildung 18 zuzuordnen. Ziel ist die Erarbeitung eines Gesamtpakets mit folgenden Schwerpunkten:

1. Weg vom reinen Kesselbau, hin zu Lösungen für Klima- und Energiesysteme für zukünftige Generationen. Ziel ist die Gestaltung von „Lebensräumen“. Hardware, Vernetzungssysteme (mit Anbindung an IoT), digitale Services (Anlagenbetrieb per Endgerät, Serviceanbieter) und Value Added Services (zum Beispiel „heat as a service“) werden überlagert von einer umfassenden Serviceidee.
2. Weiterentwicklung der Unternehmenskultur.
Weiterentwicklung der Teamarbeit auch in „Cross Functional Teams“ sowie Delegation von Verantwortung auf allen Ebenen.
3. Digitalisierung von Arbeitsprozessen.
Einführung der Google Plattform. Mitarbeiter haben die Arbeitsumgebung über ein Endgerät verfügbar.
4. Produktion, Production Engineering.
Auf dem Shopfloor werden neue Technologien genutzt; integrierte Lösungen mit IoT-Anbindung werden umgesetzt.

Die Arbeitsprozesse sollen digitalisiert gesteuert werden, um die Zielsetzungen einlösen zu können. Bereits vor COVID wurde eine Plattform für das Management der Unternehmensabläufe implementiert. Die Digitalisierung der Arbeitsprozesse wird bisher unterstützt durch die Einführung der Google Plattform. Zudem haben Mitarbeiter die Arbeitsumgebung über ein Endgerät verfügbar.

Die Unternehmenskultur befindet sich in einem vollständigen Wandel mit dem Ziel, eine Teamkultur herauszubilden, die auch real und täglich praktiziert wird und die Delegation von Verantwortung auf die Ebene der Fachkräfte unterstützt.

In der Produktion sind bereits digitale Ansätze umgesetzt. Eine dafür zuständige Abteilung prüft, wie digitale Technologien zur Optimierung der Arbeitsabläufe genutzt werden können.

Um die Digitalisierung zum Erfolg zu machen, wird derzeit an einer Reorganisation des Unternehmens gearbeitet. Alle Fachkräfte, Linienleiter, Meister, der gesamte Ausbildungsbereich, der Fertigungsleiter und der Leiter des Ausbildungszentrums sind in den Veränderungsprozess eingebunden und können sich aktiv einbringen. Auch alle Fertigungsbereiche sind zur Beteiligung am Veränderungsprozess aufgefordert und herausgefordert, Veränderungsvorschläge einzubringen, ohne den laufenden Betrieb unterbrechen zu müssen.

Fall 05 beschreibt ein Unternehmen, das die Digitalisierung systematisch vorantreibt und deshalb dem Unternehmenstyp 03 zuzuordnen ist. Es ist anzunehmen, dass dieses Unternehmen bald dem Unternehmenstyp 04 zuzuordnen sein wird.

Im Unternehmensbetrieb werden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Optimierungsansätze für Digitalisierungsmaßnahmen zu finden. Die Besonderheiten der Fertigungsaufträge und -prozesse führen jedoch dazu, dass zur Zeit die Digitalisierungsansätze überwiegend dazu genutzt werden, um den Ist-Zustand der Produktion transparenter zu machen. Die Digitalisierung dient so der Aufbereitung und Darstellung von Produktions- und Fertigungskennzahlen und verzahnt sich mit dem Qualitätsmanagement. Neben den Produktionskennzahlen, die mit Hilfe von Excel und ERP-Systemen für die Anzeige auf Bildschirmen aufbereitet werden, ist die Erfassung und Aufbereitung von Maschinendaten ein Ansatzpunkt. Dabei ist noch unklar, wie die über die Maschinendatenerfassung (MDE) gesammelten Daten zielgerichtet für die Fertigungsoptimierung genutzt werden können. Fertigungsmaschinen, die herstellerseitig für eine Aufbereitung und Darstellung von Maschinendaten vorbereitet sind, werden derzeit kaum mit maschinennahen Terminals (wie etwa CELOS-Steuerungen) ausgerüstet.

Beispiele für Aufgaben im Zusammenhang mit und der Vorbereitung von Digitalisierung:

Entwickeln einer systematischen Maschinendatenerfassung

Die ersten fünf Fertigungsmaschinen unterschiedlicher Hersteller wurden mit Schnittstellen für die Datenübermittlung versehen, die erst einmal nicht direkt an der Maschine, sondern in einem gesonderten Büro auf einem Rechner und eigenem Netzwerk erfasst werden. Dort wird mit einer Plattform eines großen Zerspanungsmaschinenanbieters an ersten Dashboards zur Darstellung von Maschinenkenndaten gearbeitet.

Die besondere Herausforderung ist dabei, dass die Maschinen mit unterschiedlichen Schnittstellen ausgestattet sind und im Rahmen einer Homogenisierung erheblicher Aufwand für die Datenerfassung betrieben werden muss. Dabei ist die Zusammenarbeit mit einem externen Dienstleister erforderlich.

Eine andere Herausforderung ist, dass das Arbeiten mit Maschinendaten viel Sachverstand und Erfahrung erfordert und im Einklang mit der Firmenstrategie stattfinden muss. Das beginnt bereits mit der Entscheidung darüber, welche der Daten überhaupt erfasst werden sollen. Aktuell wird mit der Laufzeiterfassung als ersten Schritt experimentiert. Längerfristig ist an eine Konzernlösung gedacht, an der Mitarbeiter beteiligt werden sollen.

Automatisierung von Schleifarbeiten

Nach der zerspanenden Bearbeitung an Gehäusen sind teilweise aufwändige Schleifarbeiten notwendig, um die von der Prozessindustrie geforderten Oberflächenqualitäten zu generieren. Hier wurde eine Fertigungsmaschine mit einer Roboterzelle ausgestattet, in der ein Roboter das bearbeitete Gehäuse automatisch einem Reinigungsprozess zuführt und ein automatischer Schleifprozess ebenfalls

robotergestützt durchgeführt wird. Die dazu notwendige aufwändige Programmierung wird in der Arbeitsvorbereitung (AV) vorbereitet, erfordert dann aber vor Ort eine optimierte Programmanpassung. Diese Programmieraufgaben werden von einer sehr erfahrenen CNC-Fachkraft durchgeführt. Der Facharbeiter ist seit 30 Jahren im Unternehmen und ist von der Zerspanung in die anspruchsvollen Programmieraufgaben „hineingewachsen“.

Im Unternehmen werden die Arbeitsfelder zukünftig stärker mit Digitalisierung durchdrungen sein. Es entstehen neue Arbeitsplätze, bei denen die Digitalisierung als Arbeitsgegenstand im Produktionsprozess erscheint. Von den Unternehmensvertretern wird durch die Digitalisierung eine Erweiterung der Aufgabenvielfalt an den Arbeitsplätzen gesehen und die Breite der Qualifikationsanforderungen wächst – zum Beispiel durch die Betreuung mehrerer Maschinen in Fertigungsinseln beziehungsweise zusammengestellten Maschinenparks.

Die neu entstehenden Aufgabenstellungen erfordern auch zum Teil die Befassung mit selbst zu gestaltenden Tools. So wird bei den ersten Ansätzen der Maschinendatenerfassung unter anderem mit TULIP¹² gearbeitet, einem Tool zur Unterstützung der Digitalisierung von Fertigungsprozessen auf der Fachkräfteebene. *„TULIP ist ein digitales Werkzeug zur Steigerung der Produktivität in der Fertigung. Mit TULIP kann das Personal in der Fertigung ohne Programmierkenntnisse selbst APPs erstellen, zum Beispiel interaktive Montageanleitungen, digitale Prüfprotokolle oder Prozessdokumentationen“* (DMG MORI-Website). Im Unternehmen werden von zunächst fünf unterschiedlichen Fertigungsmaschinen Daten erfasst und Produktionsinformationen unter anderem mit Hilfe von TULIP aufbereitet. Dies findet derzeit noch in einem eigenen Büro unmittelbar im Produktionsbereich statt und noch nicht direkt an den Maschinen. Ein erfahrener Mitarbeiter, der nach einer Ausbildung zum Zerspanungsmechaniker und einer Tätigkeit in der Gehäusefertigung des Unternehmens sowie einer Qualifizierung zum Industriemeister und zahlreichen Weiterbildungen mittlerweile ein Informatik-Studium berufsbegleitend absolviert, treibt das Thema der Digitalisierung in der Produktion voran. Seit 2020 ist er Teil eines Teams im Unternehmen, welches sich mit dem „Data Management“ bis hin zu Human-Machine-Interface-Themen auseinandersetzt und an Lösungen für den Produktionsbereich arbeitet. Aber nicht nur die Initiative zur Erfassung der Daten stellt neue Anforderungen. Auch die Reorganisation der Fertigungsorganisation hin zu durchgängigen Fertigungsprozessen liefert ein entscheidendes Fundament für die Digitalisierung.

Im *Fall 01* wird ein verhältnismäßig traditioneller Schaltschrankbau durchgeführt, der den Unternehmenstypen 01 und 02 zugeordnet werden kann. Es kann in diesem Zusammenhang auch von einer Manufaktur gesprochen werden. Es sind jedoch mehrere Pilotprojekte in der Erprobung, die künftig zu einer erheblichen Digitalisierung der Aufgaben führen.

Bei der Digitalisierung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen ergeben sich immer wieder Probleme bei einer durchgängigen Datenbearbeitung auf digitaler Basis. Kundendaten wie Auftragsdaten, Schaltpläne, Anforderungsspezifikation etc. liegen zwar oftmals in digitaler Form vor, müssen jedoch aufgrund von Inkompatibilitäten der Datenstrukturen oder durch die Übertragung in Form von digitalen, aber nicht auf Datenbanken basierenden Dokumenten (PDF) von Hand in die Digitalisierungswerkzeuge im Werk übertragen werden. Dadurch entsteht ein hoher Aufwand im Bereich der Arbeitsvorbereitung, um digitalisierte Arbeitspläne für die Fertigung zu erarbeiten.

¹² TULIP ist ein Tool zur Digitalisierung von Fertigungsprozessen auf der Fachkräfteebene (vgl. <https://de.dmgmori.com/produkte/digitalisierung/tulip>).

Im Prinzip wird für jeden Auftrag ein „digitaler Zwilling“ in der AV erstellt, um eine effiziente Produktionsplanung und -umsetzung realisieren zu können. Jedoch sind im Zuge der Auftragsumsetzung sehr oft Modifikationen erforderlich, die sich aus Umsetzungsproblemen und im Verlauf des Produktionsprozesses modifizierten Kundenspezifikationen ergeben. Dadurch werden hohe Anforderungen an die Flexibilität der Fachkräfte gestellt, die an Lösungen mitwirken und sich am Änderungsmanagement beteiligen müssen. Für die Fertigung stehen im Prinzip digital aufbereitete Fertigungs- und Montagepläne zur Verfügung; dennoch werden die Fertigungsunterlagen zu einem Auftrag in Aktenordnern in Papierform an die Fertigungsteams übergeben. Zudem existieren werksinterne digitale Software-Lösungen für die Bearbeitung von Problemfällen und die Modifikation von Umsetzungen auf dem Shopfloor. Über dieses Softwaresystem werden Informationen zu auftretenden Störungen, zu (technischen und kundenseitigen) Modifikationen sowie zu Werkshallenlösungen dokumentiert und mit der AV abgestimmt.

Nach und nach werden im Werk einzelne Prozess- und Produktionsschritte identifiziert, die dann möglichst gut beschrieben und so einer digitalisierten Bearbeitung zugeführt werden. Dabei soll eine Klassifizierung der hochindividualisierten Kundenaufträge erfolgen, die zu einer Spezialisierung von Tätigkeiten führt und eine damit verbundene Erhöhung des Automatisierungsgrades erlaubt. Besonders erfolgreich sind in den letzten Jahren dabei Arbeitsabläufe der mechanischen Bearbeitung entsprechend aufgearbeitet worden. Daneben sind ebenfalls im Bereich der Prüfautomatisierung erste Erfolge zu verzeichnen.

Beispiele für Aufgaben im Zusammenhang mit der Digitalisierung:

Arbeit am digitalen Zwilling

Im Konzern und im Werk wird an einem vollständig digitalen Datenmanagement nach dem Leitbild des „digitalen Zwillings“ gearbeitet. Dabei werden erstens die Auftrags- und Produktdaten der Kunden digital erfasst beziehungsweise aufbereitet, zweitens die unternehmensinternen Produktions- und Prozessdaten generiert (Design Engineering) und drittens auch Lieferantendaten erfasst und aufbereitet. Letztere sind auch oftmals Komponentendaten – auch von Fremdprodukten –, die in den unternehmensinternen „digitalen Zwilling“ aufgenommen werden. Die Architektur des digitalen Zwillings entsteht in der AV durch Personen, die in der Regel einen Hochschulabschluss haben – entweder mit Elektrotechnik-Ingenieur-Abschluss oder Ingenieursabsolventen eines dualen Studiums (ET oder Wirtschaftsingenieurwesen). Bei der Digitalisierung von Kundendaten wirken Fachkräfte (in der Regel EBT) mit, die aber nicht Datenstrukturen im digitalen Zwilling erstellen oder verändern, wohl aber aus der Produktion heraus modifizierte Daten so liefern, wie es Anforderungsspezifikationen des digitalen Zwillings verlangen.

Automatisierungslösung für das Gewindeformen

Eine besondere Herausforderung besteht im Werk darin, trotz eines hohen Individualisierungsgrades der Kundenaufträge Ansätze und Maßnahmen für die Produktionsoptimierung zu finden. Im Bereich der Gehäusebearbeitung entstand so die Idee, eine robotergestützte Gewindefertigung zu realisieren, die keine individuelle Programmierung einzelner Gewindeformen (Größe/Lage) erfordert. Vielmehr sollten die Produktionsdaten vom Roboterprogramm eigenständig aus dem „digitalen Zwilling“ ausgelesen und auf einer Fertigungsvorrichtung in ein Gewindeformen umgesetzt werden. Eine entsprechende Roboterzelle (Roboter, Fertigungsvorrichtung, Einmess- und Werkzeugwechselstation, HMI¹³ mit Software zur Anbindung an den „digitalen Zwilling“) wurde durch das Design-Engineering und unter Mitwirkung einer dual Studierenden der Elektrotechnik mit EBT-Ausbildung realisiert. Die

¹³ HMI: Human Machine Interface

Bachelorabsolventin ... hat auch an der automatisierten Datenübernahme und Umsetzung in ein Roboterprogramm gearbeitet. Realisiert wurde eine Einmessprozedur unter Verwendung taktiler Lage-sensoren und eine parametrisierte Roboterprogrammierung zur Einbringung von Gewinden in den Größen M3 bis M6 durch den Roboter auf unterschiedlichen Montageplatten. Dabei wird als Basis eine Sinumerik und eine typische Industriesoftware „Run MyRobot“ genutzt. Diese Parametrisierung (ohne eigenständige Roboterprogrammierung bei einem Wechsel von Gewindeschemata oder Montageplatten) kann als ein Ansatz von künstlicher Intelligenz (KI) gesehen werden, weil der zugrunde liegende Algorithmus eine „intelligente“ Anpassung an unterschiedliche Rahmendaten für die Fertigung erlaubt.

Prüfarbeiten unter dem Einsatz eines kollaborativen Roboters (Cobot)

Fertiggestellte elektrotechnische Bedienterminals und Schaltelemente erfordern nach der Verdrahtung und Installation umfangreiche Prüfarbeiten und Checks, die in der Regel von Fachkräften (meist EBT) durchgeführt werden. Unter Zuhilfenahme eines kollaborativen Roboters (Cobots) werden solche Prüfabläufe an einer Prüfstation (teil)automatisiert. EBT richten hier einen Leichtbau-Cobot ein¹⁴, nehmen ihn in Betrieb und führen dann entsprechende Prüfabläufe an Schaltern und ganzen Bedienterminals durch. Dabei auftretende Betriebsstörungen müssen von den Fachkräften mit bearbeitet werden, wobei nicht das Roboter Programmieren, sondern das Initialisieren, Starten, Justieren und Feststellen von Programmablaufproblemen zu den Fachkräfteaufgaben gehören. Ein Teachen von Robotern wird bewusst vermieden und stattdessen auf eine möglichst enge Anbindung an die Produktionsdaten und Softwarestrukturen gesetzt.

Der Anlagenbauer von *Fall 09* ist mit der Nutzung verschiedener Technologien konfrontiert, womit er sehr flexibel umgehen muss. Das Unternehmen lässt sich nur schwer einem Unternehmenstyp zuordnen, weil die Auftragsstrukturen die Aufgabenstrukturen erheblich prägen. Es kann jedoch von einer hohen Affinität zu Typ 03 und 04 gesprochen werden.

Am Standort werden zunehmend Softwaretools genutzt, um die SPS und systemübergreifende Automatisierungslösungen zu programmieren – in der Regel SPS + Robotik. Eine der Software-Lösungen, die inzwischen häufig angewandt wird, ist Siemens NX¹⁵ mit den dort integrierten, umfassenden Automatisierungslösungen, die inzwischen weit über simple CAD-CAM-Kopplungen hinausgehen. Tools wie NX erweitern die Automatisierungssimulation um Robotik-Funktionalitäten bis hin zur Fabriksimulation. Ein weiteres Beispiel ist KUKA.Sim¹⁶, mit der die Produktionsautomatisierung ausgehend von erweiterten Robotiklösungen simuliert wird; hier werden Robotiklösungen um Aspekte der Handhabung und des Transports erweitert. Solche Softwaretools werden auch genutzt, um die Anlagen vor der Inbetriebnahme gründlich zu testen, was den Zeitaufwand der eigentlichen Inbetriebnahme erheblich reduziert. Hinzu kommen zusehends Aspekte der Simulation der Kräfte, Momente und Kinematik, sodass unter Hinzunahme physikalischer Eigenschaften digitale Zwillinge entstehen. Diese Ansätze erfordern im Unternehmen mindestens eine Technikerqualifikation, meist sind es Ingenieure.

Zum einen sind bei der Systemintegration und der Anlagenkonfiguration zunehmend integrierte Automatisierungslösungen zu nutzen und zum anderen ist die Nähe zu den Produktionsaufgaben der Kunden Kern der Digitalisierungsaufgaben. Das bedeutet, dass „Elektroanlagenmonteure“ die Elektrotechnik, die

¹⁴ vgl. <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/industrieroboter/lbr-iiwa>

¹⁵ <https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/nx/>

¹⁶ https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/software/planung-projektierung-service-sicherheit/kuka_sim

Programmierung der Automatisierungstechnik und die reale Produktionsaufgabe beim Kunden „zusammenbringen“ müssen. Diese drei Elemente (Elektrotechnik, Informationstechnik, Produktionstechnik) prägen alle Digitalisierungsprozesse, wobei als Aufgabe eine Systemintegration im Sinne der verlängerten Werkbank entsteht. Das Unternehmen übernimmt Dienstleistungsaufgaben, die nach der Implementation und Schulung beim Kunden in die reale Produktion übergeht. Diese Prozesse sind in der Regel so komplex, dass Teams aus ein bis drei Programmierern, ein bis zwei Roboterprogrammierern und zwei bis drei Monteuren für die elektrische und mechanische Montage gebildet werden müssen. Hier arbeiten in einem Kontinuum an konzeptionellen und Umsetzungsaufgaben Ingenieure, Techniker und Facharbeiter zusammen.

Bei der Realisierung der Systemlösungen spielen Aspekte der Auflösung der Automatisierungspyramide und damit Aspekte der CPS bislang keine Rolle. Meist werden die Aufgaben auf den beiden untersten Ebenen der Automatisierungspyramide (Sensorik/Aktorik und Feldbusebene) bearbeitet. Dabei zu übergebende Daten an ein MES oder ein ERP-System werden dann gegebenenfalls vom Kunden weiterbearbeitet, gehören aber bislang nicht zu den Aufgaben im Rahmen der Systemintegration. Die Erfahrungen der Befragten weisen eher darauf hin, dass ein systematisches Daten-Processing beziehungsweise eine Datenaufbereitung aus den Daten der Produktionsanlage noch nicht stattfindet: *„Teilweise werden Systeme wie ein Energiemesssystem mit angeschlossen und integriert, aber eine intensivere Befassung mit den entstehenden Daten findet nicht statt“*.

Standardisierungsansätze spielen eine zunehmende Rolle. Allerdings scheinen sich Standardisierungen wie OPC-UA bei vielen Kunden nicht durchzusetzen, während als Schnittstellentechnologie zunehmend IO-Link¹⁷ genutzt wird.

Im Bereich der Robotik werden von „Mechanikern/Schlossern“ (meist mit einer Ausbildung zum EBT) Roboter im Teach-in-Verfahren voreingestellt und feinjustiert. *„Die Roboterprogrammierung hat sich grundlegend verändert, weil sie heute meist die Integration in den Produktionsprozess betrifft; es gibt weniger Stand-alone-Lösungen. Man muss von der Anwendung her Denken und in gemeinsamen Lernprozessen mit dem Kunden die Robotiklösungen zur Serienreife bringen“*. Die notwendigen Kenntnisse zur Anwendung von Teach-in-Verfahren werden als relativ einfach angesehen, sodass diese von jedem Mitarbeiter und Auszubildenden rasch erlernt werden können (halber Tag Einweisung). Für die Programmierung auf Zeilenebene in einer Roboterprogrammiersprache werden Spezialisten benötigt, die nicht im Rahmen einer Erstausbildung qualifiziert werden können. Vergleichbares gilt für die SPS-Programmierung.

Die Prozessintegration und Systemintegration äußert sich in der Praxis meist durch die Modernisierung von Bestandsanlagen. Dann sind unterschiedliche Anlagen von verschiedenen Herstellern und mit unterschiedlichen Technologiestandards miteinander zu verbinden und zu einem funktionierenden Gesamtsystem zu integrieren. Basistechnologien wie Profinet und IO-Link sind hier hinsichtlich Anschlusstechnik und Konfiguration von Monteuren zu beherrschen, während grundlegende Programmieraufgaben oder das Lösen von Schnittstellenproblemen zu den typischen Ingenieuraufgaben gehören.

¹⁷ IO-Link: Standardisierung der Anbindung von Sensoren und Aktoren nach IEC 61131-9; vgl. <https://io-link.com/de/>

Am Beispiel aus einer Fallstudie (KMU), in der ein sechssachsiger Knickarm-Schweißroboter in Betrieb genommen wird, kann die Veränderung der Facharbeit deutlich gemacht werden (vgl. auch Tabelle 8):

Grundsätzlich stellt sich bei der Inbetriebnahme von Robotern die Frage, ob die Programmierleistungen Aufgabe der Facharbeiter sind oder von der Arbeitsvorbereitung bewältigt werden muss. Die nachstehende Beschreibung zeichnete jedoch ein weit umfassenderes Aufgabenspektrum am Beispiel der Inbetriebnahme in einem kleinen Unternehmen (KMU). Im konkreten Fall soll das Fügen von Schalungshalterungen umgesetzt werden. Die Aufgaben lassen sich wie folgt zusammenfassen:

A. Inbetriebnahme eines sechssachsigen Knickarm-Schweißroboters:

Fachkraft programmiert sechssachsigen Knickarm-Schweißroboter.

Fachkraft plant und setzt Fertigungsauftrag um:

- Rückgriff auf Planungssoftware,
- Arbeitsvorbereitung (AV) benennt Stückzahl, Material, Verfügbarkeit,
- Zugriff auf Zeichnung (hinterlegt in Produktionsdokumentation).

Fachkraft führt durch: Machbarkeitsanalyse zur Umsetzung des Auftrags (Zugänglichkeit zu Schweißnähten, Werkstückposition, Belegung, Verfügbarkeit von Maschinen-Bedienern ...)

Programmierung durch Fachkraft:

- Offline- und Online-Programmierung (RopoPlan, QRP professional Software)

B. Ziel: Serienmäßiges Fügen von Schalungshalterungen

Fachkraft programmiert sechssachsigen Knickarm-Schweißroboter.

Weitere Aufgaben der Fachkraft A:

1. Erzeugung einer virtuellen Abbildung des Schweißroboters,
2. Import der 3-D-Zeichnung,
3. Positionieren des Roboters, Parametrierungen (Bahnführung, Toolcenterpoint ...),
4. Simulationskontrolle, Positionierung des Brenners, Optimierung von Einbrand, Lichtbogen ...,
5. Vorbereitung der Inbetriebnahme (in Kooperation mit AV und Maschinen-Bediener),
6. Schweißprozess optimieren (Korrigieren der Parameter wegen Geräuschen u. a.)

Tabelle 8: Dimensionen des Arbeitsprozesses APA X der Fallstudie KMU

| Arbeitsprozess: Programmierung eines Knickarm-Schweißroboters zur serienmäßigen Fertigung von Schalungshalterungen | | |
|---|--|---|
| Gegenstände der Facharbeit | Werkzeuge, Methoden, Arbeitsorganisation | Anforderungen an Facharbeit und den Zerspanungsprozess |
| Gegenstände <ul style="list-style-type: none"> • Der zu bearbeitende Arbeitsauftrag • Die eingesetzten Halbzeuge • Die eingesetzte Vorrichtung • Die eingesetzte Werkstückaufnahme • Das Schweißrobotersystem und | Werkzeuge <ul style="list-style-type: none"> • Betriebsanleitungen, Dokumentationen, technische Zeichnungen, Stücklisten, Verpackungsvorschriften, Materialzeugnisse • PC-Arbeitsplatz • EDV/-Werkstattterminal • Software-Offline-Programmierung | Kunde <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Stückzahlen • Geringer Ausschuss • Liefertreue • Gleichbleibende und hohe Schweißnahtqualität • Auftragsdokumentation • Qualitativ hochwertige Bauteile • Umwelt- und Klimaschutz Unternehmen <ul style="list-style-type: none"> • Arbeits- und Gesundheitsschutz |

| Arbeitsprozess: Programmierung eines Knickarm-Schweißroboters zur serienmäßigen Fertigung von Schalungshalterungen | | |
|--|---|--|
| Gegenstände der Facharbeit | Werkzeuge, Methoden, Arbeitsorganisation | Anforderungen an Facharbeit und den Zerspanungsprozess |
| <p>zugehörige Funktionseinheiten</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Offline-Programmierung des Schweißprozesses Die Online-Programmierung / Teach-in-Verfahren Das Einrichten / Rüsten des Schweißrobotersystems Die Durchführung von Testläufen Die Funktions- und Sicherheitsprüfung Das Produkt | <ul style="list-style-type: none"> Knickarm-Roboter mit Schweißbrenner Werkstück-Positionierer Vorrichtung Handsteuerung Flurfördergeräte Prüfprotokoll ERP-/PPS-System Prüfmittel <p>Methoden</p> <ul style="list-style-type: none"> Analyse des Arbeitsauftrags Lesen von technischen Zeichnungen Strukturierte Arbeits- und Schichtplanung Termingerechte Versorgung einer Produktionsanlage mit Halbzeugen sowie Betriebs- und Hilfsstoffen Kommunikationsstrategien mit Konstrukteuren und Maschinenbedienern Schweißprozesssimulation Überwachung der Betriebsparameter Analyse der Schweißnahtqualität Prüfung von Toleranzen mit Prüfmitteln Handhaben von Betriebs- und Hilfsstoffen Weiterführung der Bauteile <p>Organisation</p> <ul style="list-style-type: none"> Auftragsannahme Vorrichtungsbau Halbzeugbeschaffung Materialpositionierung Maschinenbelegung Gruppenarbeit / Einzelarbeit Einsatz Maschinenbediener Arbeitsplatzgestaltung und -ausstattung Überwachung des Schweißvorgangs Qualitätssicherung | <ul style="list-style-type: none"> Autonome Instandhaltung (TPM) Effizienter Anlagenbetrieb Einhaltung der Fertigungskosten und -zeiten Hohe Anlagenlebensdauer und -verfügbarkeit Hohe Gesamtanlageneffektivität (GAE) Kosten- und zeiteffiziente Durchführung der Arbeiten Prozesssicherheit Hohe Schweißnahtqualität Auftragsdokumentation Störungsfreie Anlagenführung Umwelt- und Klimaschutz <p>Mitarbeiter</p> <ul style="list-style-type: none"> Beherrschung digitalisierter Arbeitsmethoden Beherrschung komplexer Programmierverfahren Beherrschung unterschiedlicher Robotersteuerungen Mitorganisation des Materialflusses Betreuen und Anleiten von Maschinenbedienern Mitgestaltung des Arbeits- und Geschäftsprozesses Implementierung neuer Technologien Übernahme von Instandhaltungsaufgaben <p>Gesellschaft</p> <ul style="list-style-type: none"> Einhaltung der Arbeitssicherheit Einhaltung des Umweltschutzes |

Quelle: eigene Darstellung

Die Aufgaben, die die Fachkraft als Einzelperson und / oder im Team durchzuführen hat, sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Dadurch wird nicht nur bestätigt, dass die oben skizzierten Aufgaben zutreffend sind. Vielmehr wird deutlich, dass die Fachkraft Wissen und Können aus der Roboterprogrammierung mit dem Wissen und Können aus dem Handschweißen synergetisch zusammenführen muss, um die erforderliche Schweißqualität zu erreichen. Zur Qualitätsbeurteilung von Schweißprozess- und -qualität berücksichtigt die Fachkraft Faktoren wie Risse, Verzug, poröse Nähte, Einbrandtiefe, Schweißspritzer, Einschlüsse, Fehler und erforderliche Parameteränderungen. Nach der Anpassung einzelner Parameter wie Geschwindigkeit, Drahtvorschub, Pendelfrequenz und Pendelamplitude erfolgt eine weitere Testschweißung und Qualitätsprüfung. Beim Optimierungsprozess werden aber auch Programmzeilenanpassungen vorgenommen, um die Schweiß- und Verfahrswege direkt im Programmcode mit Hilfe der Handsteuerung zu optimieren.

Als veränderte Aufgaben für die Facharbeit lassen sich im Beispielfall zusammenfassen:

- **Erfahrung mit mechatronischen Anlagen:** Schnittstellenkenntnisse, Zusammenspiel von Software und Vorgang (zum Beispiel des Schweißprozesses),
- **Prozessverständnis:** Synchronisierung von Prozessen entlang der Produktentstehung (zum Beispiel entlang des Schweißens von der Planung, Programmierung bis hin zur Umsetzung),
- **Prozessoptimierung/Prozesssicherheit:** variable Nutzung von Produktionsparametern, um Störgeräusche zu minimieren,
- **Prozessdaten:** innerhalb der Wertschöpfungskette erfassen,
- **Datenanalyse und Bewertung der Daten:** Auftragsdaten, Produktionsparameter (zum Beispiel für einen Schweißvorgang und dessen Optimierung),
- **Programmieren (Low-Code) und Parametrieraufgaben:** Anwendungssoftware nutzen,
- **Kommunikationsinfrastruktur:** Kommunikation mit Arbeitsvorbereitung, mit Maschinenbediener,
- **Datenanalyse & Vernetzungsprozesse:** Steigerung der Produktivität sowie zur Unterstützung von Facharbeit,
- **Komplexität der Prozesse überschauen:** Gewährleistung der Prozesssicherheit,
- **Störungssuche:** Analyse und Behebung,
- **Genauere Analyse von Störungsursachen** beherrschen (Lesen von Live-Bildern aus der Maschine, deren Bewertung und entscheiden, was zu tun ist),
- **Hybride Aufgabenwahrnehmung:** Kombination traditioneller Aufgaben (zum Beispiel des Handschweißens) mit Optimierungs- und Programmieraufgaben.

Fall 04 besteht aus zwei Unternehmenstypen, dem Sondermaschinenbau (A) und der Produktion von Verpackungsmaschinen (B). Der erstgenannte Unternehmenszweig ist dem Unternehmenstyp 02 zuzuordnen und der zweite dem Typ 03. Hier näher betrachtet wird der Verpackungsmaschinenbau (B), weil dort zielgerichtete Digitalisierungsinitiativen ergriffen wurden. Die neu definierte Zielrichtung des Sondermaschinenbaus (A) hat eine intensive Digitalisierung im Zentrum, die an die Industrie 4.0-Technologie anknüpft. In der Realität müssen diese Schritte jedoch erst noch gegangen werden.

Insbesondere im Unternehmen B, in dem typische Digitalisierungstechnologien unmittelbar an Relevanz gewinnen, sind Veränderungen in den Arbeitsfeldern auszumachen. Dort spielt die Vernetzung von Produktionsstationen, die Erfassung von Produktionsdaten über die Terminals der Thermoformmaschinen bis hin zur Vernetzung eine Rolle. Digitalisierung wird somit eher am Produkt „Thermoformmaschine“ sichtbar als im Montageprozess. Eine solche Maschine verbindet SPS-gesteuerte verfahrenstechnische Abläufe des Kunststoffumformens mit Folgeprozessen, in denen auch Robotik zum Einsatz kommt.

Montageprozesse werden bereits durchgehend mit Hilfe von Digitalisierungsansätzen in der Logistik unterstützt. Die Montageaufgaben dagegen sind klassischerweise durch Industriemechaniker auszuführen. Die steuerungstechnische Seite wird durch Elektroniker für Betriebstechnik realisiert. Der Produktionsleiter sieht dabei Vorteile in einer sauberen Trennung metalltechnischer und elektrotechnischer Aufgabenstellungen. Die zunehmende Digitalisierung ist in diesem Branchenumfeld eine unter Kostengesichtspunkten anzugehende Frage. *„Digitalisierung ist ja kein Selbstzweck und sie ist teuer. Da ist stets zu fragen, ob man das wirklich braucht und ob sich der Einsatz von Digitalisierung lohnt?“* (Produktionsleiter).

Bei der Herstellung einiger Maschinen sind neue Digitalisierungsaufgaben aufgetaucht, insbesondere im Hinblick auf Folgeprozesse nach der Kunststoffumformung. Das Entnehmen der Fertigprodukte und Stapeln beziehungsweise Weiterführen der Verpackungen durch Roboter wird hier zunehmend angefragt. Bislang wird überwiegend Know-how von spezialisierten Firmen eingekauft. An den ersten drei Maschinen wurden auch Stationen automatisiert und erste Erfahrungen mit einem Know-how-Aufbau im eigenen Unternehmen gesammelt. Derzeit wird dabei eine eigene Leistungserbringung unter der Frage abgewogen, *„ob es sich lohnt, dafür eigenes Know-how aufzubauen und dafür zu qualifizieren“*.

Erweiterung einer Thermoformmaschine zur robotergestützten Entnahme und Weiterführung/Palettierung der Schalen

An einer Thermoformmaschine zur Herstellung von Kunststoffschalen für die Lebensmittelindustrie wurde eine robotergestützte Entnahmestation angeflanscht. Für die Realisierung dieser Station wurde eine Fremdfirma beauftragt, die im Unternehmen den Roboter einrichtet und den Automatisierungsablauf programmiert. Diese Aufgabe wurde von zwei Fachkräften wahrgenommen: Ein gelernter Elektroniker für Haus- und Gebäudetechnik (EHG), der sich über Jahre in die Robotik hineingearbeitet hat und einen Absolventen eines Bachelorstudiums, der als Elektrotechnikingenieur in diesem Projekt erste Erfahrungen mit der Robotik sammelt und sich insbesondere um die Anlagentechnik bis hin zum Greifer kümmert. Der Elektroniker übernimmt die Programmieraufgaben und optimiert die Roboterfahrwege durch Teachen.

Im Unternehmen steht die Entwicklung kundenspezifischer Lösungen bei der Digitalisierung im Mittelpunkt. Dabei geht es um die Etablierung einer serviceorientierten Angebotsstruktur für die weltweit agierenden Kunden. In der Standardisierung von Produkten und der Definition von Produkt- und Servicepaketen bei gleichzeitig hoher Individualität der Anforderungen besteht hier die Herausforderung. Für diese Herausforderung wird auch auf einen Aufbau von IT-Kompetenz im Unternehmen gesetzt. Zielsetzung ist, das Unternehmen unterstützt durch Digitalisierungsansätze als Systemlieferant aufzustellen. Für den fertigungsnahen Bereich sind hier Schnittstellen zwischen den CAD-Systemen und IT-gestützten Plattformen sowie ERP-Systemen relevant, um Stücklisten und Produktspezifikationen abzugreifen oder auch um für den fertigungsnahen Bereich relevante Informationen bereitzustellen, wie Stücklisten, Maße und Lagerbestände. Bestellungen von Teilen in der Montage erfolgen auf einer SAP-Plattform.

Im Bereich der Fertigung selbst überwiegen erfahrungsbasierte CNC-Kenntnisse, und neue Aufgaben im Zusammenhang mit einer Digitalisierung der Produktion sind nicht auszumachen. CNC-Programme werden maschinennah erstellt und modifiziert. CNC-Programmierer sind Fachkräfte mit Techniker- oder Meisterfortbildung; in der Regel keine Ingenieure. Anpassungen im Fertigungsprozess werden von den Fachkräften selbst übernommen.

Daten für Notwendigkeiten der Wartung des Produkts insgesamt zu erfassen, erlauben die Kunden nicht. Eine konkrete Initiative in Richtung Digitalisierung wurde ergriffen, um das Formularwesen zu digitalisieren.

Fall 06 ist ein typischer Fall, der wie viele andere auch, aus der traditionellen Produktion heraus (Industrie 3.0) den Schritt hin zu Industrie 4.0 geht und dafür zahlreiche Instrumente implementiert hat. Eine schwache Zuordnung zu Unternehmenstyp 04 ist naheliegend.

Dort, wo Automatisierungsaufgaben vorangetrieben werden, wird auf eine für Werker/Fachkräfte leicht handhabbare Software geachtet. So wurde etwa bei der Wahl einer Schweißautomation auf einen Hersteller zurückgegriffen, der die Schweißprogrammierung mit der intuitivsten und am engsten auf die Logiken des Schweißens bezogene Softwarelösung anbietet. *„Die Software muss so sein, dass Werker diese handhaben können; der Schweißprozess muss unterstützt werden, das Know-how für das Schweißen muss dort abgebildet sein“* (Meister, Fall 06). Der Hersteller der Schweißautomationslösung wirbt damit, „easy digital user interfaces“ anzubieten. Dennoch ist die Einrichtung, Parametrierung und Inbetriebnahme für den Fertigungsanlauf eine komplexe Aufgabenstellung, die nur in Fertigungsteams aus Schweißern, Ingenieuren und IT-Fachkräften bearbeitbar ist.

Im Unternehmen wird die Implementierung von Industrie 4.0 mittels einer neu aufgebauten Abteilung vorangetrieben. Das MES zur Datenerfassung ist in verschiedenen Betriebsbereichen bereits eingeführt. Um die Implementierung von Industrie 4.0 voranzutreiben, werden folgende Arbeitsschritte verfolgt:

1. Digitalisierung von Daten, um das händische Schreiben von Zetteln zu beenden.
2. Einbinden von Maschinen in Industrienetze – aktuell werden Brennschneidemaschinen und Roboter eingebunden.
3. Nach dem Einbinden der Maschinen werden die Prozessdaten erfasst.
4. Wichtig: Entscheidungen, was in bestimmten Fällen zu tun ist, treffen weiterhin Menschen.
5. MES wird bereits im Stahlbau intensiv genutzt. Der Implementierungsprozess war aufwändig.
6. Schritt für Schritt sollen alle vorhandenen Maschinen in Industrienetze eingebunden werden.
7. Die Stellplatzverwaltung funktioniert bereits sehr gut. Sie gibt Antworten dazu, wo welches Bauteil steht und wo es hin geliefert werden muss. Eine unternehmensübergreifende Matrix für die Stellplatzverwaltung ist bereits entwickelt. Das führt zu weniger Aufwand bei der Dokumentation und zu mehr Transparenz.

Diese Schritte hin zur digitalisierten Produktion haben Wirkungen für die „Werker“:

- der Informationsgehalt nimmt zu,
- Zeichnungen stehen jederzeit auf dem Terminal zur Verfügung,
- es stehen immer die neuesten Zeichnungen zur Verfügung,
- die Informationen des Werkers für die Weiterbearbeitung stehen zur Verfügung,
- der gesamte Ablauf ist transparenter, weil nicht mehr nur der Vorarbeiter über alle Dokumentationen verfügt,
- der Zeitaufwand für die Dokumentation durch den Vorarbeiter reduziert sich erheblich.

Der Vertreter des IT-Supports berichtet, dass die genaue Konfiguration des MES und damit der Dokumentationsrahmen durch das Unternehmen bestimmt wird. Eine umfassendere Maschinendatenerfassung wird derzeit erarbeitet. Ein OPC-UA-Server als „Single-Point of Contacts“ unterstützt diesen Prozess. Erfasst werden Steuerungsdaten für den Durchlauf eines Auftrags. Mit dem MES ist eine Personalzeiterfassung verknüpft.

Als sehr vorteilhaft erweist sich die Erfassung der Auftragsdaten und der Auftragsabwicklung, die inzwischen sehr gut verfolgt werden kann, was vorher nicht der Fall war. Auch Durchlaufzeiten werden verfolgt, mit dem Ziel, die Prozessabläufe bei Aufträgen effizienter zu gestalten als bisher.

Aus Sicht des Unternehmens wird durch die Nutzung des MES die Dokumentation einfacher. Die verfügbaren Daten sind auch verlässlicher als in der Vergangenheit und stehen wesentlich schneller zur Verfügung. Diskutiert wird im Unternehmen, ob durch die digitale Dokumentation die Mitarbeiter zu „gläsernen Menschen“ werden, weil präzise feststellbar ist, wer was wann gemacht hat. Dem stehen Argumente der Haftung für die Produkte gegenüber. Die größere Transparenz wird in diesem Zusammenhang als Vorteil gesehen.

Auszubildende müssen für ihre Dokumentationen das MES nutzen. Eine Ausbildungsmanagementsoftware wird aktuell eingeführt.

Im Unternehmen spielen der Stahlbau und das Schweißen größerer Anlagen eine wichtige Rolle. *„Schweißen ist Handwerk, in dem Digitalisierung schwierig ist“* (Meister). Deshalb erfolgt keine progressive Digitalisierung in diesem Arbeitsfeld. Der vorhandene Manufakturcharakter wird noch längere Zeit eine wichtige Rolle spielen. Auch das Arbeiten nach Zeichnungen spielt hier noch eine wichtige Rolle.

Andererseits werden allerdings die ersten Schweißroboter aufgebaut. Das ist mit einer Softwareimplementierung verbunden, was eine Teilautomatisierung nach sich ziehen wird. *„Weil das Schweißen nach wie vor der Kern der Aufgaben ist, werden Anlagen ausgewählt, bei denen der Werker die Software selbst bedienen kann. Programmierer werden definitiv nicht auf Schweißanlagen gesetzt. Das wäre eine Fehlentscheidung“* (Meister). Die Softwarelösungen am Schweißroboter müssen den Schweißer unterstützen. Im Unternehmen wird nach Auskunft der Befragten keine Software gewählt, die nur von Informatikern beherrscht wird! Das *„Know-how des Schweißers spielt eine wichtige Rolle, wenn Roboter zur Unterstützung eingesetzt werden“* (Meister).

Aktuelle Digitalisierungsaufgaben im Stahlbau beziehen sich überwiegend auf die Vernetzung der vor- und nachgelagerten Arbeiten. Eine Verknüpfung der Schweißroboter findet damit statt.

Der vorhandene Schweißsimulator wird zur Ausbildung der Konstruktionsmechaniker nur am Rande benutzt. Grund dafür ist, dass Simulationen das Schweißen zu „imaginär“ (Ausbildungsleiter) abbilden und sich daher eher für die Demonstration des Schweißens eignen. Daran kann aber nicht erlernt werden, wie beispielsweise Feinkornstähle bei riesigen Kran-Anlagen verschweißt werden sollen. Diese Herausforderung besteht im Betrieb allerdings täglich.

Nach wie vor sind Unternehmen anzutreffen wie *Fall 02*, die sehr spezielle Sondermaschinen anfertigen und diese mit sehr viel Intelligenz ausstatten. In der Herstellung wird jedoch mit Produktionsanlagen des Niveaus von Industrie 3.0 gearbeitet. Meist dominiert bei diesen Unternehmen eine CAD-CAM-Kopplung und der Datenaustausch erfolgt über ein MES. Das untersuchte Unternehmen hält an diesen Strukturen fest, weil es damit sehr erfolgreich ist. Es ist dem Unternehmenstyp 01 zuzuordnen.

Industrie 4.0 und die daraus resultierenden Anforderungen für das Unternehmen werden zwar ständig diskutiert, aber zu größeren Technologieschüben hat dies bisher nicht geführt. Was stattfindet ist, dass die Fertigungsmaschinen mit moderner Software ausgestattet werden und sich deren Oberflächenstrukturen für die Bedienung verändern. Diese Veränderungen sind allerdings für die betroffenen

Facharbeiter keine größere Herausforderung, weil durch die vorherrschende werkstattorientierte Programmierung die Mitarbeiter ohne größere Probleme softwareseitige Veränderungen aufnehmen und mit diesen arbeiten. Aufgrund der Einzelfertigung, die in dem Unternehmen auch mit „Losgröße 1“ bezeichnet wird, sind es die Facharbeiter gewohnt, Programme oder Programmveränderungen direkt an einer Maschine vorzunehmen und nur bei besonderen Anlässen oder neuen Produkten kommt es vor, dass notwendige Fertigungsprogramme für die eine oder andere Maschine in der Arbeitsvorbereitung oder extern erstellt werden.

In der spanenden Fertigung sind große Fräsmaschinen im Einsatz, die über CNC-Steuerungen von Heidenhain verfügen, auch CNC-gesteuerte Bohrwerke sind verfügbar, ebenso wie die CAD-CAM-Kopplung, sodass Geometrien aus der Konstruktion bei der Fertigung genutzt werden können. Die Datenübertragung erfolgt mittels MES. Die CNC-Programmierung wird in schwierigen Fällen in der Arbeitsvorbereitung durchgeführt. Erfahrene Facharbeiter an den Maschinen programmieren jedoch selbst. Das heißt, dass meist die Programme von den Maschinenbedienern erstellt werden. Von konventionellen Fertigungsmaschinen gibt es nur noch eine Drehbank zum Üben für Auszubildende.

Die Endmontage erfolgt nach individueller Vorgabe auf der Grundlage der Konstruktionszeichnungen. Kein Montageschritt wird automatisiert durchgeführt.

5.2.3 Entwicklungen bei den gefragten Qualifikationsprofilen

Die dargestellten Entwicklungslinien zeigen, dass Unternehmen zukünftig Fachkräfte benötigen, die in generischen Handlungsfeldern der Produktion mit durchgehend digitalisierten Arbeitsumgebungen tätig sein können. Die Zielrichtung ist, die digitale Transformation als Prozess nicht nur als unternehmerische und strategische Aufgabe über leitende Ebenen und Ingenieure zu gestalten, sondern eher bottom-up über die konkrete Umgestaltung in der Produktion durch Fachkräfte (vgl. insbesondere Fall 08 und Fall 13). Dabei stehen Qualifikationsprofile im Mittelpunkt, die keinerlei Berührungsängste im Umgang mit digitalisierten Werkzeugen und Arbeitsumgebungen haben, zunächst ganz unabhängig davon, ob es sich um einen Metallberuf, Elektroberuf oder informationstechnischen Beruf handelt. Oft sind es gar eher Personen mit einem IT-Beruf, die erhebliche Schwierigkeiten mit dem Zurechtkommen in den komplexen Produktionsumgebungen haben. Es ist daher keineswegs damit getan, verstärkt auf elektrotechnische oder informationstechnische Qualifikationsprofile zu setzen.

Die notwendige Ausrichtung bei den Qualifikationsprofilen kann durch den Begriff der **Industriemechatronik** gekennzeichnet werden, der sich bereits in mehreren Domänen und zahlreichen Berufen, zum Beispiel im Berufsfeld Fahrzeugtechnik, durchgängig durchgesetzt hat. Die in den letzten Abschnitten dargestellten Entwicklungen und Fallbeispiele zeigen, dass

- metalltechnisch geprägte Qualifikationsprofile elektrotechnische und informationstechnische Kompetenzen für ihre Aufgaben benötigen, die sich als mechatronisch geprägte Kompetenzen charakterisieren lassen;
- elektrotechnisch geprägte Qualifikationsprofile mit einer großen Nähe zu den Produktionsumgebungen benötigt werden;
- informationstechnisch geprägte Qualifikationsprofile mit einer großen Nähe zu den Produktionsumgebungen gefragt sind, die elektrotechnische und Maschinenbau-spezifische Kompetenzen so einbeziehen, dass eine rein IT-bezogene Perspektive auf die Produktion überwunden wird;
- interdisziplinäre Teams aus Fachkräften gefragt sind, die durch Spezialisten für die IT bis hin zur KI ergänzt werden, um spezifische softwarebasierte Probleme zu lösen;

- durchgängig mit digitalisierten Werkzeugen für das Instandhalten, Anlagenfahren, Störungssuchen, Arbeit planen, Einrichten und Umbauen gearbeitet wird und dabei die produktionsbezogenen Tätigkeiten im Mittelpunkt stehen (Schweißen, Montieren, Entgraten, Zerspanen, ...) und nicht der elektrotechnische oder informationstechnische Gegenstand.

Für die Produktionsautomatisierung ist eher von einer Zunahme an notwendigen Facharbeiterqualifikationen auszugehen (vgl. Fall 06, 09, 10, 13). Rein technologisch betrachtet wäre bei zunehmender Digitalisierung der Produkte und der Produktion eine Zunahme bei den Ingenieurqualifikationen zu erwarten. Allerdings zeigen die Untersuchungen, dass die Zahl der Ingenieure, welche die Infrastruktur für die Automatisierung bereitstellen, eher stabil bleibt oder abnimmt:

„Noch notwendige ehemalige White-Collar-Aufgaben werden nach der Digitalisierung nicht mehr von White-Collar-Personen bewältigt, sondern von Blue-Collar-Werkern. Diese werden die Aufgaben zu großen Teilen mit dem iPad oder anderen digitalen Instrumenten erledigen. Ergebnis dieses Prozesses ist, dass Office-Floor und Shopfloor zunehmend verschmelzen. Die lange Informationskette, wie sie in der vertikalen Fertigungspyramide dokumentiert ist, wird voraussichtlich nicht mehr nötig sein. Die Hierarchien in den Betrieben werden sich auflösen und die Pyramide durch ein flaches Netzwerk ersetzt werden. Erwartet werden davon massive Effizienzsteigerungen.

...

Ganz wesentliches Merkmal dieser flachen Struktur ist, dass Aufträge direkt auf dem Shopfloor aufschlagen und Werker direkt Produktionsänderungen vornehmen können. In einem Beispielfall wurde durch diese Form der Reorganisation die Lieferzeit für ein Werkzeug von vier Tagen auf vier Stunden reduziert. Möglich wurde dies dadurch, dass die indirekten Prozesse durchautomatisiert wurden. Von etwa zwanzig Mitarbeitern verblieben in dem infrage stehenden Fertigungsbereich noch zwölf Mitarbeiter. Diese zwölf Mitarbeiter sind den Blue-Collar-Werkern zuzurechnen und auf dem Shopfloor angesiedelt. Die White-Collar-Mitarbeiter sind aus den ehemaligen Tätigkeiten ausgeschieden und nehmen andere Aufgaben wahr“ (Experte 14, Spezialist für die Produktionsautomatisierung).

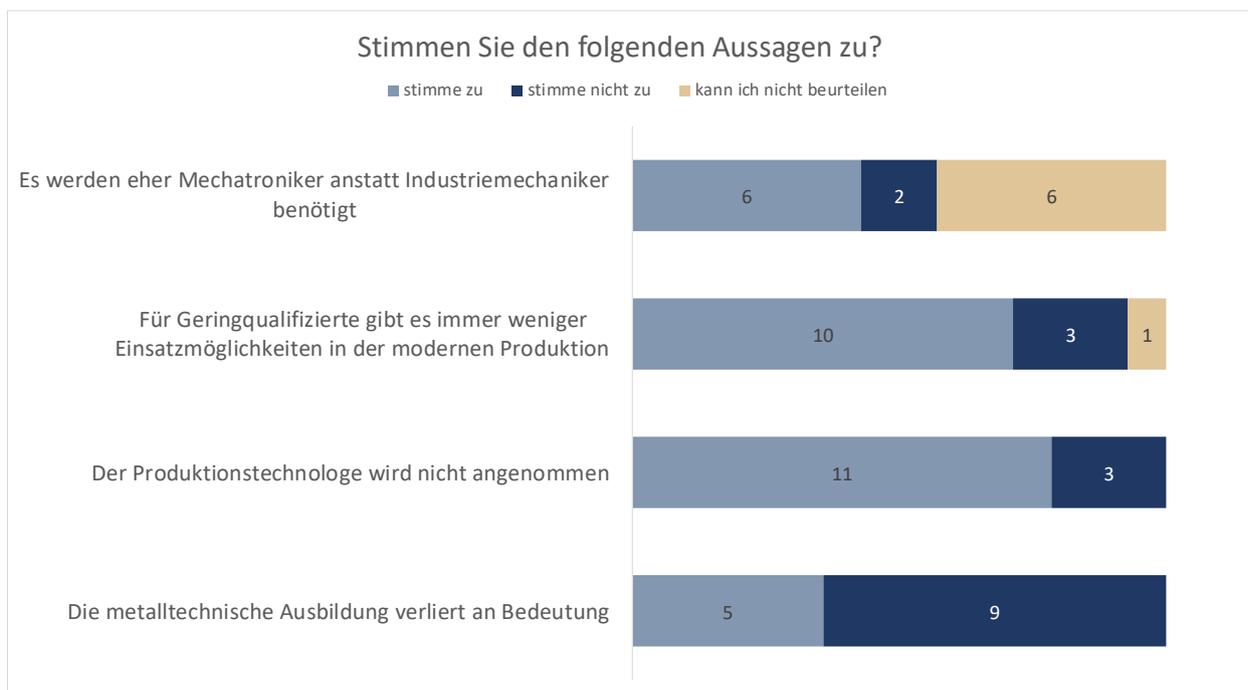
Während also die Einführung der Automatisierung und Digitalisierungsprozesse in der Produktion durchaus vermehrt akademische Qualifikationen beziehungsweise die oben angesprochenen interdisziplinären Teams erfordert, sind nach der Einführung der Automatisierungsprozesse in der Regel Fachkräftequalifikationen – also Personen mit einer dualen Berufsausbildung – gefragt, um die digitalisierte Produktion zu betreiben und zu betreuen. Gelingt das nicht in dieser Weise, so stellen sich die Digitalisierungsansätze meist als nicht wirtschaftlich heraus, weil ein hoher Einsatz akademisch ausgebildeten Personals in der Produktionsautomatisierung sich ökonomisch nicht rechnet und diesen Personen oft auch das unmittelbar an das Produktionsgeschehen geknüpfte Know-how fehlt.

„Durch diese Maßnahme besteht auch die Chance, das Prozesswissen der Fachkräfte in die Entscheidungen mit einzubeziehen. Mitarbeiter, die täglich an Anlagen arbeiten, kennen die Prozessabläufe im Detail. Smart-Factory-Mitarbeiter (Ingenieure Maschinenbau/Informatik) verfügen über dieses Wissen und Können nicht“ (Fall 14).

Im Zusammenhang mit der Diskussion um Beschäftigungs- und Qualifikationseffekte von Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 4.1) ist die Positionierung von Experten im zweiten Expertenworkshop zu den in Abbildung 19 genannten Fragen interessant. Auch wenn diese Zahlen nicht repräsentativ sind, bekräftigen sie Positionen, die sich auch in der Literatur finden. Zum einen ist es die Beschäftigungssituation für

Geringqualifizierte und zum anderen die Verschiebungstendenzen innerhalb von Berufen, die in den nachstehenden Ausführungen auf Basis der empirischen Ergebnisse untermauert werden. Allerdings können zugleich auffällig viele befragte Experten die Verschiebung von Industriemechanikern zu Mechatronikern nicht beurteilen.

Abbildung 19: Bewertungen von „Verschiebungstendenzen“ bei Beschäftigten durch Experten



Quelle: Expertenworkshop II (N = 14)

5.3 Zwischenfazit

Die Analyse der Entwicklungen in den Unternehmen im Rahmen der digitalen Transformation zeigt ein breit gefächertes Bild. Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass in fast allen Unternehmen Entwicklungsschritte eingeleitet wurden, um sich auf den digitalen Wandel vorzubereiten beziehungsweise diesen zu gestalten, jedoch in unterschiedlicher Geschwindigkeit und Tiefe.

Die These der Disruption der Unternehmensentwicklung durch Digitalisierungseinflüsse bestätigt sich nicht. Es handelt sich bei der digitalen Transformation um einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess hin zur Modernisierung der Produktion mit digitalen Instrumenten. Dem voran geht ein Optimierungsprozess der Organisationsstruktur und der Arbeitsorganisation.

Die Entwicklungsetappen in den Unternehmen der M+E-Industrie werden sorgfältig und eher zurückhaltend geplant. Trotzdem entfalten sie oft unruhige und große Wirkungen in den Belegschaften, weil deutlich wird, dass die Unternehmen sich der Digitalisierung stellen und diese auch implementieren. Dabei verfolgen Unternehmen unterschiedliche Ansätze:

- Ernennen von Digitalisierungsmultiplikatoren mit der Aufgabe, erste Vorbereitungsschritte und Qualifizierungsmaßnahmen zu organisieren, um Mitarbeiter auf den Digitalisierungsprozess in deren Arbeitsfeld vorzubereiten.

- Bilden von Reorganisationsteams, die bestehende Abläufe in Unternehmen und der Produktion optimal organisieren, um diese digitalisieren zu können.
- Ausrichten neuer Digitalisierungsprozesse auf die bestehende Fachkräftebasis. So gilt es beispielsweise, eine fachkräftefreundliche Software für die Maschinenbedienung eines Schweißautomaten auszuwählen. Es ist Aufgabe eines Digitalisierungsteams, zu bestimmen, welche Berufsgruppen mit dieser Software arbeiten sollen. Eine Position, der die Forscher in den Fallstudien immer wieder begegnet sind, lautete: *„die Software muss so sein, dass Werker diese handhaben können“* (Meister, Fall 06). Es liegt jedoch auf der Hand, dass es bei dieser Position nicht bleiben muss!

Aus der Analyse der Arbeitswelt und Qualifikationsstrukturen wird deutlich, dass sich Beschäftigte aller Qualifikationsniveaus durchgängig mit digital durchdrungener Arbeit auseinandersetzen. 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. Im Zusammenhang mit der Auftragsvergabe von Seiten der Kunden sind Unternehmen zum Beispiel oft mit einer undefinierten Datenmenge konfrontiert. *„Um daraus die notwendigen Produktionsinformationen herauszuziehen, sind sowohl akademisch ausgebildete als auch über eine berufliche Erstausbildung qualifizierte Personen notwendig, weil die Daten einen sehr unterschiedlichen Charakter aufweisen“* (Fall 01).

Digitalisierung schafft dabei neue Kontexte für Fachkräfte. Im Anlagenbetrieb geht es beispielsweise für Fachkräfte nicht nur darum, Roboter zu programmieren, sondern auch um den Einsatz der Roboter in spezifischen Situationen. Dafür ist es notwendig, die vorhandene Anlagenkomplexität zu durchschauen, was die Auseinandersetzung mit technologischen Neuentwicklungen einschließt. Ein Beispiel: *„Hat ein Kunde seine SPS mit Hilfe des TIA-Portals erweitert, dann müssen Bediener eigens qualifiziert werden, da nun eine vernetzte Arbeitsumgebung entsteht, die weit über eine reine SPS-Programmierung hinaus geht und neue symbolische ‚Low-Coding‘-Automatisierungsansätze ermöglicht. Solche Veränderungen haben Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation und auf den Einsatz der Monteure. Hier war es erforderlich, die Programmierung der konventionellen SPS und der Roboter durch zwei Personen vornehmen zu lassen. Unter Nutzung des TIA-Portals ist dieses nicht mehr erforderlich, weil Tablets zum Einsatz kommen, die von einer Person bedient werden können“* (Fall 09).

Die digitalisierte Arbeitswelt bildet dabei nicht nur „Industrie 4.0“-Verhältnisse, sondern durchwachsene und veränderte Strukturen ab. Die zunehmende Automatisierung in der Produktion führt dazu, dass sich die generischen Aufgaben von Fachkräften verändern: Sie müssen ihre Aufgaben mit digitalisierten Werkzeugen erledigen, die Produktionsanlagen über HMI bedienen und ihre Professionalität mit Hilfe digitalisierter Medien, Bedienelemente und Arbeitsstrukturen entfalten. Es erfolgt dabei keine grundlegende Verschiebung der Aufgabenschwerpunkte: Konstruktionsmechaniker müssen weiterhin Metallkonstruktionen mit Schweißverfahren herstellen, Zerspanungsmechaniker weiterhin Bauteile mit zerspanenden Verfahren herstellen und Elektroniker für Betriebstechnik sind weiterhin für elektrische Verkabelungen von Maschinen und Anlagen zuständig. Allerdings sind bei nahezu allen Aufgaben digitalisierte Werkzeuge, Methoden und Produktionsmittel und -verfahren im Einsatz, sowie diesbezügliche informationstechnische Kenntnisse anzuwenden. Fachkräfte benötigen durchgängig entwickelte digitale Kompetenzen in Verbindung mit Fachkompetenzen, die auf die konkreten Produktions- und Instandhaltungsaufgaben ausgerichtet sind, soweit es sich um Produktionsverfahren und Fertigungsprozesse

handelt. Handlungskompetenzen und die Beherrschung der **Industriemechatronik** in allen Belangen gehören zu den zentralen Aktivitätsfeldern der Fachkräfte.

Aufgabenverschiebungen sind erkennbar durch eine Verschmelzung und Vernetzung mechanischer, elektrotechnischer und informationstechnischer Anforderungen. Lehrkräfte, Ausbilder und auch die Fachkräfte begreifen dabei die Digitalisierung eher als Chance denn als Risiko. Die vier identifizierten Unternehmenstypen zeigen allerdings auch, dass nur sorgfältig umgesetzte Veränderungsprozesse aus Sicht der Unternehmen erfolgversprechend sind, die durch die Qualifizierung des Personals in unterschiedlicher Geschwindigkeit begleitet werden. Für die Veränderungsprozesse ist die Beteiligung und Mitgestaltung der Fachkräfte von hervorzuhebender Bedeutung, da diese nach entsprechenden Einführungsprozessen die Produktion sicherstellen, die Anlagen fahren und die Instandhaltung umsetzen. Die beruflichen Kompetenzen für die konkreten Arbeitsverfahren sowie Produktionsprozesse erweisen sich als nicht durchgängig ersetzbar. Eine strukturelle Verschiebung der Arbeitsstrukturen auf Shopfloor-Ebene hin zu akademisch ausgebildetem Personal ist aktuell nicht zu erkennen – allein schon aus ökonomischen Gründen. Wohl aber entstehen neue Arbeitsstrukturen, in denen interdisziplinäre Teams aus akademisch und nicht-akademisch qualifiziertem Personal die Digitalisierung in Richtung Industrie 4.0 vorantreiben.

6 Veränderungen in der Ausbildung als Antwort auf den digitalen Wandel

Ein Schwerpunkt der Untersuchung ist die Bestandsaufnahme und Analyse der Rolle der Digitalisierung in den Ausbildungsberufen der M+E-Industrie. Mit Hilfe des Mixed-Methods-Design ist es möglich, aufzuzeigen, dass die Unternehmen sehr vielfältige Antworten auf den digitalen Wandel in der Ausbildung finden und differenzierte Wege gehen. Zugleich wird weiterer Handlungsbedarf deutlich.

6.1 Einschätzungen der Unternehmen zur Ausbildung

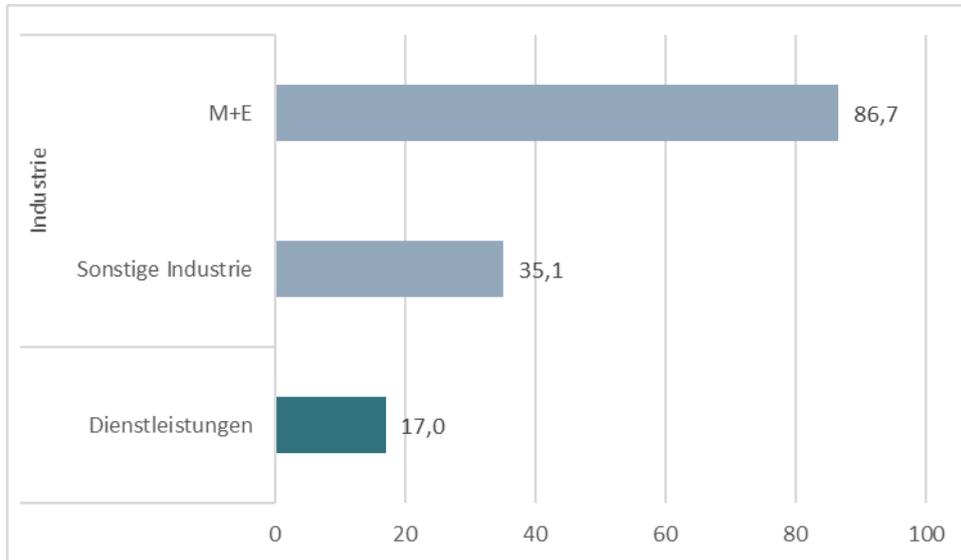
Einen breiten Blick auf die Rolle der Digitalisierung in der Ausbildung von M+E-Berufen bietet die repräsentative Unternehmensbefragung. Bevor erörtert wird, ob und wie Unternehmen ihre Ausbildungsinhalte an die fortschreitende Digitalisierung angepasst haben, lohnt sich ein Blick auf die ausbildenden Unternehmen selbst: In welchen Branchen oder Unternehmensgrößen wird am häufigsten in M+E-Berufen ausgebildet und welche Berufe sind besonders häufig vertreten?

Etwa ein Viertel aller befragten Ausbildungsbetriebe sind in der Ausbildung von M+E-Berufen aktiv (24,8 Prozent). Da nur etwa jedes fünfte Dienstleistungsunternehmen in einem M+E-Beruf ausbildet, sind die Fallzahlen bei den Fragen zur M+E-Ausbildung sehr gering, weshalb für die Dienstleistungsbranchen keine repräsentativen Aussagen getroffen werden können. Daher wird der Schwerpunkt des Berichts auf die Industriebranche gelegt. Dort sind knapp die Hälfte der Unternehmen (47,9 Prozent) in der Ausbildung von mindestens einem M+E-Beruf aktiv. An den Stellen, an denen eine ausreichende Fallzahl für die M+E-Industrie vorliegt, werden diese Ergebnisse separat ausgewiesen und mit den Werten der restlichen Industriebranche verglichen. Dabei werden die Wirtschaftsbereiche wie folgt aufgeteilt:

- **M+E-Branche:** Unternehmen aus den Bereichen Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Herstellung von Metallerzeugnissen und Maschinenbau, Elektroindustrie, Fahrzeugbau;
- **sonstige Industrie:** Unternehmen der Bereiche Chemie, Pharma, Gummi und Kunststoff, sowie anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, aus der Energie-, Wasserversorgung, Entsorgung und der Bauwirtschaft.

Betrachtet man die drei Branchen M+E, sonstige Industrie und Dienstleistungen (vgl. Abbildung 20), zeigt sich, dass M+E-Berufe hauptsächlich in der M+E-Industrie ausgebildet werden: Insgesamt bildet zwar wie bereits erwähnt fast jedes zweite ausbildende Unternehmen aus der übergeordneten Industrie-Branche in mindestens einem M+E-Beruf aus. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass der Anteil der Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden, unter den Unternehmen aus der Metall- und Elektrobranche höher ist als in der sonstigen Industrie: Erwartungskonform sind circa neun von zehn ausbildenden M+E-Unternehmen (86,7 Prozent) in der Ausbildung der relevanten Berufe (siehe Abschnitt 3.3) aktiv. Aber auch mehr als jedes dritte Unternehmen der sonstigen Industriebranche bildet in mindestens einem M+E-Beruf aus.

Abbildung 20: Ausbildung in mindestens einem M+E-Beruf nach Branche
Anteil an allen ausbildenden Unternehmen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 654

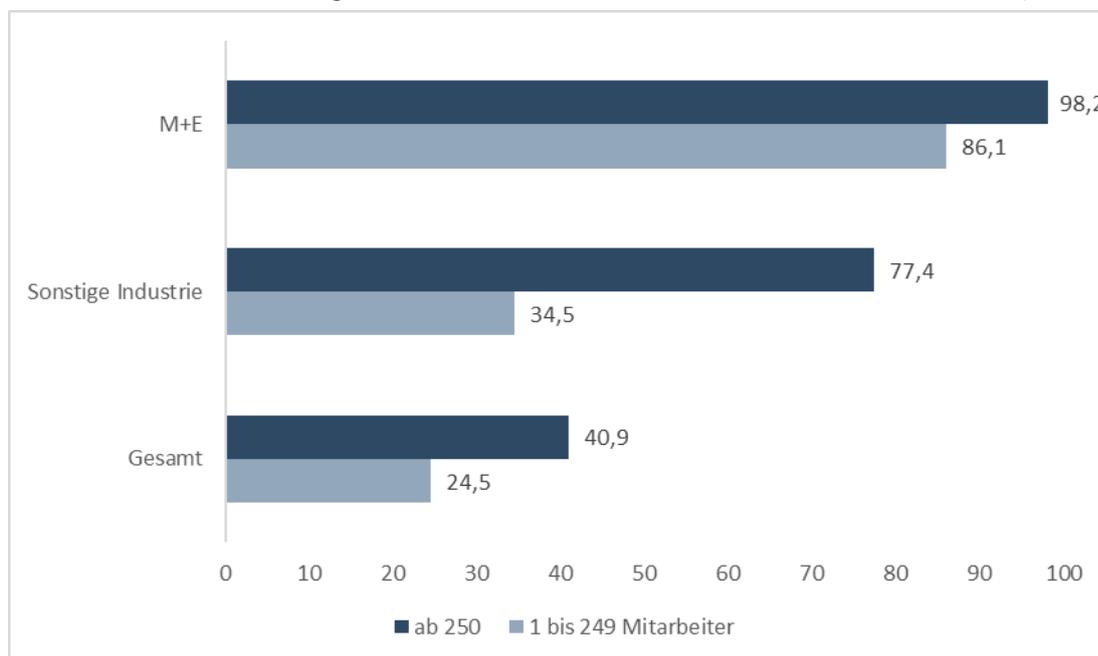
Die Ausbildungsbeteiligung in der Dienstleistungsbranche, in der gesellschaftsnahe und unternehmensnahe Dienstleistungen zusammengefasst werden, ist – wie bereits eingangs erwähnt – deutlich geringer: Insgesamt bilden hier nur 17 Prozent der ausbildenden Unternehmen auch in mindestens einem M+E-Beruf aus. Da bei dieser nachvollziehbar geringen Ausbildungsbeteiligung keine verlässlichen Aussagen zur Lage der Teilnovellierungen in den einzelnen M+E-Ausbildungsberufen möglich sind, werden die Unternehmen der gesellschafts- und unternehmensnahen Dienstleistungen in den folgenden Ergebnisdarstellungen ausgeklammert.

Betrachtet man die Ausbildungsbeteiligung in M+E-Berufen nach der Größe der Ausbildungsbetriebe, dann zeigt sich, dass große Unternehmen häufiger in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden. Dabei ist vor allem in der sonstigen Industriebranche (ohne M+E) eine große Schere in der Ausbildungsbeteiligung zwischen kleinen bis mittleren und großen Unternehmen zu erkennen: Hier bilden drei Viertel der großen Unternehmen in mindestens einem M+E-Beruf aus, während unter den kleinen bis mittleren nur ein Drittel in der Ausbildung aktiv sind.

In der M+E-Branche liegt der Anteil der kleinen und großen Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden, näher aneinander: Denn sowohl unter den kleinen bis mittelgroßen Ausbildungsunternehmen als auch unter großen Unternehmen ist die M+E-Ausbildungsbeteiligung in dieser Branche sehr hoch. Kleine und mittelgroße Unternehmen bilden nur geringfügig seltener (86,1 Prozent) in M+E-Berufen aus als große Unternehmen (98,2 Prozent). Mögliche Erklärungsfaktoren, weshalb größere Ausbildungsbetriebe häufiger in M+E-Berufen ausbilden, sind neben einem unterschiedlichen Ausmaß an verfügbaren Ressourcen, auch ein differenzierterer Bedarf an Kompetenzen innerhalb der Belegschaft sowie eine langfristige Ausrichtung der Personalplanung bei größeren Unternehmen.

Abbildung 21: Ausbildungsbeteiligung in mindestens einem M+E-Beruf in der Industrie nach Unternehmensgröße

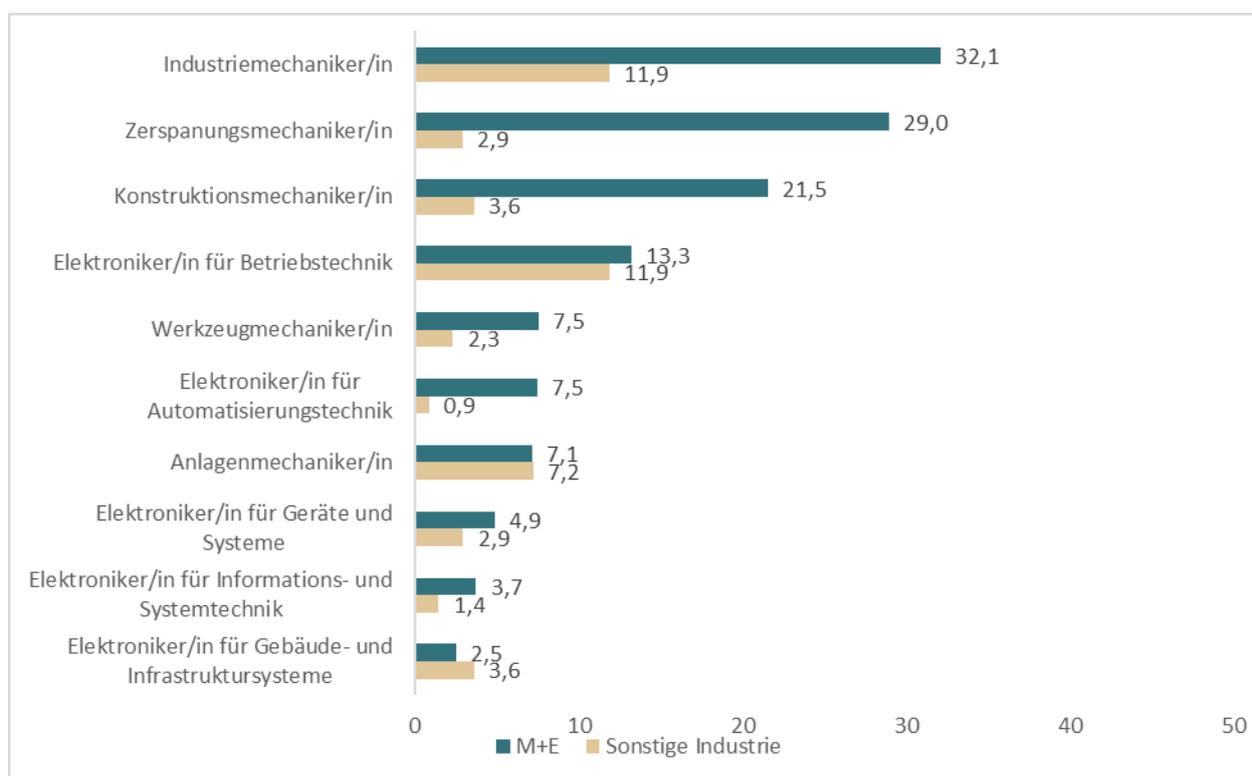
in M+E-Branche und sonstiger Industrie, Anteil an allen ausbildenden Unternehmen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 654

Abbildung 22: Ausbildungsbeteiligung nach einzelnen M+E-Berufen

Anteil an allen ausbildenden Unternehmen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 364

Sieht man sich die Ausbildungsbeteiligung in den einzelnen M+E-Berufen genauer an, zeigt sich erwartungsgemäß, dass die meisten Berufe häufiger in der Metall- und Elektrobranche ausgebildet werden. Nur in den Berufen Anlagenmechaniker und Elektroniker für Gebäude und Infrastruktur bilden anteilig mehr Unternehmen innerhalb der sonstigen Industriebranche aus. Insgesamt bilden die meisten Unternehmen in der M+E-Industrie Industriemechaniker (32,1 Prozent), Zerspanungsmechaniker (29 Prozent) und Konstruktionsmechaniker (21,5 Prozent) aus. In der restlichen Industrie wird am häufigsten in den Berufen Industriemechaniker und Elektroniker für Betriebstechnik (beide Berufe 11,9 Prozent) ausgebildet.

Über die von den Teilnovellierungen betroffenen M+E-Berufe hinaus (siehe Abschnitt 3.3) wurde auch die Ausbildungsbeteiligung in weiteren M+E-relevanten Berufen erfasst. Dazu zählt zum Beispiel die Ausbildung zum Produktionstechnologen oder in IT-Berufen, wie der IT-Fachinformatiker mit den beiden Fachrichtungen Systemintegration und Anwendungsentwicklung; die beiden neu eingeführten Fachrichtungen Daten- und Prozessanalyse sowie Digitale Vernetzung wurden in der Befragung noch nicht mit einbezogen. Die Ausbildungsbeteiligung in den Branchen zeigt, dass diese Berufe mit Ausnahme des Produktionstechnologen am häufigsten in den unternehmensnahen Dienstleistungen ausgebildet werden. Die Ausbildung zum Produktionstechnologen ist der einzige Beruf, den mehr Unternehmen aus der Industrie als aus der Dienstleistungsbranche anbieten. Am häufigsten werden Produktionstechnologen von den Unternehmen der sonstigen Industrie ausgebildet, obwohl auch hier nur wenige diese Ausbildung anbieten: Gerade mal 5,8 Prozent der ausbildenden Unternehmen der sonstigen Industrie sind in der Ausbildung für Produktionstechnologen aktiv. Die M+E-Branche spielt mit 1,3 Prozent für die Ausbildung in diesem Beruf nur eine untergeordnete Rolle. Betrachtet man die Zahl der neu abgeschlossenen Ausbildungsverträge für den Beruf der Produktionstechnologie, zeigt sich, dass nur wenige Personen eine Ausbildung in diesem Beruf beginnen: So wurden zum Start des Ausbildungsjahres 2020/2021 im September 2020 nur 105 neue Ausbildungsverträge geschlossen.

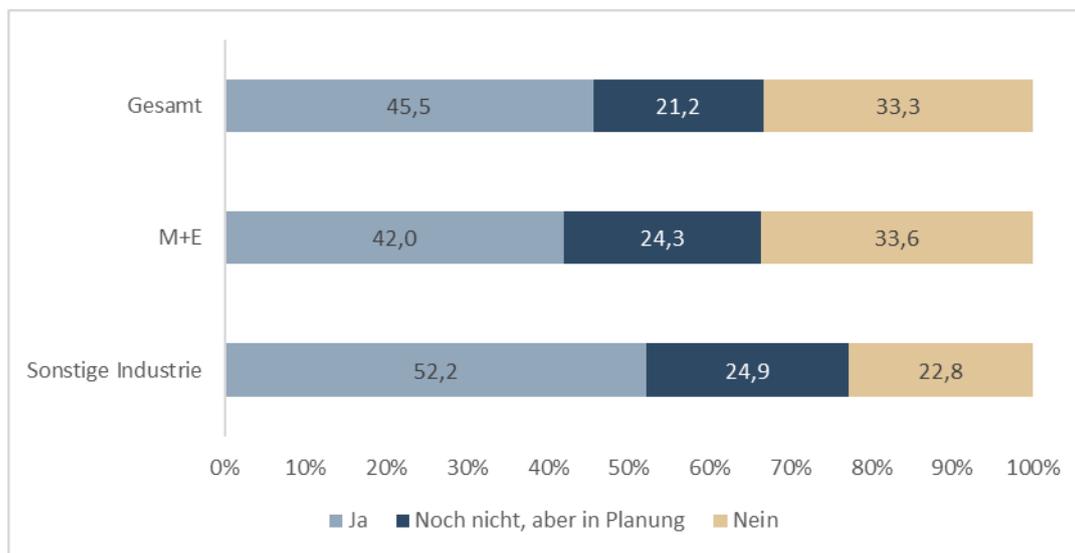
Die Ausbildungsbeteiligung in M+E-Berufen zeigt, dass vor allem Metall- und Elektrounternehmen aller Größenordnungen aufgrund ihrer Ausbildungsaktivität von den modernisierten Ausbildungsordnungen der industriellen Metall- und Elektroberufe sowie den neu geregelten Zusatzqualifikationen betroffen sind (Abbildungen 21 und 22). Neben der M+E-Branche bilden auch sonstige Industrieunternehmen häufig in Berufen aus, die zum Metall- und Elektrobereich gezählt werden; hier allerdings eher die großen Unternehmen.

Einführung neuer Ausbildungsinhalte

Im Zuge der kontinuierlich fortschreitenden Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnologien und sich daraus ergebenden Folgen für die Industrie stellt sich die Frage, inwiefern die Unternehmen mit einer Anpassung der Ausbildungsinhalte an die neuen Bedarfe reagieren. Dabei wird nicht erfasst, ob die Unternehmen neue Ausbildungsinhalte entsprechend den Teilnovellierungen oder aufgrund eigener Bedarfe eingeführt haben oder welche Inhalte sie ergänzt haben. Beinahe die Hälfte der befragten M+E-Ausbildungsbetriebe hat in den letzten fünf Jahren die Ausbildungsinhalte ihrer M+E-Berufe an die Digitalisierung angepasst (Abbildung 23). Knapp ein Drittel der in M+E-Berufen ausbildenden Unternehmen sahen hingegen noch keinen Bedarf, die Ausbildungsinhalte als Reaktion auf die fortschreitende Digitalisierung anzupassen.

Abbildung 23: Einführung neuer Ausbildungsinhalte in M+E-Berufen nach Branchen

Anteil an Unternehmen, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden (in Prozent)



Frage: „Hat Ihr Unternehmen in der Ausbildung der Metall- und Elektroberufe in den letzten fünf Jahren neue Ausbildungsinhalte eingeführt, um auf die Herausforderungen der digitalen Arbeitswelt zu reagieren?“

Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 286

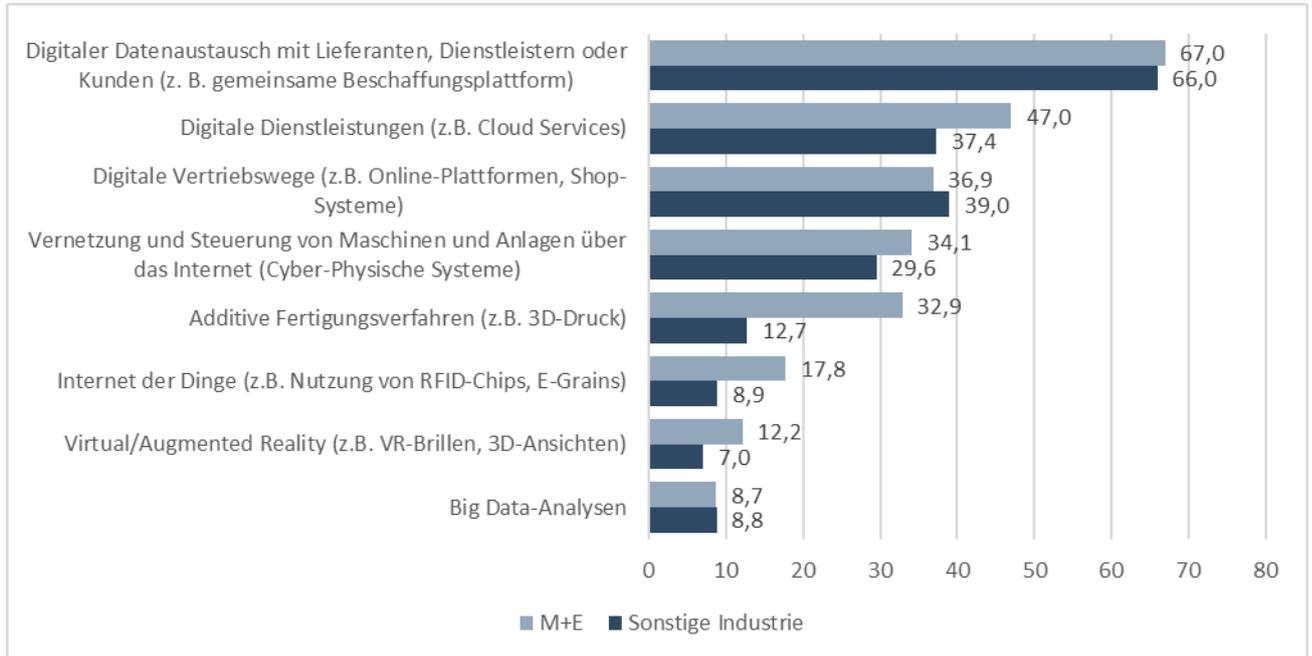
Am höchsten ist der Anteil der Unternehmen, die ihre Ausbildungsinhalte im Zuge der Digitalisierung angepasst haben, in der sonstigen Industrie: Knapp über die Hälfte der Unternehmen aus dieser Branche haben Ausbildungsinhalte in den M+E-Berufen angepasst. Auch in der Metall- und Elektrobranche haben vier von zehn Unternehmen in den letzten fünf Jahren auf Herausforderungen der digitalen Arbeitswelt reagiert und neue Ausbildungsinhalte eingeführt (42,2 Prozent). Ein weiteres Viertel plant, neue Ausbildungsinhalte einzuführen (24,3 Prozent). Damit liegen die Ausbildungsbetriebe aus der M+E-Branche bei der Anpassung der Ausbildungsinhalte in M+E-Berufen etwas hinter dem Gesamtdurchschnitt der ausbildenden Betriebe und deutlich hinter den Betrieben aus der sonstigen Industrie.

Ob ein Unternehmen neue Ausbildungsinhalte einführt, variiert je nach Größe des Unternehmens: Große Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitenden haben ihre Ausbildungsinhalte an die Digitalisierung in den letzten fünf Jahren häufiger angepasst (61,2 Prozent) als kleine und mittelgroße Unternehmen mit bis zu 249 Mitarbeitenden (47,1 Prozent). Große Unternehmen haben allerdings auch eine bessere Ressourcenausstattung, zum Beispiel im Hinblick auf Ausbildungsmaterialien, aber auch Ausbildungspersonal, was Veränderungen in der Ausbildung vereinfacht. Da kleine und mittelgroße Unternehmen allerdings nicht wesentlich häufiger als große Unternehmen die Einführung neuer Ausbildungsinhalte planen (24,8 Prozent zu 22,1 Prozent), könnte vermutet werden, dass sie entweder auch in Zukunft nicht genügend Ressourcen haben, um ihre Ausbildung zu modernisieren, oder aber keine Notwendigkeit hierzu sehen.

Die Notwendigkeit einer Modernisierung der Ausbildung kann auch mit dem Digitalisierungsgrad von Unternehmen zusammenhängen. Nutzen Unternehmen besonders viele digitale Technologien, sollte der Anpassungsdruck an digitale Veränderungen – und damit die Bereitschaft, auch die Ausbildungsinhalte entsprechend anzupassen – größer sein. Daher wurde erhoben, welche digitalen Technologien die Unternehmen bereits nutzen (vgl. Abbildung 24).

Abbildung 24: Nutzung digitaler Technologien

Anteil an allen Unternehmen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 564-567

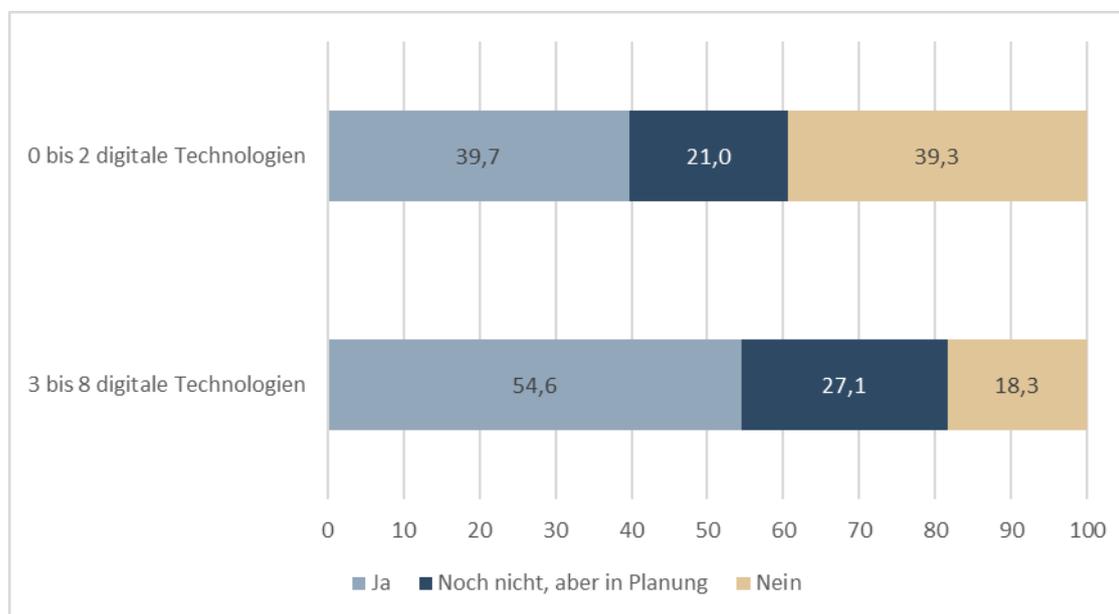
Ungefähr zwei Drittel der Unternehmen stehen im digitalen Datenaustausch mit Kunden, Lieferanten und Dienstleistern zum Beispiel über eine gemeinsame Beschaffungsplattform. Der digitale Datenaustausch ist damit die Technologie, die von den meisten Unternehmen genutzt wird. Danach folgen digitale Dienstleistungen, wie etwa Cloud Services, und digitale Vertriebswege, wie Online-Plattformen beziehungsweise Shop-Systeme. Digitale Dienstleistungen werden dabei häufiger von Unternehmen aus der Metall- und Elektroindustrie genutzt und digitale Vertriebswege etwas häufiger von sonstigen Industrieunternehmen. In ungefähr einem Drittel der Industrie-Unternehmen kommen cyber-physische Systeme zur Anwendung. In der Industrie sind die Unternehmen der M+E-Branche Vorreiter bei der Vernetzung und Steuerung von Maschinen und Anlagen über das Internet und liegen mit 34,1 Prozent Anwendung vor den sonstigen Industrieunternehmen (29,6 Prozent). Auch bei neueren Technologien, wie additiven Fertigungsverfahren, dem Internet der Dinge und dem Einsatz von Virtual- bzw. Augmented Reality sind Unternehmen aus der M+E-Branche in einer Vorreiterposition aktiv. Darüber hinaus zeigt sich, dass Metall- und Elektrounternehmen alle abgefragten Technologien im Allgemeinen und die neueren Technologien im Besonderen häufiger einsetzen als Unternehmen aus anderen Branchen. Entsprechend der Hypothese, dass eine stärkere Nutzung digitaler Technologien zu einer größeren Bereitschaft führt, Ausbildungsinhalte an die Digitalisierung anzupassen, müsste angenommen werden, dass Unternehmen der M+E-Branche auch verstärkt Ausbildungsinhalte aktualisiert haben. Dies ist jedoch nicht der Fall (Abbildung 25). Um den Einfluss der Nutzung digitaler Techniken auf die Erneuerung der Ausbildungsinhalte zu klären, braucht es deshalb tiefergehende Analysen (siehe Abschnitt 6.2).

Aus der Summe der genutzten digitalen Technologien lässt sich ein Indikator zum Digitalisierungsgrad des Unternehmens bilden: Nutzen Unternehmen weniger als drei der abgefragten Technologien, haben sie einen eher geringen bis moderaten Digitalisierungsgrad. Unternehmen, die drei oder mehr der

abgefragten Technologien nutzen, gelten hier als Unternehmen mit einem eher hohen Digitalisierungsgrad (vgl. Abbildung 25).¹⁸

Abbildung 25: Einführung neuer Ausbildungsinhalte nach Digitalisierungsgrad

Anteil an Unternehmen in der Industrie, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 239

Es zeigt sich, dass stärker digitalisierte Unternehmen bei der Anpassung der Ausbildungsinhalte vorne liegen: Über die Hälfte der Unternehmen mit einem höheren Digitalisierungsgrad hat bereits in den letzten fünf Jahren die Ausbildungsinhalte für M+E-Berufe an die fortschreitende Digitalisierung angepasst. Ein weiteres Viertel der stärker digitalisierten Unternehmen plant eine Anpassung der Ausbildungsinhalte in der Zukunft. Unter den weniger stark digitalisierten Unternehmen zeigt sich ein anderes Bild: Hier ist der Anteil der Unternehmen, die keinen Aktualisierungsbedarf der Ausbildungsinhalte sehen, doppelt so hoch wie bei den Unternehmen mit höherem Digitalisierungsgrad. Zudem ist der Anteil der Unternehmen, die in den letzten fünf Jahren bereits Anpassungen der M+E-Ausbildungsinhalte vorgenommen haben, bei den wenig digitalisierten Unternehmen geringer: Nur rund vier von zehn Unternehmen in dieser Gruppe haben die Ausbildungsinhalte der M+E-Berufe in den letzten fünf Jahren an Digitalisierungsbedarfe angepasst.

6.2 Trends in der Ausbildung

Die Kategorisierung der Unternehmen in unterschiedliche Entwicklungsebenen (vgl. Abschnitt 5.2) deutet darauf hin, dass längst nicht alle Facetten der Digitalisierungstechnik massiv eingesetzt werden. Nach wie vor gibt es Unternehmensgruppen, bei denen die konventionelle CNC- und CAD-Technologie, also Industrie 3.0, in Fertigung und Montage sehr weit verbreitet und kaum mit anderen

¹⁸ Bei der Beschreibung des Digitalisierungsgrads eines Unternehmens muss berücksichtigt werden, dass nicht nur die Anzahl der genutzten Technologien für den Digitalisierungsgrad (Quantität) entscheidend ist, sondern auch die Intensität der Nutzung (Qualität). Da sich die Qualität der Nutzung digitaler Technologien nur schwer erfassen lässt, beschränkt sich der gebildete Indikator „Digitalisierungsgrad“ nur auf die Quantität der angewandten Technologien und ist somit als Annäherung zu betrachten.

Produktionsbereichen vernetzt sind. Auch ist innerhalb mancher Unternehmen die Spreizung der technologischen Umsetzung sehr groß und neben hochautomatisierter Fertigungstechnik kommen konventionelle Techniken und Handarbeit zum Einsatz. Das schließt nicht aus, dass in diesen Unternehmen trotzdem „hochintelligente Produkte“ gefertigt werden (vgl. Fall 02 und Fall 04). In Folge dieses Spagats geben viele Unternehmen in den Fallstudien an, dass sie nach wie vor auch in handwerklichen Grundfertigkeiten ausbilden und gleichzeitig die Auszubildenden in kleinen Schritten auf die Digitalisierung vorbereiten zu müssen. Eine Veränderung der Ausbildungsordnung halten sie meist nicht für notwendig (zum Beispiel Fall 11). Da die Digitalisierung auch in Unternehmen Einzug hält, die diese weniger zielgerichtet verfolgen, soll analysiert werden, wie die Ausbildungsabteilungen die Auszubildenden auf die Digitalisierung vorbereiten.

Bei der Entscheidung darüber, wie die Auszubildenden auf die Digitalisierung vorbereitet werden, stehen bei den befragten Betrieben vier Parameter im Mittelpunkt. Diese umfassen:

1. **Betriebliche Entwicklungen:** Die betrieblichen Entwicklungen bei der Nutzung digitaler Technologien und der Reorganisation von Fertigungs- und Produktionsprozessen hin zu optimierten Prozessabläufen (siehe auch 6.1).
2. **Personalplanung:** Die Personalplanung der Betriebe, die in engem Zusammenhang mit dem Bedarf in den einzelnen Fachabteilungen steht.
3. **Ordnungsmittel:** Entwicklungen bei den Ausbildungsordnungen der Berufe, die genauestens verfolgt werden, um dann zu reflektieren, welche Schlüsse aus den Veränderungen für den eigenen Betrieb gezogen werden sollen.
4. **Ausbildungshilfen:** Entwicklungen bei Ausbildungshilfen, digitalen Medien und Lehrmitteln wie Lernfabriken und anderen Lernträgern.

Analysiert man die Fallstudien und Expertengespräche auf der Grundlage der vier Parameter, dann zeigt sich, dass die Betriebe mit wenigen Ausnahmen diesen eine hohe Relevanz beimessen (Tabelle 9). Nur bei kleineren Betrieben, die keine Ausbildungsabteilung haben oder bei Betrieben, bei denen Auszubildende von Beginn der Ausbildung an direkt in den produktiven Abteilungen arbeiten, spielen die Ordnungsmittel und die Ausbildungshilfen keine größere Rolle, wenn es darum geht, zu klären, wie die Ausbildung auszurichten ist. In diesen Fällen werden die Ordnungsmittel eher punktuell und bei unmittelbarem Bedarf zu Rate gezogen.

Von dieser Analyse ausgehend liegt die Annahme zunächst nahe, dass es für den Vergleich der Implementierung von Ausbildungsansätzen über einzelne Unternehmen hinweg eindeutig erkennbare Entwicklungsrichtungen gibt. Diese Hypothese lässt sich jedoch anhand der Fallstudien verwerfen. Wenn überhaupt, dann gibt es bei der Auswahl und Nutzung von Lehrmitteln eine gewisse Vergleichbarkeit. Das ist jedoch eher der Tatsache geschuldet, dass die Auswahl auf dem Markt sehr begrenzt ist.

Tabelle 9: Entscheidungsgrundlage für Digitalisierung in der Ausbildung

| Parameter \ Fälle | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Betriebliche Entwicklungen | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J |
| Personalplanungen | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J | J |
| Ordnungsmittel | J | N | J | J | J | J | N | J | N | J | J | J | J | J | N |
| Ausbildungshilfen | J | N | J | J | J | J | N | J | N | J | J | J | J | J | N |

N = NEIN; J = JA

Quelle: eigene Darstellung

Trotz der mehrheitlichen Berücksichtigung der vier großen Entscheidungsgrundlagen zeigen sich in der konkreten Einzelbetrachtung unterschiedliche Ausbildungs- und Digitalisierungsstrategien und -konzepte, die – soweit vorhanden – nicht vergleichbar sind. Nachstehende Beispiele belegen die hohe Diversität.

6.2.1 Beispiel 1 (Fall 11)

Bei diesem Unternehmen wurde eine Ausbildungsstrategie 2025 entworfen. Nachstehende Schwerpunkte wurden dabei mit Priorität versehen: Digitalisierung, Internationalisierung, Attraktivität, Klimaneutralität. Bei der Digitalisierung geht es um die Bereitstellung einer Lernumgebung, welche die Belegschaft „fit für die Zukunft“ (Ausbildungsleiter) machen soll.

Um zu Erkenntnissen zu kommen, welche Initiativen für die Digitalisierung ergriffen werden sollten, wurden im Unternehmen die Berufsbilder sowie die Ausstattung des Ausbildungszentrums analysiert. Der Bedarf an Berufen wurde genauer untersucht, die Handlungsfelder und deren Bedeutung für das Unternehmen wurden bewertet und die Prinzipien der Wissensvermittlung wurden reflektiert. Entschieden wurde, dass jeder Auszubildende ein „smartes Gerät“, häufig einen Tablet-Computer mit Online-Zugang zur Lernplattform, erhalten soll. Die Lernumgebung ist digital und zentrales Element ist dabei das Microsoft-Produkt OneNote, mit dem der Umgang mit digitalen Notizen im Mittelpunkt steht. Outlook und Skype sind in diesem Unternehmen zu Tools für die Standardkommunikation geworden. Dies war/ist ein großer Vorteil in der Corona-Pandemie, weil alle Azubis diese Ausstattung sofort nutzen konnten. Alle Azubis werden ausgebildet, kleine Video-Tutorials selber zu drehen und haben das hierfür erforderliche Equipment zur Verfügung. Diese Tutorials sind in einer Wissensdatenbank integriert, wo alle Azubis Zugang haben, das heißt auch ältere Tutorials von anderen Jahrgängen sind dort einsehbar.

Lernsoftware steht auf Plattformen zur Verfügung und permanent wird das Lernsoftwareangebot erweitert. Das Werkzeugangebot wird längst über einen Barcode organisiert, der jedem Azubi zur Verfügung steht. Seit einigen Jahren wird zur Heranführung an die Digitalisierung im Unternehmen der 3-D-Druck erfolgreich eingesetzt. Dabei wird praktiziert:

- das Fertigen von Teilen für einen Übungs-Traktor,
- KVP (kontinuierlicher Verbesserungsprozess) wird unterstützt,
- an Aufträgen aus dem Betrieb wird gelernt,
- Werkstofffragen werden geklärt.

6.2.2 Beispiel 2 (Fall 13)

Die Bedeutung der Digitalisierung kommt dadurch zum Ausdruck, dass alle Auszubildende mit Start der Ausbildung ein Tablet ausgehändigt bekommen, über das beispielsweise Erklärvideos, Ausbildungspläne und ein Account im Unternehmensportal zum Aufbau von Kommunikationsstrukturen zur Verfügung gestellt werden. Das Tablet wird auch dafür genutzt, das Berichtsheft als Ausbildungsnachweis in digitaler Form zu verfassen und papierlos zur Prüfung vorzulegen.

Die 2021 gestartete Ausbildung von vier Fachinformatikern in der Fachrichtung „Daten- und Prozessanalyse“ zielt auf ein zentrales Feld der Digitalisierung der Industrie, bei welcher Roboter und selbst lernende Systeme Einzug im Produktionsalltag halten. Der Umbau der Produktionslinien (sogenannter „Channels“) ist ein Beleg für den laufenden Transformationsprozess, in dessen Folge Mitarbeiter notwendig sind, die ein vertieftes Verständnis von digitalisierten Prozessen haben und den Anlagenbetrieb sicherstellen sollen. Das setzt voraus, dass sowohl tiefere Erkenntnisse zur Produktion erworben werden als auch gründliche Fähigkeiten im Umgang mit spezifischen Anforderungen an digitalisierte Anlagen. Dazu erfolgt eine Ausbildung an CAD-Anlagen, in additiven Fertigungsverfahren und in der Robotik. Die Ausbildung in der Robotik erfolgt in einer „CP-Factory“. Neben einer Einführung in die Robotertechnik (Funktion, Definition und Rolle der Achsen, Bediengeräte, SPS-Programmierung, Teach-in-Verfahren) wird vermittelt, wie Roboter in automatisierten Produktionsanlagen zu handhaben sind und welche Aufgaben dabei für Fachkräfte relevant sind. Die Roboter lassen sich mit CNC-Maschinen und einem Hochregallager verbinden mit der Zielsetzung, dass der Roboter die CNC-Maschinen belädt. Die Anlage kann sowohl im „MES Mode“ als auch auf Feldebene mit einer SPS gefahren werden. Der MES Mode (wie auch SPS) müssen beherrscht werden, um die Anlagen zu betreiben. Der Ausbildungsschwerpunkt konzentriert sich deshalb auf das Bedienen von Robotern einschließlich der Grundeinstellungen, das Fahren der gesamten Anlage (Zugriff auf Hochregallager, Nutzen der Fertigungseinheit, Nutzen des Roboters), die Störungssuche an der Anlage und Störungsbeseitigung. Für den realen Ausbildungsfall hat der Ausbilder zahlreiche kleine Projekteinheiten entwickelt, die er in der Ausbildung einsetzt, um den Praxisbezug zu garantieren.

Ein Highlight der Ausbildung ist, dass beispielsweise Mechatroniker im Rahmen der Ausbildung betriebliche Aufträge als Projekte bearbeiten. Das heißt, sie müssen alle Arbeitsschritte für die Herstellung einer Anlage durchlaufen und weil sie am Ende einen Greifer gebaut haben sollen, der softwaretechnisch in die Automatisierungsanlage zu integrieren ist, müssen sie auch die Anwendungsprogrammierung vornehmen. Bei diesem Prozess kommen verschiedene Technologien mit zum Tragen wie beispielsweise ein 3-D-Druck beim Bau des Greifers. Weil die vorhandene Festo-Anlage ein Abbild einer realen Anlage ist, lernen die Auszubildenden den kompletten realen Prozessablauf kennen und auch beherrschen. Sie sind zudem in der Lage, Teile eines Auslegers anzusteuern.

6.2.3 Beispiel 3 (Fall 01)

Das Unternehmen sieht sich – auch für die Digitalisierungsaufgaben der nächsten fünf bis sechs Jahre – mit dem Elektroniker für Betriebstechnik in der Ausbildung gut aufgestellt. Für neu entstehende Arbeitsplätze, wie etwa an der Roboterzelle für das Gewindeformen, wird das Ausbildungsprofil Mechatroniker in der Zukunft als geeignet angesehen. Mechatroniker sollen dort als Maschinenbediener und Instandhalter eingesetzt werden, um Prozesssicherheit auf der Shopfloor-Ebene sicherstellen zu können. Geplant ist dabei, dass die Mechatroniker ein breites Aufgabengebiet abdecken sollen. Nicht nur an der Roboterzelle, sondern überall dort, wo neue Technologien eingeführt werden und diese zu stärker vernetzten und koordinierenden Aufgaben führen – etwa auch beim Einsatz der Laserschneidtechnik.

Als langfristige Anforderung wird vor allem vor dem Hintergrund der Lohnkosten die Notwendigkeit des Arbeitens mit und an digitalisierten Werkzeugen und Prozessen durch Fachkräfte mit einer dualen Berufsausbildung gesehen, weil ein Einsatz studierter Fachkräfte viel zu teuer wäre. Akademiker würden zudem nicht das nötige Maß an handwerklichen Fähigkeiten und Praxiserfahrungen mitbringen. Mit den zeitlich überwiegenden manuellen Tätigkeiten im Fertigungsbereich wären Akademiker unterfordert und würden demotiviert. Die befragten Unternehmensvertreter betonen, dass Fachkräfte ein systemisches Denken benötigen, um die durch Digitalisierung und insbesondere Vernetzung der im ständigen Fluss befindlichen Produktionsbedingungen und -prozesse zu erfassen und im eigenen Arbeitshandeln zu berücksichtigen. Interessant ist, dass im Unternehmen stärker in Richtung arbeitsteiliger Prozesse und Aufgaben gearbeitet und dadurch in Zukunft mehr Prozessverantwortung durch die Fachkräfte auf Shopfloor-Ebene eingefordert wird. Auch quantitativ führt diese Entwicklung zu einer Zunahme an Prozessverantwortung.

Programmierung im Sinne einer Quellcodeproduktion zählt nicht zu den Einsatzgebieten der Fachkräfte. Trotzdem halten es die Gesprächspartner für angebracht, Programmierung in der Ausbildung zu erlernen, um ein Verständnis für logisch aufgebaute und bestimmte Prozesse zu entwickeln und im Bedarfsfall bei einer Inbetriebnahme oder Störung in ein Programm eingreifen zu können. *„Programmieren sollte im Lehrplan stehen“* (Ausbildungsverantwortlicher). Die Bedeutung einer menügeführten Programmierung nimmt zu, die in Richtung einer No-Code- oder zumindest Low-Code-Programmierung weist. Als wichtig wird auch systemisches Denken und Prozesssicherheit bewertet. Beides sollte in einer Ausbildung einen höheren Stellenwert bekommen.

Auch wenn die oben genannte Programmierung im Berufsbild des Elektronikers für Betriebstechnik nicht verankert ist, ist es allein für deren spätere Weiterentwicklung in der beruflichen Tätigkeit von Vorteil, Grundkenntnisse im Programmieren mitzubringen:

- mit Blick auf die Automatisierungstechnik und die zugehörigen Programmierungslogiken (KOP/FUP/AWL/Grafset/GRAPH, Schrittkettenprogrammierung) oder
- die Programmierung einer Sinumeric von Siemens (SPS-Programmierung) oder
- softwarebasierte Programmierumgebungen, wie diese in der Automatisierungstechnik heute üblich sind.

„Auch ein Verständnis für logische Verknüpfungen soll entwickelt werden, weil in vielen Aufgabenfeldern Funktionspläne weit verbreitet sind. Um diese zu lesen und zu programmieren sind Grundkenntnisse in logischen Verknüpfungen von großem Vorteil. Diese Kenntnisse helfen auch, Vernetzungen zu verstehen oder Bussysteme zu durchdringen“ (Ausbildungsverantwortlicher).

6.2.4 Beispiel 4 (Fall 04)

Im Unternehmen ist eine Zunahme der Bedeutung von Digitalisierung für die Ausbildung nicht unmittelbar sichtbar. Es sind eher traditionelle Aufgaben, die vorherrschen, wie beispielsweise CNC-Programmierung an einer Deckel-Dialog 4-Maschine mit Grundig-Steuerung.

Neue Aufgabenstellungen werden im informationstechnischen und elektrotechnischen Bereich gesehen, für die unter anderem ein zusätzlicher Ausbilder gewonnen wurde, der selbst zuvor Mechatroniker gelernt hat. Die im Rahmen von Industrie 4.0 diskutierten Aufgabenstellungen sind in der Ausbildungspraxis bei Industriemechanikern und Zerspanungsmechanikern bislang ohne Relevanz. Digitalisierungsthemen werden unter anderem durch Weiterbildung bearbeitet. Diese ist laut der HR-Managerin im

Unternehmen im Wesentlichen durch informelle Prozesse gesteuert. Mitarbeiter formulieren Weiterbildungsbedarfe in der Regel im Zuge von regelmäßig stattfindenden Mitarbeitergesprächen, denen bislang weitestgehend entsprochen wurde. Angefragte Inhalte sind im Bereich der gewerblich-technischen Ausbildung eher konventionelle Themen wie „Pneumatik“. In der Weiterbildung sind die Themen breit gestreut; sie reichen von Führungskräfte Seminaren über Fremdsprachen bis hin zu technischen Themen wie ePlan in der Konstruktion oder Produktkostensenkung. Firmenintern wird ein „Diginet“ aufgebaut, um ein durchgehendes digitales Dokumentenmanagement zu realisieren. Weiterbildung wird im Corona-Zeitalter auch zunehmend als Online-Schulung durchgeführt und überwiegend in Form von externen Weiterbildungsangeboten umgesetzt.

6.2.5 Beispiel 5 (Fall 05)

Im Unternehmen wird eine stark gestiegene Bedeutung der Digitalisierung für die Ausbildung wahrgenommen. Dabei überwiegt, dass die Digitalisierung den Interessen- und Erfahrungshorizonten der Auszubildenden entsprechen soll und als ein Element zur Unterstützung des lebenslangen Lernens gesehen wird. Derzeit gibt es noch erhebliche Schwierigkeiten bei einer Implementation von Digitalisierungsinhalten in die Ausbildung, die in folgenden Punkten zusammengefasst werden können:

- Ausbilder sind für die Digitalisierungsthemen zu qualifizieren („*Haben wir die Leute in der Ausbildung, die die Digitalisierungsthemen ausbilden können?*“ und „*Ausbilder im Berufsfeld Metalltechnik können nicht die IT-Skills ausbilden*“).
- Die konkreten Inhalte der Digitalisierung sind in den betrieblichen Ausbildungskonzepten zu verankern („*Haben wir die Inhalte für die Digitalisierung in den Ausbildungsabteilungen?*“).
- Digitalisierung als Ausbildungsthema ist kein separater Inhalt, sondern steckt in den Prozessen („*In der Produktion muss mehr in den Prozessen ausgebildet werden; dort sind die digitalisierten Inhalte*“).
- Digitalisierung führt zu einer flexibleren Ausbildungsgestaltung, für die eine andere Methodik und Didaktik erforderlich ist („*Wir brauchen Weiterentwicklungen in der Methodik und Didaktik, sodass lebenslanges Lernen und ein stärker eigenverantwortliches Lernen der Auszubildenden gefördert werden kann*“).
- In der Fertigung gewinnt die Prozessüberwachung einen immer höheren Stellenwert und in der Instandhaltung werden Fachkräfte immer mehr mit Programmierung und Fehlerbehebung bei Werkzeugmaschinen und in digital gesteuerten Instrumenten konfrontiert. Darauf sind junge Fachkräfte bereits in der Ausbildung vorzubereiten, um beispielsweise Herstellerschulungen auf die Produktschulung zu reduzieren.
- Die Fertigungsorganisation von Einzelplätzen wird zugunsten der Prozessorganisation zurückgedrängt; beispielsweise werden Roboter in die Prozesse integriert. Auf diese Prozessorganisation ist in der Ausbildung vorzubereiten. Das geht nach Auffassung des Ausbildungsleiters nur, wenn dies während der gesamten Ausbildung Gegenstand ist.

In einem ersten Schritt werden Auszubildenden Tablets zur Verfügung gestellt, womit sie auf digitalisierte Tabellenbücher, auf digitalisierte Lehrpläne oder andere von Verlagen aufbereitete Unterlagen zugreifen können. Die Ausbildungsabteilung hat auch Kontakte zu Verlagen geknüpft, um zu prüfen, ob Kooperationen in der Nutzung von Lernplattformen möglich sind.

6.2.6 Beispiel 6 (Fall 03)

Für die Ausbildung werden im Unternehmen zwei Lernplattformen genutzt (Moodle, Vocanto). Zudem erhält jeder Auszubildende ein digitales Endgerät, um mit den Plattformen arbeiten und kommunizieren

zu können. Verschiedene Trainingsmaterialien sind verfügbar. Auch ausgewählte Tabellenbücher können digital bearbeitet und genutzt werden. Damit können die Azubis zeit- und ortsunabhängig arbeiten/lernen und finden Materialien, Informationen, Unterweisungen und wichtige Links (unter anderem zu Projektmaterialien) für ihre Ausbildung.

In der Ausbildung arbeiten die Azubis teilweise in einer Lernfabrik („Young Professional Factory“). Schwerpunkte dabei sind: Arbeit an Prüfständen, Montage, Datenerfassung und -analyse, Wartungspläne bei vorausschauender Wartung. Bei einem „Smart Maintenance Training“ arbeiten die Azubis auf einem Prüfstand und führen einen „bedarfsgerechten“ Maintenance-Auftrag durch. Die Daten dafür werden mittels Aktorik/Sensorik erfasst. In der Ausbildung wird besonders viel Wert darauf gelegt, dass die Anlagenzustände mittels Daten wie Drücken, Temperaturen, Kräften etc. erfasst und die notwendigen Arbeiten basierend auf den Daten verrichtet werden. Ergänzend können dafür Dokumentationen aus der Plattform zu Rate gezogen werden. Dabei werden die Daten über QR-Code erfasst und bearbeitet, weil dies auch alltäglicher Gegenstand der Facharbeit im Unternehmen ist.

Als Lerninsel organisiert gibt es eine Smart Factory-Anlage, welche eigenständig von den Auszubildenden konzipiert, konstruiert und aufgebaut wurde. Hier arbeiten Azubis unterschiedlicher Berufe zusammen. Aktuell sind ca. 80 Prozent der Smart Factory fertiggestellt, danach soll diese ständig von den Azubis erweitert werden. Die Auseinandersetzung mit digitaler Technik steht bei der Smart Factory im Mittelpunkt. Inhaltlich simuliert die Smart Factory eine Fertigungslinie, die von den Ausbildungsteams gemanagt wird. Ausgangspunkt ist in der Regel ein Kundenauftrag, der direkt von den Auszubildenden betreut wird. Die Smart Factory wird mit digitalen, vernetzten Technologien betrieben und ist einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess ausgesetzt.

6.2.7 Beispiel 7 (Experte 12)

Im Unternehmen des Experten werden vor allem integrative Maßnahmen ergriffen, um Auszubildende mit „digitalen Arbeitsweisen“ vertraut zu machen. Sie

- erhalten einen Zugang zu Rechnern (Abdeckung zur Zeit ca. 70 Prozent),
- haben Zugriff auf das Firmennetzwerk,
- nutzen Share Points in der Produktion,
- sind mit einer digital umgesetzten Versetzungsplanung vertraut,
- sind mit Arbeitsvorgängen des papierlosen Planens konfrontiert,
- nutzen durchgängig „C“-gestützte Technologien, vor allem im Bereich CNC,
- erhalten einen Robotik-Kurs einschließlich Programmierung.

Durch dieses Ausbildungskonzept werden die Auszubildenden mit der Digitalisierung konfrontiert und dafür integrativ an den Aufgaben ausgerichtet ausgebildet. Sie erhalten keine Schulungen zur Digitalisierung als Thema. Die Konfrontation mit digitalisierten Aufgaben ist nach Aussage des Ausbildungsverantwortlichen in der Ausbildung stärker ausgeprägt als in der Facharbeit selbst. So ist zum Beispiel eine digitale Datenablage, ein digitales Berichtsheft oder eine digitale Übermittlung von Prüfungsdokumentationen im Rahmen des betrieblichen Auftrags an die Kammern eher tägliche Praxis als eine Maschinendatenerfassung in der Produktion. Im Trainingscenter können auch spezielle Kurse belegt werden, die Digitalisierungsinhalte behandeln. Relevant sind etwa

- computergesteuerter Service,
- TIA-Portal,
- Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten,

- Bedienung von digitalen Werkzeugvoreinstellgeräten.

Alle Berufe sind von der zunehmenden Vernetzung in der Produktion betroffen. In Fertigungsinseln werden immer mehr Maschinen zu Produktionseinheiten zusammenfasst und automatisiert. Dadurch steigen die Anforderungen hinsichtlich der Produktionsüberwachung und -steuerung an die Bediener. Auszubildende arbeiten gegen Ende der Ausbildung im Anlagenbetrieb und übernehmen auch Verantwortung. Vor allem geht es dabei darum, dass sie mit vernetzten Anlagen strukturiert Erfahrung sammeln.

Diese „Herangehensweise“ soll verhindern, dass Auszubildende die „**Daten- und Medienanarchie**“, die sie aus der Schule mitbringen, auf betriebliche Gegebenheiten übertragen. Im Betrieb kommt es genau auf das Gegenteil an. Die Auszubildenden müssen bei Nutzung digitalisierter Medien in der Lage sein, Daten strukturiert abzulegen und strukturierte Zugänge zu Digitalisierungsanlagen nutzen. Dokumentationen müssen strukturiert archiviert werden. Und auch digitale Instrumente sind in allen Situationen zielgerichtet und strukturiert zu nutzen.

6.2.8 Abzuleitende Trends

Die ausgewählten Beispiele, die sich in ähnlicher Form bei allen Fallstudien und betrieblichen Experten finden, belegen an erster Stelle, dass die Ausbildungsabteilungen versuchen, sich auf die Anforderungen in den produktiven Feldern des infrage stehenden Unternehmens einzustellen. Vier zentrale Entwicklungstrends lassen sich dabei identifizieren.

Trend 1: Medien und Software

Ausbildungsabteilungen konzentrieren sich vor allem auf das Einüben des Umgangs mit digitalen Medien und den Gebrauch gängiger Anwendersoftware. Dieses soll vor allem dazu dienen, die Auszubildenden an eine systematische Nutzung unterschiedlicher Software heranzuführen. Oft geht dieser Schritt damit einher, dass Auszubildende mit einem iPad oder sonstigen mobilen Endgeräten ausgestattet werden. Diese werden dann auch für die Erstellung des digitalen Berichtshefts, für die Nutzung von Lernvideos und Präsentationen genutzt. Dieser Trend soll vor allem eine Digitalisierung der Lernprozesse zu unterstützen.

Trend 2: Digitalisierte Lernmethoden

Dieser Trend kann umschrieben werden mit dem Versuch, durch modernisierte Lern- und Lehrmethoden die methodischen und sozialen Kompetenzen so weit zu entwickeln, dass die Auszubildenden auf die Bewältigung der realen betrieblichen Anforderungen ausreichend vorbereitet sind.

In der Realität sieht das meist so aus, dass Auszubildende Zugänge zu elektronischen (Lern-) Plattformen haben und mit Hilfe von Endgeräten mit diesen kommunizieren und lernen können. Der selbstständige Gebrauch von digitalen Lernmaterialien, Tabellenbüchern, Informationen und Produkten des Unternehmens mithilfe des QR-Codes und anderes gehört hier mit zum Lernprozess und der Kompetenzentwicklung. Zu einer fortgeschrittenen Anwendung dieses Ansatzes gehört ebenso, dass in aufgabenübergreifenden Teams in Eigenregie an einer Fertigungslinie ein reales Produkt erstellt sowie eigene Präsentationsvideos erstellt werden.

Trend 3: Ansätze einer cyber-physischen Produktion in Laborumgebungen kennenlernen

Dieser Trend lässt sich als Prozess der Annäherung an die Anforderungen von Industrie 4.0 / digitalisierter Produktion verstehen. Auf der einen Seite dominieren die traditionellen C-Techniken

wie CNC-Anlagen, CAD-Anlagen, SPS-Steuerungen, Industrieroboter und Vergleichbares. Auf der anderen Seite wurde erkannt, dass sich die Produktions- und Arbeitsstrukturen verändern und vor allem prozessbezogen über Software-vernetzte Anlagen gesteuert werden. Das hat zur Folge, dass die Ausbildung sukzessive erweitert wird, um den Anforderungen von Industrie 4.0 gerecht zu werden. Ein typischer Schritt ist die Einführung einer Lernfabrik oder von Smart Factory-Anlagen. An diesen Lernträgern erfolgt eine Auseinandersetzung mit der digitalisierten Produktion im Sinne von Industrie 4.0. In den „Best Practice“-Fällen konzipieren und bauen die Auszubildenden eigenständig eine Smart Factory beziehungsweise vernetzte Produktionsumgebungen.

Risiko bei dieser Ausbildungsorientierung ist, dass Ausbildungsabteilungen weniger Rücksicht auf die eigentlichen Anforderungen aus der eigenen Produktion nehmen, weil an den Lernträgern in einem unbelasteten Freiraum experimentiert werden kann. Bislang sind Zugänge für die Ausbildung, insbesondere zu Aufgabenstellungen der System- und Prozessintegration, im Betrieb selbst schwierig bis teilweise unmöglich zu realisieren.

Trend 4: Ausbildung an cyber-physischen Anlagen in der realen Produktion

Ausbildungsabteilungen analysieren genauer die Entwicklungen und Anforderungen im eigenen Betrieb. Wird dabei sichtbar, dass sich Produktionsbedingungen und Produktionsprozesse verändern aufgrund zunehmender Aggregate- oder Maschinenvernetzungen, erhöhter Prozesssicherheit, Einsatz von Robotern, Reorganisation der Arbeitsabläufe und erhöhter Prozessverantwortung der Fachkräfte, dann reagieren die Ausbildungsverantwortlichen darauf. In ehrgeizigen und innovativen Ausbildungsabteilungen und -projekten (beispielsweise Fall 01, 06, 09, 12; Experte 11, 12) gelingt es, das Ausbildungskonzept so zu konfigurieren, dass die betrieblichen Anforderungen, wie spezifische Prozessbeherrschung, anwendungsbezogene Programmkorrekturen oder Programmierung realer Produktionsumgebungen, Analyse und Verwendung von erfassten Maschinendaten und anderes direkt Eingang in die Ausbildung findet. Ausbildungsabteilungen, die sich auf eine Ausbildung konzentrieren, die produktionsnah ist und die in der Produktion vorhandenen digitalen Anlagen nutzen, gehen auch den nächsten Schritt und organisieren möglichst viel Ausbildungszeit in der Produktion. Der Grund für solche Ausbildungsbemühungen ist mit folgender Aussage zusammengefasst: *„Digitalisierung als Ausbildungsthema ist kein separater Inhalt, sondern steckt in den Prozessen der Produktion“* (Ausbildungsleiter, Fall 05).

Zusammenfassend ist auf der Basis der Fallstudien und Expertengesprächen feststellbar, dass sich *die Digitalisierung der Ausbildung in den Betrieben eher in einem verhaltenen Experimentierstadium als in einer progressiven Entwicklungsphase befindet*. Nur eine Minderheit der Ausbildungsabteilungen hält mit dem Digitalisierungsprozess des eigenen Unternehmens Schritt. Die Hemmnisse für eine Digitalisierung der Ausbildung sind im Kommentar des Beispielfalls 05 kompakt zusammengefasst: *„Den Ausbildungsabteilungen fällt es vor allem schwer, sich auf die Herausforderung der Produktion einzulassen und sich von ihrer ‚klassischen Ausbildungswerkstatt‘ zu verabschieden“* (vgl. Ausbildungsleiter, Fall 05). In den Ausbildungsabteilungen dominieren die klassischen Lehrwerkstätten mit oft wenig konkreten Arbeitsprozessbezügen. Ein Grund dafür ist, dass bisher die grundlegende Frage nicht geklärt ist, welche Inhalte heute Gegenstand einer beruflichen Grundbildung sein müssen und können. Das hat zur Folge, dass bei einem Umbau der Produktion wie beispielsweise in den Fällen 08, 10, 13 im Produktionsumfeld selbst erhebliche Aktivitäten entfaltet werden, um Mitarbeiter im Rahmen von Produktionsumstellungen zu qualifizieren. Kritisch ist, dass in diesen Fällen Mitarbeiter nur im „Nachlauf“ qualifiziert werden können, also dann, wenn die Anlagen bereits im Aufbau sind. Innovationen durch gut ausgebildete Fachkräfte bleiben in solchen Fällen aus.

Nicht alle, aber doch ein merklicher Teil der Ausbildungsabteilungen verharnt im Trend 1 und 2, weil sich dieses Ausbildungsdesign verhältnismäßig leicht umsetzen lässt. Weder bei der Ausstattung noch in der Qualifizierung des Ausbildungspersonals sind in diesen Fällen Paradigmenwechsel nötig, mit der Folge, dass sich eine merkliche Kluft zwischen Ausbildungsabteilungen und betrieblichen Anforderungen herausbildet. Zurückzuführen ist dieser Sachverhalt darauf, dass, wie oben festgestellt, bisher nicht geklärt ist, was die Grundlagen und besonders die „digitalen Grundlagen“ einer Ausbildung für die digitale Transformation sein müssen. Der oft in der Ausbildungspraxis gezogene Schluss ist, dass es derzeit in der Ausbildung um die Auseinandersetzung mit digitalen Medien gehen muss und um die Grundlagen im traditionellen Sinne, wie beispielsweise konventionelle und CNC-Zerspanung, Schraubstockarbeit, Pneumatik und Ähnliches. Der Konflikt, der in diesem Falle entsteht, besteht darin, dass immer mehr Ausbildungsinhalte (vor allem aus dem Bereich des „Digitalen“) hinzukommen, die sich letztlich in der Summe nicht bewältigen lassen.

Dieses Problem, das in der Didaktik schon seit Jahrzehnten als *Lehrstoff-Zeit-Problem* bekannt ist, ist mit Blick auf die Entwicklungen in der M+E-Industrie dringend zu klären. Dabei genügt es nicht, nur einzelne Berufe und Inhalte zu betrachten, sondern es ist eine Gesamtbetrachtung der Ordnungsstrukturen und curricularen Strukturen notwendig, und diese sind den aktuellen und zukünftigen Anforderungen gegenüberzustellen.

Tabelle 10: Ausbildungsphilosophien und -schwerpunkte in der M+E-Industrie

| Industrie 3.0 | | Industrie 4.0 | |
|---|--|--|--|
| Technologieorientierung: CAD, CNC, SPS, Robotik ... | Prozessorientierung: Medien, Qualitätsmanagement, TPM, ... | Digitalisierungsorientierung: CPS, MES, additive Fertigung, System- und Prozessintegration, Automatisierung und Produktionsplanung mit Software | Systemische Orientierung: Vernetzte Produktion mit und an mechatronischen Systemen |
| <i>„Computergestützte Anwendungen und Technologien mitdenken“</i> | <i>„Von den Prozessen her denken“</i> | <i>„(Produktion) von der Software her denken“</i> | <i>„Software von der Produktion her denken“</i> |
| Neuordnung 1987 | Neuordnung 2004 | Teilnovellierung 2018 | Ausbildung für die vernetzte Produktion |

Quelle: eigene Darstellung

Nur wenige der untersuchten Fälle haben dieses Dilemma erkannt und insoweit aufgelöst, als sie

- a) eine digitale Roadmap entworfen haben, basierend auf einer Analyse der zu erwartenden Unternehmensentwicklungen (zum Beispiel Experte 05, Fall 11) und / oder
- b) die Ausbildung sehr eng mit der Produktion verzahnt haben und eng mit der IT-Abteilung zusammenarbeiten, die die Ausbildung basierend auf betrieblichen Anforderungen unterstützt (zum Beispiel Fall 06, Fall 12).

Die Entwicklungsschritte a) oder b) sind empfehlenswert für Unternehmen, die für die digitale Transformation gut qualifizierte, innovative Fachkräfte verfügbar haben wollen. Eine Einordnung der notwendigen weiteren Entwicklungsetappe in bisher relevante Meilensteine zeigt Tabelle 10.

Erkennbar ist in den Fallstudien, dass unterschiedliche Entwicklungsschritte zugleich gegangen und verschiedene Entwicklungsebenen erreicht werden; jedoch niemals in einem vollständigen Umfang, sondern immer nur in spezifischen Bereichen und mit einer den Anforderungen in Unternehmen angepassten Exemplarik. Die „Digitalisierungsreife“ in der Ausbildung umfasst das gesamte Spektrum der Herausforderungen der letzten Neuordnungsnovellen, was in der Umsetzung sehr aufwändig ist.

6.3 Zwischenfazit

Die M+E-Industrie gehört zu den stärksten Ausbildungsbranchen in Deutschland. Im Rahmen dieser Studie gaben rund 25 Prozent der befragten Unternehmen an, in der Ausbildung von M+E-Berufen tätig zu sein (vgl. Abschnitt 6.1). Der Beruf des Industriemechanikers/-in steht dabei mit 32,1 Prozent an der Spitze, gefolgt vom Zerspanungsmechaniker/-in (29 Prozent) und Konstruktionsmechaniker/-in (21,5 Prozent). Rund neun von zehn ausbildenden Betrieben (86,7 Prozent) sind in der Ausbildung der hier in Frage stehenden Berufe tätig.

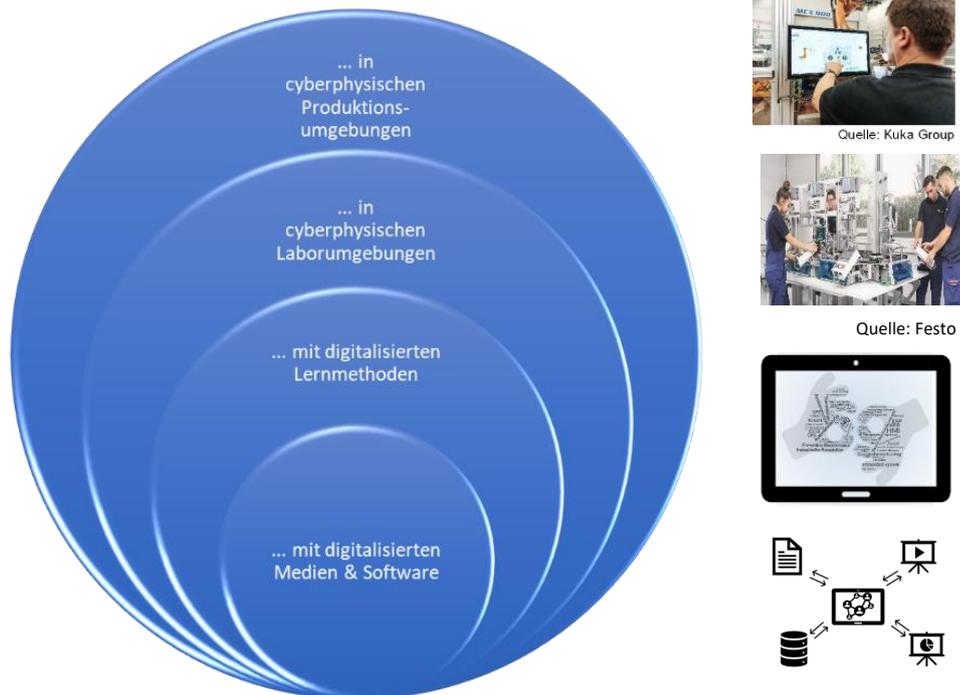
Es haben 42 Prozent der befragten M+E-Ausbildungsbetriebe in der M+E-Branche in den letzten fünf Jahren ihre Ausbildungsinhalte an die Entwicklungen der Digitalisierung angepasst. Insgesamt zeigt sich, dass Unternehmen, die stärker digitalisiert sind, im Vergleich zu weniger digitalisierten Unternehmen häufiger ihre Ausbildungsinhalte an die veränderten Bedarfe angepasst haben.

Vor diesem Hintergrund ist verwunderlich, dass nicht noch mehr M+E-Unternehmen ihre Ausbildungsinhalte bereits weiterentwickelt haben, um die Anforderungen durch die Digitalisierung zu berücksichtigen. Ein Viertel der befragten M+E-Unternehmen plant eine Anpassung der Ausbildungsinhalte an die aktuellen Anforderungen in naher Zukunft.

In den per Fallstudien untersuchten Unternehmen konnte in den meisten Fällen festgestellt werden, dass fortlaufend an Veränderungen der Ausbildungsinhalte und -konzepte gearbeitet wurde, um den Anforderungen durch Industrie 4.0 und Digitalisierung gerecht zu werden. Zusammenfassend betrachtet befinden sich jedoch die Ausbildungsabteilungen noch eher in einem „verhaltenen Experimentierstadium“ und nicht in einer progressiven Entwicklungsphase.

Aus den Fallstudien wird zudem deutlich, dass die Reaktionen auf die fortschreitende Digitalisierung in den einzelnen Betrieben sehr verschieden ausfallen. So definieren die Betriebe einen unterschiedlichen zukünftigen Bedarf und passen ihre Ausbildungsinhalte sowie die -konzepte dementsprechend an. Es wird ebenfalls ersichtlich, dass Konzepte oder Inhalte, die schneller oder mit weniger organisationalen Hürden umsetzbar sind, häufiger gewählt werden (zum Beispiel das Bereitstellen digitaler Lernmaterialien).

Abbildung 26: Lernen für Industrie 4.0 – Ausbildungstrends



Quelle: eigene Darstellung

Die Veränderungen in der Ausbildung lassen sich in vier Trends zusammenfassen (vgl. Abbildung 26):

- Einführung von Medien und Software in die Ausbildung (Einübung in die Nutzung digitaler Medien und Anwendungssoftware).
- Etablieren digitalisierter Lernmethoden (Fördern der methodischen und sozialen Kompetenzen zur Bewältigung betrieblicher Anforderungen).
- Schaffung von cyber-physischen Produktionslaboren (Vorbereitung auf Aufgaben in der digitalisierten Produktion).
- Ausbildung an cyber-physischen Anlagen in der realen Produktion (Lernen in cyber-physischen Anlagen zur Vorbereitung auf die vernetzte Produktion und Prozessbeherrschung).

Eine Hürde für die Anpassung der Ausbildungsinhalte an die Anforderungen durch Digitalisierung und Industrie 4.0 ist die thematische Überfrachtung der Ordnungsmittel. Unter den ausbildenden Betrieben besteht Konsens, dass sich einfach hinzugefügte neue Inhalte nicht mehr in die Ausbildungsabläufe integrieren lassen, weil alle zeitlichen Spielräume längst ausgereizt sind.

Wie die Fallstudien zeigen, gibt es in Einzelfällen innerbetriebliche „Reformansätze“ zur Neuausrichtung der Ausbildung auf Digitalisierung und Industrie 4.0. Einige der Ansätze sind geeignet, die Ausbildung nachhaltig zu verändern. Aus den quantitativen Ergebnissen wird jedoch auch sichtbar, dass lange noch nicht alle Unternehmen den Aktualisierungsbedarf erkannt haben. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich Unternehmen sehr unterschiedlich entwickeln (siehe „Unternehmenstypen“ in Kapitel 5) und die Konfrontation mit Fragestellungen zur Digitalisierung und Industrie 4.0 sich von Unternehmen zu Unternehmen sehr unterscheidet.

7 Umsetzung der Teilnovellierung der M+E-Berufe und Entwicklungsbedarfe

Bereits in der Struktur und Tradition des dualen Ausbildungssystems ist ein fortdauernder technischer und organisatorischer Veränderungsprozess angelegt. Technikneutrale und teilweise gestaltungsoffene Ausbildungsordnungen ermöglichen Auszubildenden, unterschiedliche Unternehmenssituationen zu berücksichtigen und dabei dennoch im Rahmen einer bundeseinheitlichen Regelung zu agieren (Klöß et al., 2020). Diese Anpassungsfähigkeit unterliegt allerdings Grenzen, sodass übergreifende Novellierungen der Ausbildungsordnungen immer wieder notwendig werden.

Die Teilnovellierung der industriellen Metall- und Elektroberufe, die im Rahmen dieses Projekts evaluiert wird, wurde im Zuge des sogenannten „agilen Verfahrens“ entwickelt. Auf Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen, einer Bewertung von Vertretern der Sozialpartner sowie Workshops mit Experten aus Praxis und Wissenschaft, wurde Handlungsbedarf im Bereich der Aus- und Fortbildung festgestellt. Dabei wurden neben diversen Anpassungen der betrieblichen und schulischen Ausbildungsinhalte insbesondere eine neue Berufsbildposition zum Thema „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ geschaffen. Eine weitere Neuerung ist die Möglichkeit, innerhalb der Ausbildung durch separate Kammerprüfungen sogenannte kodifizierte Zusatzqualifikationen (kZQ) zu zertifizieren. Letztere behandeln Themen wie digitale Vernetzung, Prozess- und Systemintegration, IT-Sicherheit, Programmierung oder additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck) (Gesamtmetall et al., 2018).

Diese Teilnovellierung bildet den Kern des Untersuchungsgegenstands dieses Evaluations-Projekts ab, deren qualitative wie quantitative Ergebnisse in den folgenden Abschnitten dargestellt werden.

7.1 Ergebnisse der Unternehmensbefragung zur Bekanntheit und zum Umsetzungsstand der Teilnovellierung

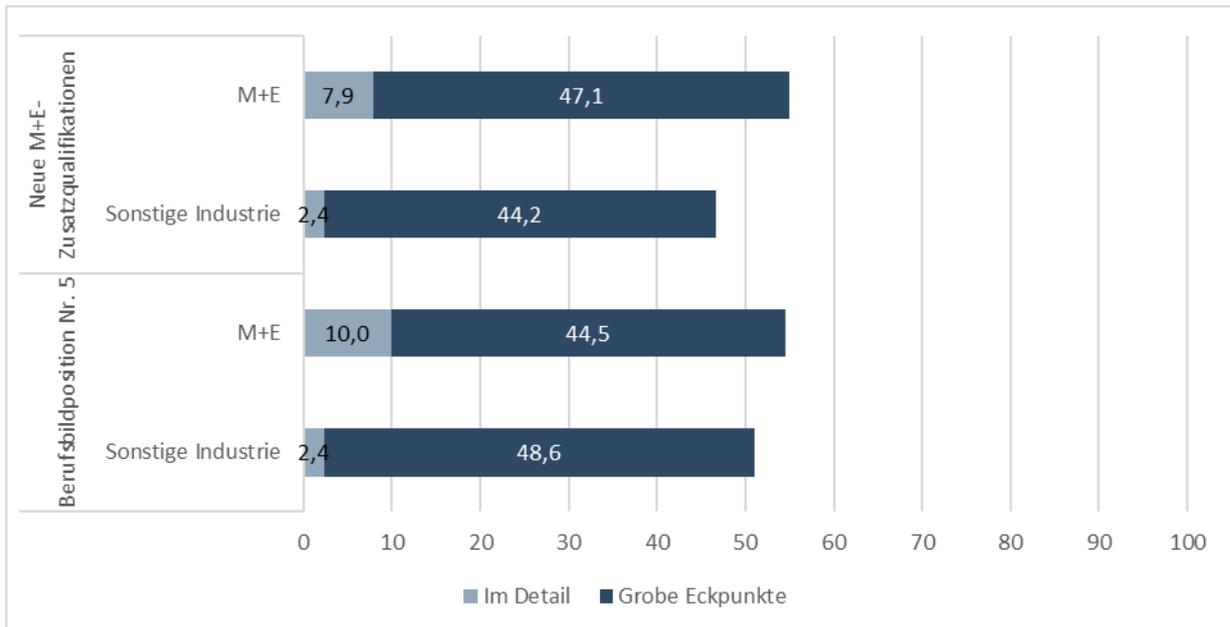
Im Jahr 2018 ist die modernisierte Ausbildungsordnung der Metall- und Elektroberufe in Kraft getreten. Um zu evaluieren, inwiefern diese Teilnovellierungen in der Praxis angekommen sind, wurde in der quantitativen Befragung nach dem Kenntnis- und Umsetzungsstand der Berufsbildposition und dem Angebot an Zusatzqualifikationen gefragt.

Dabei zeigt sich, dass beide Elemente der Teilnovellierung den Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie häufiger bekannt sind als den Unternehmen aus der sonstigen Industriebranche (Abbildung 27). Insgesamt ist der Hälfte (54,5 Prozent) der M+E-Unternehmen die Berufsbildposition Nr. 5 bekannt. Aber nur jedes zehnte M+E-Unternehmen verfügt über detailliertes Wissen über die Berufsbildposition Nr. 5. Zwar kennt auch die Hälfte der Unternehmen aus der sonstigen Industriebranche die Berufsbildposition zumindest grob (51 Prozent), allerdings liegt der Anteil der Unternehmen, die detailliertes Expertenwissen zur Berufsbildposition haben, mit 2,4 Prozent deutlich unter dem Durchschnitt in der M+E-Branche.

Ein ähnliches Bild ergibt sich in Bezug auf die Bekanntheit der neuen M+E-Zusatzqualifikationen: Mehr als die Hälfte der Unternehmen aus der Metall- und Elektrobranche kennen die Zusatzqualifikationen zumindest grob (55 Prozent) und von diesen knapp acht Prozent auch im Detail. Viele Unternehmen aus der Branchenkategorie sonstige Industrie haben zumindest schon einmal von den neuen Zusatzqualifikationen gehört, im Detail kennen aber nur 2,4 Prozent der Unternehmen die neuen M+E-Zusatzqualifikationen.

Abbildung 27: Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnungen

Anteil an Unternehmen in der Industrie, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden
(in Prozent)



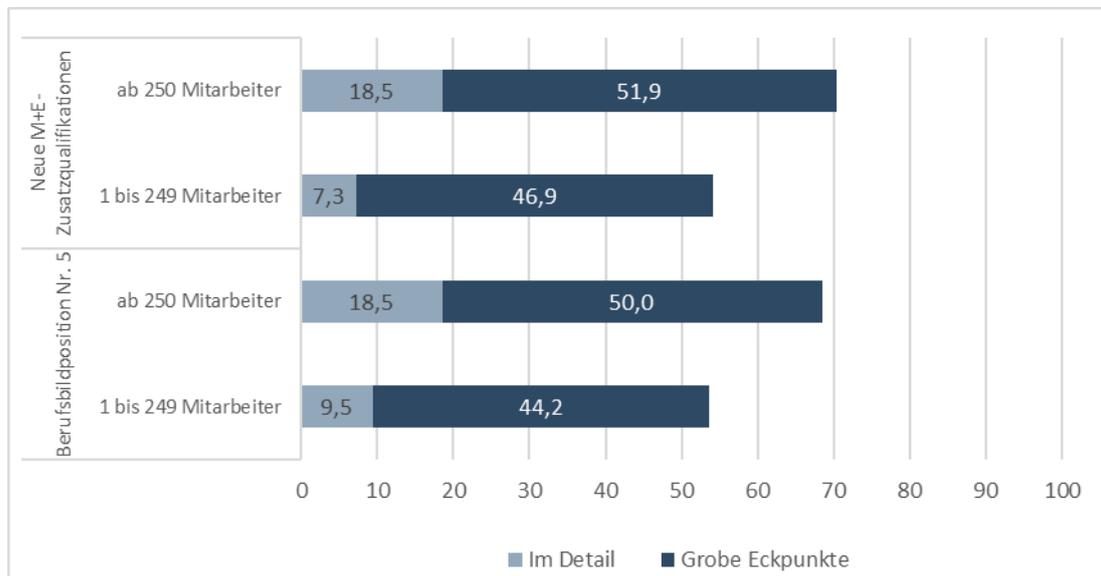
Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 234-235; Rest zu 100: Modernisierung nicht bekannt

Zwar sind unter den Unternehmen der M+E-Branche die neuen, kodifizierten Zusatzqualifikationen häufiger detailliert bekannt als in der restlichen Industrie, dennoch ist detailliertes Wissen noch selten in den Unternehmen zu finden. Vor dem Hintergrund der besonders hohen Ausbildungsbeteiligung bei einem höheren Digitalisierungsgrad der M+E-Unternehmen ist es eher überraschend, dass nur 10 Prozent über die neue Berufsbildposition Nr. 5 und 7,9 Prozent über die Zusatzqualifikation detailliert informiert sind. Die vorliegende Datenlage zum Informationsgrad über die kZQ spiegelt die Erkenntnisse aus den Fallstudien gut wider. Darüber hinaus wird in den Fallstudien ein Paradoxon deutlich, welches darin besteht, dass vor allem große Unternehmen häufig unabhängig von den Ausbildungsordnungen inhaltliche Ergänzungen oder Erweiterungen in der Ausbildung vornehmen und eine Abstimmung mit den Ordnungsmitteln oft erst als zweiter Schritt erfolgt.

Betrachtet man die Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnung nach Unternehmensgröße, dann zeigt sich, dass mehr als die Hälfte der kleinen und mittleren Unternehmen (bis 249 Mitarbeitende) die Modernisierungen zumindest in groben Eckpunkten kennen. Nur wenige kleine bis mittelgroße Unternehmen kennen die Berufsbildposition Nr. 5 (9,5 Prozent) oder die kodifizierten Zusatzqualifikationen (7,3 Prozent) detailliert (vgl. Abbildung 28). Diese Einschätzungen werden in den Fallstudien bestätigt und es lässt sich in vielen kleinen bis mittelgroßen Fallstudienunternehmen feststellen, dass die in den Ordnungsmitteln festgeschriebenen Modernisierungen nur einen geringen Niederschlag im Ausbildungsgeschehen finden. Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung zeigen, dass große Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitenden die beiden Aspekte der modernisierten Ausbildungsordnung häufiger in groben Zügen (jeweils ca. 50 Prozent) und auch im Detail (jeweils 18,5 Prozent) kennen. Die Größenunterschiede zwischen den Unternehmen zeigen sich bei der Auseinandersetzung mit der Modernisierung weniger stark als in der Einführung neuer Ausbildungsinhalte: In diesem Aspekt liegen die größeren Unternehmen deutlich vor den kleinen bis mittleren Unternehmen (vgl. Abbildung 28).

Abbildung 28: Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnungen in der M+E-Branche nach Unternehmensgröße

Anteil der Unternehmen aus der M+E-Branche (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 277-278

Die Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnung variiert auch nach Digitalisierungsgrad der Unternehmen. So zeigt sich, dass Unternehmen, die drei und mehr digitale Technologien einsetzen, die modernisierte Ausbildungsordnung sowohl in groben Eckpunkten (52,9 Prozent die Berufsbildposition Nr. 5 und 49,7 Prozent die neuen Zusatzqualifikationen) häufiger kennen und zu größerem Anteil detailliert über sie informiert sind (6,8 Prozent die Berufsbildposition Nr. 5 und 5,1 Prozent die neuen Zusatzqualifikationen).

Im Gegensatz dazu kennen deutlich weniger Unternehmen, die bis zu zwei digitale Technologien nutzen, die Berufsbildposition Nr. 5 in groben Zügen (39,8 Prozent) oder detailliert (4,7 Prozent). Auch die Zusatzqualifikationen sind den Unternehmen weniger bekannt, die einen geringen Digitalisierungsgrad aufweisen: Nur 40,9 Prozent dieser Unternehmen sind ansatzweise mit diesen vertraut oder besitzen gar ein detailliertes Wissen über die Zusatzqualifikationen (4,7 Prozent).

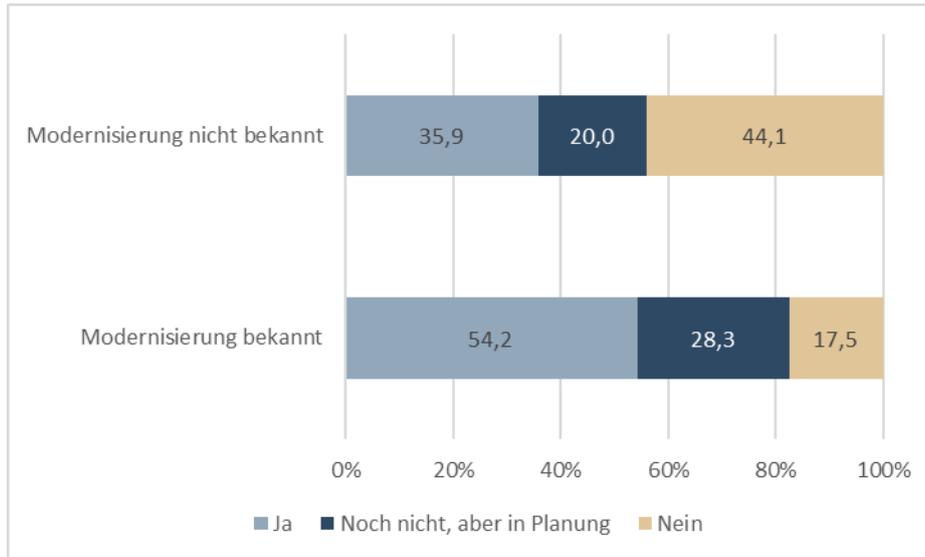
Die Ergebnisse der quantitativen Befragung zeigen, dass die kZQ in knapp der Hälfte der Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden, bekannt sind. Jedoch fehlt es auch den ausbildenden Unternehmen oft an genaueren Einblicken. Aus den Fallstudien heraus lässt sich feststellen, dass die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit den modernisierten Ausbildungsinhalten durchaus mit der Größe der Unternehmen einerseits und auch mit den Digitalisierungsentwicklungen im Betrieb positiv korrelieren. Allerdings zeigen die Einzelfallbetrachtungen (vgl. Abschnitt 6.2), dass es eine gewisse Unabhängigkeit bei der Veränderung der Ausbildungspraxis von der Teilnovellierung der M+E-Berufe gibt. Es schlagen sich vielmehr die durch die Digitalisierung entstehenden betrieblichen Bedarfe unmittelbarer auf eine veränderte Ausbildungspraxis nieder.

Aus Abbildung 29 wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte (54,2 Prozent) der Unternehmen, die mit der Modernisierung grob oder im Detail vertraut sind, auch neue Ausbildungsinhalte eingeführt haben. Dabei wird vorerst nicht zwischen Unternehmen differenziert, die neue Inhalte der Berufsbildposition,

Zusatzqualifikationen oder andere Inhalte implementieren. Weitere drei von zehn Unternehmen, welche die neue Berufsbildposition kennen (28,3 Prozent), planen die Einführung neuer Ausbildungsinhalte. Zum Vergleich: Unternehmen, denen die Modernisierung noch nicht bekannt ist, haben weit seltener neue Ausbildungsinhalte eingeführt (35,9 Prozent), beziehungsweise planen, dies zu tun (20,0 Prozent).

Abbildung 29: Anpassung der Ausbildungsinhalte in den letzten fünf Jahren nach Bekanntheit der Modernisierung

Anteil der Unternehmen aus der Industriebranche (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 234

Ausbildungsangebot an Zusatzqualifikationen

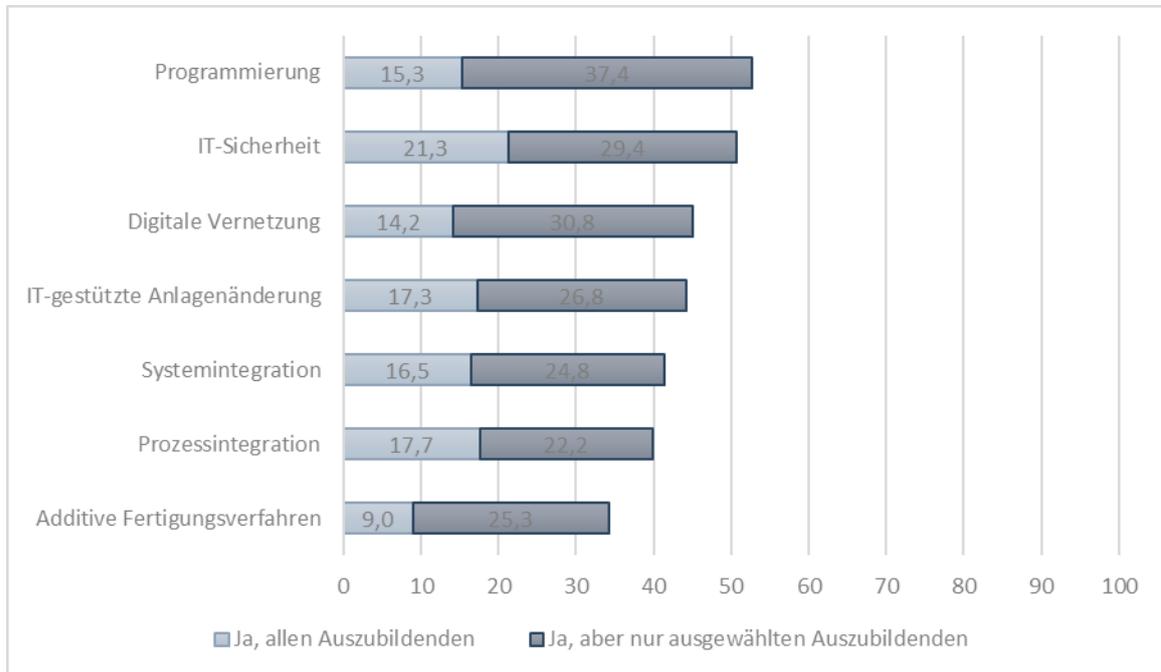
Im Folgenden soll gezielt das Angebot der kodifizierten Zusatzqualifikationen in M+E-Berufen beleuchtet werden. Da nur wenige Unternehmen diese anbieten, kann eine detaillierte Berichterstattung auf Ebene der M+E-Unternehmen nicht erfolgen. Es werden stattdessen alle Unternehmen der Industrie¹⁹ ausgewiesen.

Insgesamt wird unter den Industrieunternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden, in vier von zehn Fällen (39,1 Prozent) mindestens eine Zusatzqualifikation angeboten. Dabei liegen Industrieunternehmen, welche die modernisierte Ausbildungsordnung kennen, deutlich vorne: Von ihnen bieten ungefähr drei Viertel (73,1 Prozent) mindestens eine der abgefragten Zusatzqualifikationen an. Unklar bleibt zunächst, ob dieses Angebot dann auch konkret in der Ausbildung umgesetzt wird. Die quantitativ äußerst geringe Inanspruchnahme der Möglichkeit der Prüfung in den kodifizierten Zusatzqualifikationen (vgl. Kapitel 4) deutet darauf hin, dass es in der M+E-Industrie mindestens ein Umsetzungsproblem gibt. Die Fallstudien geben darüber hinaus vertiefte Einblicke in Begründungszusammenhänge (siehe Abschnitt 7.2).

¹⁹ bestehend aus den Wirtschaftsbereichen Chemie, Pharma, Gummi und Kunststoff; Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Herstellung von Metallerzeugnissen; Maschinenbau, Elektroindustrie, Fahrzeugbau; andere Branche des Verarbeitenden Gewerbes; Energie-, Wasserversorgung, Entsorgung; Bauwirtschaft

Abbildung 30: Angebot an neuen M+E-Zusatzqualifikationen in der Ausbildung der M+E-Berufe

Anteil an Unternehmen in der Industrie, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden und zumindest grobe Eckpunkte der modernisierten M+E-Ausbildungsordnung kennen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 137-140

Um zu evaluieren, welche der kodifizierten Zusatzqualifikationen für die Ausbildung in M+E-Berufen am häufigsten als relevant eingeschätzt werden, wurde im Rahmen der Unternehmensbefragung nach dem Angebot zu neuen Zusatzqualifikationen gefragt. Weiterhin wurde erhoben, ob dieses Angebot grundlegend allen oder nur ausgewählten Auszubildenden zur Verfügung steht (vgl. Abbildung 30).

Unter den I-4.0-Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und über kodifizierte Zusatzqualifikationen informiert sind, werden die Zusatzqualifikationen mehrheitlich nur ausgewählten Auszubildenden angeboten. Bei der Interpretation der folgenden Ergebnisse ist dabei zu beachten, dass sich die Anteile nur auf die wenigen Unternehmen beziehen, die in M+E-Berufen ausbilden und gleichzeitig über grobes oder detailliertes Wissen zu den Zusatzqualifikationen verfügen. Dabei zeigt sich, dass dort insgesamt die Angebote „Programmierung“ und „IT-Sicherheit“ am häufigsten angeboten werden: Gut die Hälfte der Unternehmen mit diesen Eigenschaften bietet allen und/oder ausgewählten Auszubildenden die Zusatzqualifikationen „Programmierung“ (52,7 Prozent) oder „IT-Sicherheit“ (50,7 Prozent) an. Auf dem letzten Platz liegt das Angebot für die Zusatzqualifikation „additive Fertigungsverfahren“, die nur bei gut einem Drittel (34,3 Prozent) der Unternehmen zur Verfügung steht (vgl. Abbildung 30). Die Zusatzqualifikationen werden häufig nur ausgewählten Auszubildenden angeboten. Auch hier bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen Zusatzqualifikationen. Während additive Fertigungsverfahren nur in etwa jedem zehnten Unternehmen allen Auszubildenden offenstehen (9,0 Prozent), wird die Zusatzqualifikation IT-Sicherheit von mehr als jedem fünften Unternehmen (21,3 Prozent) allen Auszubildenden angeboten.

In den Fallstudienunternehmen dieser Studie stand die Zusatzqualifikation additive Fertigungsverfahren an erster und mit etwas Abstand die Programmierung an zweiter Stelle. Zu diesem Ergebnis kommen auch Kaufmann et al. (2021) in der Untersuchung des BIBB. Zudem spiegelt sich dieses Erkenntnis auch in

den Statistiken der Industrie- und Handelskammern zur Nutzung der Zusatzqualifikationen wider (vgl. Tabelle 5). Die Diskrepanzen zu obigem Befragungsergebnis sind mutmaßlich durch die dort abgebildete Planungsperspektive der Personalabteilungen im Gegensatz zur tatsächlich beobachteten Umsetzung in den Fallstudien zu erklären. Zudem ist hier zwischen der Nutzung von Zusatzqualifikationen einerseits und der Verwendung der kZQ einschließlich Prüfung andererseits zu unterscheiden; dieser Unterschied mag den Befragten beim Beantworten der Frage nicht immer deutlich gewesen sein.

Bei Betrachtung ergänzender Informationen zur Anzahl der abgelegten Prüfungen in den neuen kodifizierten Zusatzqualifikationen zeigt sich, dass nur wenige Auszubildende in diesen geprüft werden (vgl. Schwarz, 2019; Schwarz, 2020, Abschnitt 4.3.4). Darüber hinaus zeigt sich auch, dass die Zahl der abgelegten Prüfungen in der Zusatzqualifikation additive Fertigungsverfahren am höchsten ist, gefolgt von der Programmierung. Die absoluten Zahlen bei den Prüfungen liegen jedoch in einem solch niedrigen Bereich, dass nicht von einer nennenswerten Bedeutung dieser Prüfungen gesprochen werden kann.

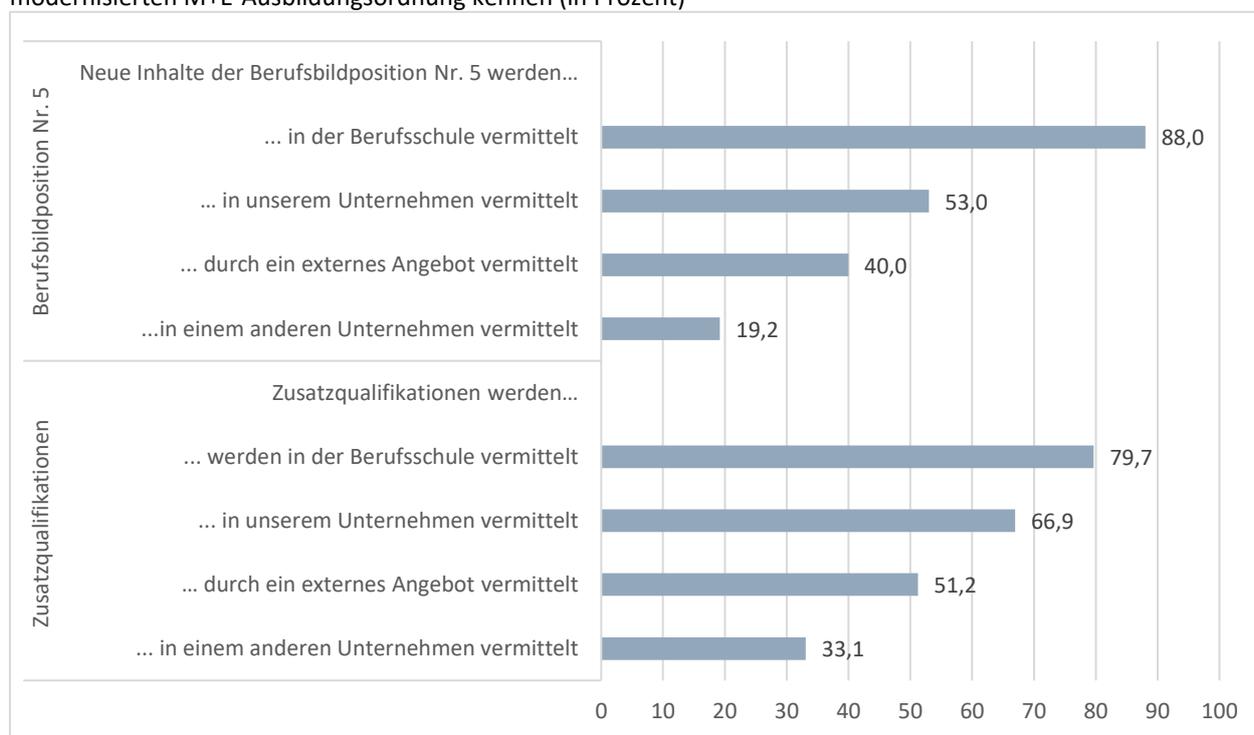
Die meisten Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und die Teilnovellierungen kennen, geben an, dass sowohl die Inhalte der Zusatzqualifikationen (79,7 Prozent) als auch der Berufsbildposition Nr. 5 (88,0 Prozent) in der Berufsschule vermittelt werden. Erst an zweiter Stelle nennen sie die Vermittlung im eigenen Unternehmen. Mehr als die Hälfte der Unternehmen gibt an, seinen Auszubildenden die neuen Inhalte der Berufsbildposition Nr. 5 (53,0 Prozent) und der Zusatzqualifikationen (66,9 Prozent) selbst zu vermitteln.

Abbildung 31 gibt Aufschluss darüber, ob die neuen Ausbildungsinhalte von Seiten der Berufsschulen, der Unternehmen oder gegebenenfalls durch externe Bildungsdienstleister oder Unternehmen vermittelt werden. Dabei wird deutlich, dass den Berufsschulen aus Sicht der Unternehmen eine tragende Rolle bei der Vermittlung der neuen Ausbildungsinhalte zukommt. Hervorzuheben ist allerdings, dass *„der duale Partner Berufsschule keinerlei Verantwortung in der Ausbildung von kZQ hat“* (Experte 01). Deshalb wird von Seiten der Berufsschulvertreter gefordert, die Ausbildung in den kZQ zu reorganisieren und mit zum Gegenstand des schulischen Lehrplans zu machen, damit die Berufsschulen eine Chance haben, die Auszubildenden bei den kZQ zu unterstützen.

Die meisten Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und die Teilnovellierungen kennen, geben an, dass sowohl die Inhalte der Zusatzqualifikationen (79,7 Prozent) als auch der Berufsbildposition Nr. 5 (88,0 Prozent) in der Berufsschule vermittelt werden. Erst an zweiter Stelle nennen sie die Vermittlung im eigenen Unternehmen. Mehr als die Hälfte der Unternehmen gibt an, seinen Auszubildenden die neuen Inhalte der Berufsbildposition Nr. 5 (53,0 Prozent) und der Zusatzqualifikationen (66,9 Prozent) selbst zu vermitteln.

Abbildung 31: Vermittlung von Digitalisierungsinhalten

Anteil an Unternehmen in der Industrie, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden und zumindest grobe Eckpunkte der modernisierten M+E-Ausbildungsordnung kennen (in Prozent)



Hinweis: Externes Angebot z. B. eines Bildungsdienstleisters, eines Verbands, einer Kammer

Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 93-130

Damit kommt den Berufsschulen – aus Sicht der Unternehmen – die Hauptverantwortung bei der Vermittlung der neuen Ausbildungsinhalte zu. Vor dem Hintergrund, dass die Berufsschulen keinen formalen Auftrag für die Vermittlung der Zusatzqualifikationen haben und der Tatsache, dass Unternehmen die Digitalisierung der Berufsschulen in anderen Befragungen teilweise sehr kritisch bewerten (Flake et al., 2019), erscheint es überraschend, dass die Unternehmen nicht selbst die Ausbildung der neuen Inhalte hauptverantwortlich vorantreiben.

Bewertung und Unterstützungsbedarfe der modernisierten Ausbildungsordnung

Um zu überprüfen, ob die Teilnovellierung in der Ausbildung der M+E-Berufe von den M+E-Unternehmen als hilfreich wahrgenommen wird und welche weiteren Bedarfe die Unternehmen identifizieren, haben die befragten Unternehmen einige Aussagen zur modifizierten Ausbildungsordnung bewertet (Abbildung 32). Die Mehrheit der M+E-Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden und zumindest grobe Eckpunkte der Modernisierung kennen, bewertet die Modernisierung der M+E-Berufe als sinnvoll, da sie ihnen hilft, ihre Auszubildenden mit digitalen Kompetenzen auszustatten. Dabei werden die kodifizierte Zusatzqualifikation etwas häufiger als hilfreich bezeichnet (55,5 Prozent) als die Berufsbildposition Nr. 5 (53,8 Prozent).

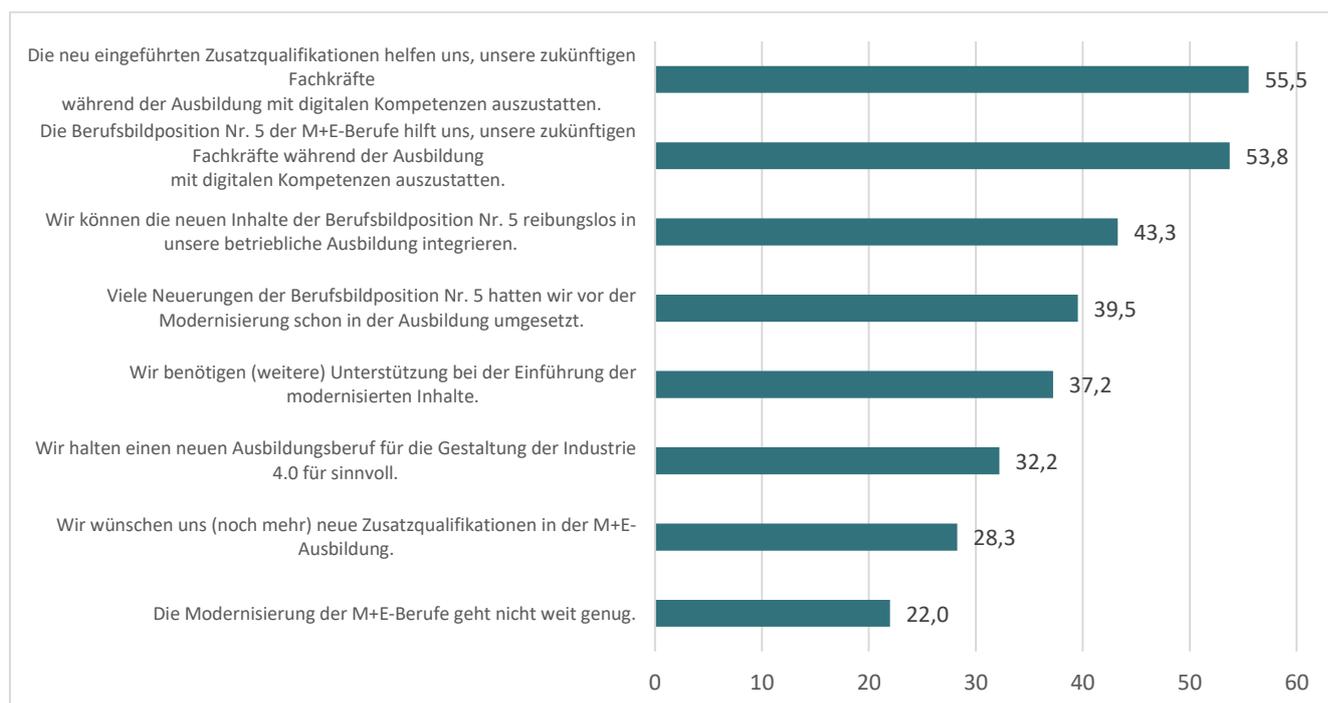
Vier von zehn M+E-Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und die Teilnovellierung der Ausbildungsinhalte kennen (43,3 Prozent) sind der Meinung, dass die Inhalte der Berufsbildposition Nr. 5 reibungslos in die betriebliche Ausbildung integriert werden können. Somit scheint es beim Großteil der M+E-Unternehmen Hemmnisse bei der Integration zu geben. Unterstützungsmaßnahmen könnten hierbei helfen: 37,2 Prozent der Unternehmen wünschen sich (weitere) Unterstützung bei der Einführung

der modernisierten Inhalte. Hierbei handelt es sich nur um Unternehmen, welche die Modernisierung mindestens in ihren groben Eckpunkten kennen. Zusammen mit den Unternehmen, die noch nicht mit der Modernisierung vertraut sind, wird der Kreis derjenigen, die von Unterstützung profitieren können, noch einmal größer. Allerdings zeigen die Daten auch, dass lediglich circa 20 bis 40 Prozent der M+E-Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden und zumindest grobe Eckpunkte der Modernisierung kennen, existierende Angebote zur Unterstützung bei der Umsetzung der modernisierten Ausbildungsordnung (wie schriftliche Umsetzungshilfen, Informationsveranstaltungen oder Beratungsangebote) angenommen haben. In den Abschnitten 7.3 und 7.4 werden Hinweise zu Hemmnissen, Unterstützungsbedarfen und Einschätzungen der Unternehmen gegeben.

Knapp 40 Prozent der M+E-Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und die Novellierung der Ausbildungsinhalte kennen, hatten bereits vor der Modernisierung der Ausbildungsordnung viele Neuerungen umgesetzt. Den Aussagen, die Modernisierung gehe nicht weit genug (22,0 Prozent), ein neuer Ausbildungsberuf sei sinnvoll (32,2 Prozent) oder es brauche noch mehr Zusatzqualifikationen (28,3 Prozent) stimmten am wenigsten Unternehmen zu (vgl. Abbildung 32).

Abbildung 32: Aussagen zur Modernisierung der M+E-Berufe

Anteil an M+E-Unternehmen, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden und zumindest grobe Eckpunkte der modernisierten M+E-Ausbildungsordnung kennen (in Prozent)

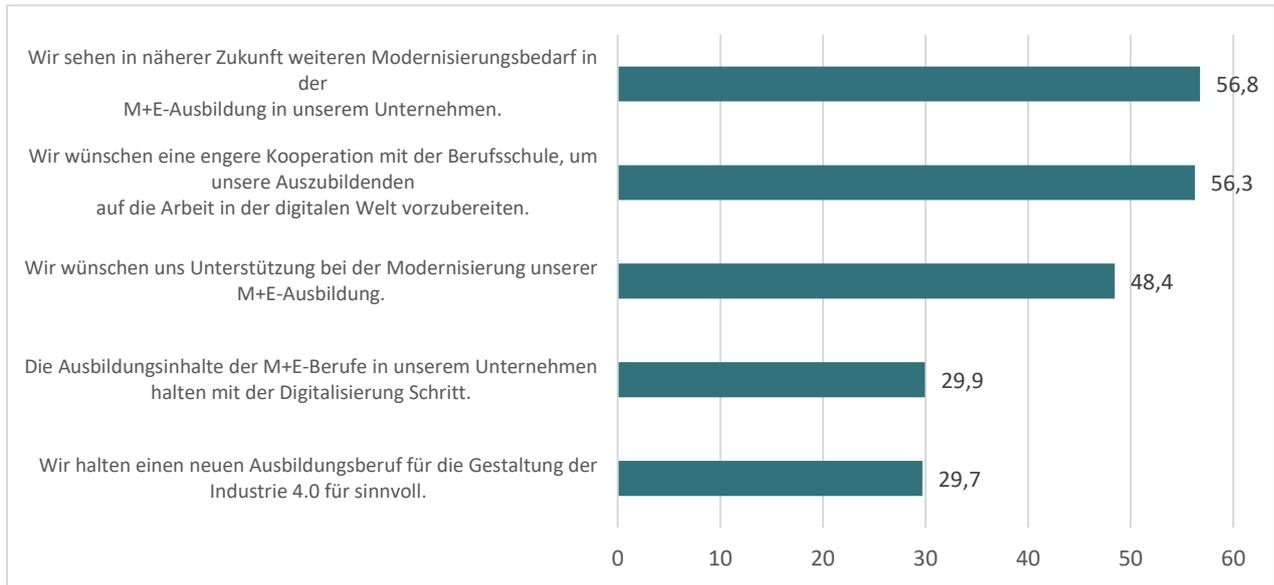


Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 82-83

Über die Bewertung der neuen Ausbildungsinhalte hinaus wurden auch Unternehmen befragt, die die modernisierte Ausbildungsordnung noch nicht kennen. Fast zwei Drittel aller M+E-Unternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden, mit der Modernisierung allerdings noch nicht vertraut sind, sehen in näherer Zukunft weiteren Modernisierungsbedarf der Ausbildung im Unternehmen (56,8 Prozent) und wünschen eine engere Kooperation mit der Berufsschule (56,3 Prozent, vgl. Abbildung 33).

Abbildung 33: Aussagen zur Aktualität der Ausbildung in M+E-Berufen

Anteil an M+E-Unternehmen, die aktuell in M+E-Berufen ausbilden und die modernisierte M+E-Ausbildungsordnung nicht kennen (in Prozent)



Quelle: IW-Personalpanel 2020; N = 51

Mehr als die Hälfte dieser Unternehmen sehen in näherer Zukunft weiteren Modernisierungsbedarf (57,1 Prozent). Dieser Anteil ist weitaus höher als unter den Unternehmen, die die Modernisierung kennen (28,9 Prozent). Der Anteil der Unternehmen, die Bedarf an einem neuen Ausbildungsberuf sehen, ist hingegen vergleichbar (34,6 Prozent vs. 35,9 Prozent).

7.2 Betriebliche Erfahrungen mit der Umsetzung der Berufsbildposition

Umsetzungen zur Berufsbildposition Nr. 5 zur Digitalisierung waren in den qualitativen Erhebungen kaum sichtbar und erkennbar. Folgende Auszüge aus den Fallstudien belegen die Wahrnehmung:

- Die Schulen haben Schwierigkeiten in der Umsetzung der Berufsbildposition Nr. 5. Schulvertreter schätzen den Stellenwert dieser Position Nr. 5 oft falsch ein oder schaffen es aufgrund der Lehrplanfülle nicht, sich mit dieser Position tiefergehender auseinanderzusetzen. Festgestellt wird auch, dass nicht allen Berufsschulen bekannt ist, dass diese Position vermittelt werden soll. Für deren „integrierte“ Vermittlung fehlen oft die didaktischen Konzepte. Vorschlag eines Ausbildungsleiters: „*Eigenes Lernfeld zu Industrie 4.0 anbieten. Bisher wird dieses Thema vorwiegend nur vom Unternehmen bearbeitet*“ (Fall 03).
- Die Veränderungen in der Berufsbildposition werden positiv eingeschätzt, um gerade die Betriebe, die nicht so viel bezüglich Digitalisierung tun, zu lenken (Fall 12).
- Eine Veränderung in der Berufsbildposition war den Verantwortlichen in der Ausbildung nicht bekannt (Fall 15).

In den Gesprächen bei den Befragungen wurden die Veränderungen mit der Teilnovellierung oft nur mit den Zusatzqualifikationen und nicht mit der Berufsbildposition verknüpft. Im Expertenworkshop I wurde hier ein entscheidender Grund dafür genannt:

Mit der Berufsbildposition Nr. 5 „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ ist eine ausreichende Berücksichtigung der Digitalisierung gegeben, jedoch gilt: „*Auf die Umsetzung kommt es an*“ (Expertenworkshop I). Oftmals werden, wenn die Berufsbildpositionen überhaupt bekannt sind, diese nicht integrativ umgesetzt. Damit fehlt eine Verknüpfung mit den direkten beruflichen Aufgaben aus der Arbeitswelt.

7.3 Ursachen der Nicht-Nutzung der neu entwickelten Zusatzqualifikationen

Im Folgenden werden Begründungszusammenhänge aus Fallstudien und Expertengesprächen aufgezeigt, die anhand von Einzelfalldarstellungen die Nutzung beziehungsweise Nicht-Nutzung der Zusatzqualifikationen erklären. In den meisten Fällen sind sehr spezifische und unternehmensabhängige Ursachen und Zusammenhänge relevant, die keineswegs eine Geringschätzung des Einflusses der Digitalisierung auf die Berufsausbildung bedeuten. Vielmehr deuten die Aussagen eher darauf hin, dass die Digitalisierung sehr viele – wenn nicht alle – Aufgaben verändert und eben diese „neu“ hinsichtlich Ausbildung und Qualifizierung zu durchdenken sind:

„Eine (extra) Ausbildung in den Zusatzqualifikationen wird nicht für erforderlich angesehen, weil die Digitalisierung als Querschnittstechnologie die Aufgaben im Werk beeinflusst. Es wird eher die Notwendigkeit gesehen, mit Digitalisierung zusammenhängende Anforderungen in der Ausbildung der etablierten Berufsbilder durchgehend zu verankern“ (Fall 01).

Zusatzqualifikationen sind beispielsweise auch in einem sehr innovativ aufgestellten Unternehmen (Metallbauer mit 80 Mitarbeitern in Norddeutschland) nicht bekannt und werden auch nicht als notwendig eingeschätzt (Experte 10), obwohl das im Handwerk und in der Industrie verankerte Unternehmen als Dienstleister gerade für Digitalisierungstechnologien auch großer Industrieunternehmen tätig ist.

Im Unternehmen des Falls 02 werden hochintelligente Holzbearbeitungsmaschinen hergestellt. Dort wurden die 2018 um „Digitalisierung“ ergänzten Ausbildungsordnungen und die Einführung der KZQ zur Kenntnis genommen. Bisher erfolgte jedoch deswegen keine markante Modifikation der Ausbildungsstrukturen. Die „Ausbildungsschwerpunkte“ wachsen einfach mit der Veränderung der Produktion mit. Spielt Industrie 4.0 eine größere Rolle in der Produktion, dann wird auch die Ausbildung entsprechend angepasst. Die Zusatzqualifikationen wurden bisher nicht eingeführt. Wesentliche Dinge, wie Programmierung von Maschinen (beispielsweise CNC-Programmierung), werden im Beruf Industriemechaniker als Standard erlernt. Ob zukünftig die Zusatzqualifikationen als Gegenstand der Ausbildung angeboten werden, ist fraglich (Fall 02).

Im stark fertigungsintensiv aufgestellten Unternehmen des Falls 05 werden die Themenstellungen der neu geschaffenen Zusatzqualifikationen als sinnvoll angesehen, jedoch die Verankerung als Option in den Ausbildungsordnungen bemängelt. *„Die Zusatzqualifikationen zur Wahl zu stellen, ist der falsche Weg“* (Ausbildungsverantwortliche). Eine feste Verankerung im Berufsbild würde laut der Verantwortlichen die Verbindlichkeit für die Akteure der Kammern, Prüfungsausschüsse, Ausbilder und Führungskräfte der Unternehmen steigern (Fall 05).

An den ZQ beteiligt sich auch das Unternehmen des Falls 13 bisher nicht. Grund dafür ist, dass die meisten in den Zusatzqualifikationen genannten Inhalte bereits in die Ausbildung integriert sind. Das gilt ganz besonders für die additive Fertigung, für anwendungsbezogene Programmierungen, für die Prozesstechnik, für Robotik und Vernetzung. Deshalb besteht keine Motivation, eigenständige „Bausteine“ für KZQ

einzuführen. *„Wenn im Unternehmen ein Inhalt relevant ist, dann wird er zum integrierten Bestandteil der Ausbildung“* (Ausbildungsleiter).

Ein anderer wichtiger Punkt ist, *„dass die zwölf Ausbilder im Unternehmen im Jahr in der Summe 1,2 Mannjahre als Prüfer abwesend sind‘. Noch mehr Abwesenheit für Prüfungsangelegenheiten ist nicht akzeptabel. Die kZQ-Prüfung ist zudem eine Prüfung, die nicht zur Facharbeiterprüfung zählt und deshalb eigens organisiert werden muss. Allein diese Situation rechtfertigt den Aufwand nicht“* (Fall 13).

In einem großen Werkzeugmaschinenunternehmen, in dem Digitalisierungsanwendungen eine bedeutende Rolle haben, wurden ZQ bisher in der Ausbildung nicht genutzt. Das Unternehmen folgt den Ausbildungsrahmenlehrplänen, die ein breites Profil in der Ausbildung ermöglichen. Alle Schwerpunkte des Unternehmens können darin untergebracht werden. Digitalisierung spielt bei den Entwicklungen eine übergeordnete Rolle. Im Mittelpunkt stehen dabei Fragen wie das Vernetzen von Maschinen, Datennutzung, Zusammenspiel von Daten, Programmierung und anderes. Die Vision ist, einem unternehmensspezifischen Konzept zu folgen: *„Damit ist gemeint, dass die Auszubildenden im Zentrum der Ausbildungsaktivitäten stehen sollen und jede Person die Inhalte unabhängig von deren Komplexität verstehen soll“* (Experte 11).

Wenn es um Schwerpunkte wie „Systemintegration“, „Programmierung“ oder „Vernetzung“ geht, dann werden diese Inhalte integrativ vermittelt. Beispielsweise wurde in der Ausbildung von den Auszubildenden eine 2-D-Laser-Flachbettmaschine selbstständig gebaut. Weitere Schwerpunkte sind der Bau einer Biegemaschine, eines 3-D-Druckers und anderer Anlagen. Beim Bau derartiger Anlagen wird das Thema der Vernetzung in der Maschine integrativ erschlossen. Zudem wird interdisziplinär gearbeitet, was heißt, dass unterschiedliche Berufsgruppen miteinander kooperieren (Experte 11).

Auch im Fall 09 wird das Instrument der ZQ im Unternehmen nicht genutzt und auch nicht für sinnvoll erachtet. Das im Bereich der Systemintegration von Automatisierungslösungen tätige Unternehmen kennt die Ausbildungsverordnung und setzt bewusst auf die Berücksichtigung arbeitsrelevanter Digitalisierungsschwerpunkte in der Ausbildung. Einerseits wird die ZQ als zusätzlicher Ausbildungsaufwand angesehen, bei dem insbesondere der Prüfungsaufwand gescheut wird. Andererseits sind Aspekte der Systemintegration und Prozessintegration selbstverständliche Anforderungsbereiche an Fachkräfte im Unternehmen, die dann eher einen integrierenden als zusätzlichen Charakter haben. Für den Bereich der additiven Fertigung erhalten einzelne EBT durchaus eine Spezialisierungsmöglichkeit im Rahmen der Ausbildung; ein eigener 3-D-Drucker ist im Unternehmen vorhanden. Diese Möglichkeit wird aber nicht in Verbindung mit dem Instrument der ZQ gesehen. Nach Auskunft des Ausbildungsleiters ist auch der Prüfungsausschuss in der Region nicht für die Umsetzung der zusätzlichen Prüfungen für die ZQ aufgestellt. Weder dafür geschulte Prüfer noch die organisatorische Infrastruktur stehen bislang dafür zur Verfügung (Fall 09).

Zusatzqualifikationen sind bislang im Unternehmen des Falls 05 noch nicht gewählt worden. Im Unternehmen herrscht eine hohe Fertigungstiefe in der Zerspanung vor. Aufgabenstellungen zur Integration von Systemen in der Prozessindustrie spielen eine wichtige Rolle im Unternehmen. Es bestehen Ideen zur Ausbildung von Mechatroniker/-innen in der Zusatzqualifikation additive Fertigung. Mechatroniker/-innen haben bereits Interesse an einer solchen Ausbildungsmöglichkeit signalisiert. Allerdings sind die Umsetzungsmöglichkeiten im Unternehmen derzeit noch nicht gegeben. Die Ausbildungsverantwortlichen sehen hier auch ein Problem bei den Kammern und den Prüfungsausschüssen, die nicht auf diese Ausbildung und Prüfung vorbereitet sind. Von Seiten der Industrie- und Handelskammer wurden bisher auch keine Initiativen entfaltet. Die Ausbildungsleitung bewertet das Konzept der ZQ mit zur Wahl

gestellten Themen als zu kurz gegriffen. Sie schlägt vor, die Themen der ZQ in die Ausbildungsordnungen einzubauen und im Gegenzug nicht mehr notwendige Schwerpunkte zu streichen. Sie führt auch an, „*dass im Unternehmen nur das ausgebildet wird, was verpflichtend ist*“ (Ausbildungsleitung). Untermauert wird die Argumentation damit, dass die Prozessintegration (eine ZQ) in der gesamten Ausbildung relevant ist und es „*unzureichend wäre, diese als isoliertes Thema zu behandeln*“ (Ausbildungsleitung). Es herrscht zudem die Einschätzung vor, dass neue Schwerpunkte „*schleichend*“ Eingang in die Berufsausbildung finden und sich auch durchsetzen, wenn aus den Betrieben heraus die Anfrage kommt, dass für Neuentwicklungen Fachkräfte nötig sind (Fall 05).

7.4 Nutzung von Zusatzqualifikationen in der Ausbildung

In den Fallstudien konnten unterschiedliche Beispiele identifiziert werden, in denen die Unternehmen die Zusatzqualifikationen eingesetzt haben. In den Fällen 03, 08, 10 und 12 werden kodifizierte Zusatzqualifikationen genutzt. Die nachfolgenden Darstellungen zeigen auf, dass kZQ gerade von solchen Unternehmen genutzt werden, die als Vorreiter von Industrie 4.0 gelten, sehr stark aufgestellte Ausbildungsabteilungen besitzen und in diesem Zusammenhang eher durch große Betriebe repräsentiert werden.

Das Unternehmen von Fall 08 nutzt ZQ und gilt als einer der Vorreiter der Implementation von Industrie 4.0 in der Fertigung. Vor allem leistungsstarke Auszubildende sind im Unternehmen an ZQ interessiert. Der Inhalt „Systemintegration“ spielt in der Ausbildung eine wichtige Rolle. Das Echo allerdings, die Zusatzqualifikationen umzusetzen, war in der Region schwach. Die Ausbilder des befragten Unternehmens haben anderen Betrieben und Ausbildern eine Kooperation bei der Durchführung der ZQ angeboten. Es wurden auch Vorschläge unterbreitet, wie Prüfungen organisiert werden können. Allerdings beteiligten sich nur zwei weitere Unternehmen an der Organisation und Durchführung der kZQ.

Für die Industrie- und Handelskammer der Region ist zur Durchführung der ZQ Voraussetzung, dass sich Prüfer aus den Betrieben daran beteiligen. Es gilt sozusagen die Formel, dass dann, wenn ZQ gewollt sind, Prüfer aus den Betrieben notwendig sind. Die Organisation des Prüfungsgeschehens ist jedoch ein sehr sensibler Bereich, weil auch interessierte Betriebe es organisatorisch oft nicht bewältigt bekommen, sich an ZQ-Prüfungen zu beteiligen. Die Bereitstellung von Ausbildungspersonal für die ZQ-Prüfungen stellt die Betriebe der Region quantitativ wie qualitativ (Qualifikation der Auszubildenden für ZQ-Themen) vor große Herausforderungen.

Im Unternehmen Fall 08 haben bis zum Befragungszeitraum zehn Personen ZQ absolviert: Acht Personen davon erlernten einen Metallberuf und zwei Personen einen Elektroberuf. Im Ausbildungsjahr 2020/2021 waren es sieben Azubis, die eine ZQ-Prüfung absolviert haben, fünf davon waren Zerspanungsmechaniker. Additive Fertigungsverfahren dominierten bislang. Drei Auszubildende in Elektroberufen haben aufgrund zeitlicher Engpässe einen Rückzieher bei der Absolvierung der ZQ gemacht. Der Aufwand, um eine ZQ zu absolvieren, wird im Unternehmen mit einem Zeitfenster von acht Wochen kalkuliert. Die befragten Ausbilder nennen mehrere Gründe, die es schwierig machen, kZQ umzusetzen:

- Der zeitliche und organisatorische Aufwand, ZQ zusätzlich zur Ausbildung zu betreuen, ist sehr hoch.
- ZQ gehen über den Ausbildungsrahmenplan hinaus, um das Berufsbild zu erweitern. Die Ausbilder in M+E sind jedoch so vollgepackt, dass die Ausbilder kaum Spielräume haben, zusätzliche Aufgaben zu organisieren. Das erschwert die Integration von ZQ.

- Bei den ZQ gibt es in der Ausgestaltung hohe Freiheitsgrade für die Betriebe, weil die Inhalte nicht präzisiert sind. Aber genau dieses erhöht den organisatorischen Aufwand zur Durchführung der ZQ, was in den Betrieben nicht ohne Weiteres leistbar ist.
- In den Betrieben fehlt oft die Zeit, zusätzliche Programme durchzuführen, weil die implementierten Berufsbilder in der Regel bereits in aller Breite umgesetzt werden.
- In vielen Betrieben wird als ZQ für die Metallberufe „additive Fertigungsverfahren“ umgesetzt, weil diese sehr gut in die vorhandene Ausbildung integrierbar sind. Auch gelingt es, dafür die Unterstützung der betrieblichen Abteilungen zu bekommen, weil es sich dabei um ein gängiges Anwendungsfeld handelt.
- In den elektrotechnischen Berufen wird häufig die „digitale Vernetzung“ umgesetzt, weil es dafür im Betrieb konkrete Anwendungsfelder aufgrund der vernetzten Fertigungsstraßen gibt.
- Auszubildende, die eine verkürzte Ausbildung absolvieren, nehmen an den ZQ nicht teil.
- Betriebe befürchten auch, dass der Abschluss einer ZQ für erhöhte Entgeltforderungen benutzt wird.
- Die Freiwilligkeit der ZQ wird als vorteilhaft gesehen. Dieser Sachverhalt kann genutzt werden, ZQ in der Weiterbildung anzubieten. Im Unternehmen wird an dieser Stelle überlegt, in einer zu gründenden „Akademie“ Weiterbildung auch für Facharbeiter anzubieten. Bisher nutzen nämlich die Facharbeiter die möglichen „Qualifizierungszeiten“ nicht aus.
- Eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Absolvierung einer ZQ ist die Unterstützung einer Abteilung des Ausbildungsbetriebs. Diese ist allerdings nicht immer gewährleistet, weil sich zahlreiche Abteilungen bereits an betrieblichen Ausbildungsprojekten und bei den Abschlussprüfungen engagieren und deshalb kaum noch Spielraum für weitere zusätzliche Aufgaben verfügbar haben. Dieser Sachverhalt verhindert, die ZQ Prozess- und Systemintegration umzusetzen. Zur konkreten Ausgestaltung fehlt es an Zeit (Fall 08).

Zusatzqualifikationen werden im Unternehmen des Falls 12 genutzt, um Auszubildenden ein Add-on anzubieten. Am häufigsten wurde bis jetzt die ZQ additive Fertigung genutzt (viele Ansatzpunkte im Unternehmen durch CAD-Hintergrund und Ausbildung am 3-D-Drucker), und zwar ca. sechsmal bei Mechatroniker/-innen und ebenso in Summe zwölfmal bei Zerspanungs- und Werkzeugmechaniker/-innen. Bei Mechatroniker/-innen wurde auch bereits zweimal die ZQ digitale Vernetzung ausgebildet, die ZQ Programmierung wird 2021 eingeführt. Generell wird es für bedeutsam gehalten, dass Auszubildende über das derzeitige Ausbildungsprogramm hinaus gewisse Felder erschließen, die Arbeitszusammenhänge sicherstellen (wie bei der EFK bei FIS) oder Zukunftsthemen abbilden (wie Fabrikautomation, autonomes Fahren, Automobil-Netzdienste und -Infotainment). Für die ZQ konnten durch die sehr guten Ausbildungsmöglichkeiten und das hohe Engagement des Unternehmens auch problemlos Prüfungsausschüsse gebildet und die bisherigen Prüfungen durchgeführt werden.

Im Moment sind die ZQ eher als Ausbildungserweiterungen für besonders leistungsstarke Auszubildende zu verstehen. Umso mehr die „Zukunftsthemen“ aktuelle Arbeitsanforderungen abbilden, desto intensiver sollte überlegt werden, die ZQ über eine Neuordnung als festes Element in jede Ausbildung zu integrieren und gleichzeitig an anderer Stelle nicht mehr zeitgemäße Inhalte zu reduzieren. Eine Unterstützung seitens der Berufsschulen wäre für die Integration der ZQ notwendig. Zur Frage der ZQ als Option oder integriertes Ausbildungselement bestand zum Zeitpunkt der Erhebung noch keine feste Positionierung (Fall 12).

Im Unternehmen Fall 11 wurde eine ZQ „additive Fertigungsverfahren“ und eine ZQ „Prozessintegration“ im Beruf des/der Industriemechaniker/-in umgesetzt. Die additiven Fertigungsverfahren sind schon länger in die Ausbildung integriert. Es werden auch Teile (Reifen) für einen in der Grundausbildung

herzustellenden Traktor über den 3-D-Drucker gedruckt. Die ZQ „Prozessintegration“ ist für das Unternehmen nur sehr schwer greifbar. Die Industrie- und Handelskammer kann auch nur eingeschränkt beraten und keine konkreten Hilfestellungen geben. *„Die Unterschiede zwischen Systemintegration und Prozessintegration sind nur schwer nachvollziehbar. Bisher hatte auch die IHK noch keine Erfahrungen mit dieser ZQ, da das Unternehmen eines der Ersten in der Umsetzung war“*. Die Prüfungsorganisation habe alleine das Unternehmen übernommen, von Seiten der IHK habe es so gut wie keine Unterstützung gegeben.

Die ZQ „additive Fertigungsverfahren“ ist in Fall 11 leichter umzusetzen, da hier Vorerfahrungen von CAD bis zum 3-D-Drucker vorliegen. Zudem werden additive Verfahren in der Ausbildung schon länger eingesetzt. Die IHK konnte hier besser beraten, da additive Verfahren schon häufiger Gegenstand einer ZQ-Prüfung waren. Prüfungen im Bereich der ZQ additive Fertigungsverfahren sollen auch zukünftig durchgeführt werden. Bisher ist die Teilnahme der Azubis freiwillig. Priorität haben diejenigen, die nicht verkürzen, weil es in diesem Fall mehr zeitlichen Ausbildungsspielraum gibt. Die Mechatroniker-Ausbildung ist so vollgepackt, dass sich ZQs nicht mehr mit einbauen lassen.

„Die Verkürzung der Ausbildung ist ein Hemmschuh für die ZQ und führt zur Ablehnung der ZQ“. Die ZQs „IT-Sicherheit“ oder „digitale Vernetzung“ können nur schwer im Unternehmen abgebildet werden. Bisher sind ZQs eine Sache für die leistungsstärkeren Azubis. Für die gesamte Ausbildung soll ein Konzept entwickelt werden, das die Teilnahme an einer ZQ möglich macht. Generell wird das Instrument der ZQ positiv eingeschätzt. Positiv bewertet wird auch die Eigenständigkeit des Zertifikats, vor allem, dass es keine Wirkung auf das Facharbeiterzertifikat hat. ZQs werden auch als Instrument gesehen, um Auszubildende zum Ende einer dreieinhalbjährigen Ausbildung nochmals zu motivieren, etwas Besonderes zu leisten. Dadurch werden neue Lerninhalte in die Ausbildung gebracht und die Digitalisierung wird unterstützt. Das sind bedeutende Motivationsfaktoren (Fall 11).

Das Unternehmen des Falls 03 – Hersteller von Heizsystemen und Klimageräten – ist mit ZQ zurückhaltend. Von 20 Azubis hat bisher nur einer an einer Zusatzqualifikation teilgenommen und die Prüfung absolviert. Ein Problem ist die zeitliche Verteilung am Ende der Ausbildung, da hier die Prüfungsvorbereitung stattfindet. Acht Wochen für die Zusatzqualifikationen lassen sich dort laut Ausbildungsleitung kaum unterbringen.

Auch ist der Wert der Zusatzqualifikationen aktuell noch fraglich. Acht der hauptamtlichen Ausbilder stehen für die Zusatzqualifikationen zur Verfügung, wurden jedoch noch nicht vom Prüfungsausschuss der Kammer angefragt. Aktuell sind nach Aussage des Ausbildungsleiters die ZQ schwer einordbar, jedoch passend für das Unternehmen. Es gibt auch keine anderen Vorschläge für ZQ. Stattdessen wird vorgeschlagen, dass der Erwerb der Zusatzqualifikationen innerhalb der letzten beiden Halbjahre möglich sein sollte.

Bei den Gesprächspartnern im Fall 03 herrscht die Meinung vor, dass es reicht, wenn die „Standardanforderungen“ in den Ausbildungsordnungen genannt werden. Innovationen sollten nur im begrenzten Umfang in den Ausbildungsordnungen verankert sein, damit auch kleine und mittlere Unternehmen diesen Beruf weiterhin ausbilden können.

Das im Bereich der Automatisierungstechnik tätige Unternehmen (Fall 10) bietet bereits im dritten Jahrgang eine **eigene** Zusatzqualifikation zu Industrie 4.0 bei den Mechatronikern/-innen mit der IHK zusammen an. Die angebotene ZQ deckt inhaltlich weitere Felder ab, als dies bei den kodifizierten ZQ im Rahmen der Ordnungsmittel der Fall ist. Der Titel des Zertifikats weist bereits darauf hin, dass es um

Industrie 4.0 im gesamten und nicht um ein Spezialgebiet davon geht. Für die Metallberufe Industriemechaniker/-in und Zerspanungsmechaniker/-in (später eventuell noch Verfahrensmechaniker/-in) wird die kodifizierte Zusatzqualifikation „additive Fertigung“ erstmals im Jahr 2021 umgesetzt. Hieran kann freiwillig teilgenommen werden; schätzungsweise werden zwei Drittel der Azubis diese ZQ nutzen (in absoluten Zahlen: zehn von 15). Die Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik sind noch nicht an den ZQs beteiligt.

Laut Aussage des Experten 12, der in einem großen Automobilzuliefererwerk für die Ausbildung zuständig ist, wurden bis Anfang 2021 insgesamt ca. zehn Prüfungen im Bereich der Zusatzqualifikationen umgesetzt. Bei den Elektroniker-Berufen wurde die Zusatzqualifikation „Programmierung“ und für die Metallberufe die ZQ „additive Fertigungsverfahren“ gewählt. Die anderen ZQ werden nicht genutzt. Im Prüfungsbezirk ist die Prüfung der ZQ bislang organisatorisch gut umsetzbar gewesen. Prüfer stammen aus einem benachbarten Automobilhersteller-Werk. Prüfungsbezirke, die kaum größere Unternehmen in ihrem Einzugsbereich haben, haben es nach Aussage der Ausbildungsverantwortlichen deutlich schwerer, Prüfungsausschüsse zu bilden. Die Bereiche der ZQ werden in der Ausbildung im Unternehmen inhaltlich auch ohne das Instrument selbst bedacht, etwa wenn eine Einführung in das 3-D-Scannen oder ähnliche Themen in der Berufsausbildung eingeführt werden (Experte 12).

7.5 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Sowohl in der Unternehmensbefragung als auch in den Fallstudien wird klar: Detailliertes Wissen zur Modernisierung der Ausbildungsordnungen ist in den Unternehmen noch ausbaufähig. Immerhin kennt nach Ergebnissen der repräsentativen Befragung im Jahr 2020 gut die Hälfte der M+E-Unternehmen die neue Berufsbildposition und die ZQ in groben Eckpunkten. Dabei sind größere Unternehmen mit der Modernisierung der Ausbildungsordnung häufiger vertraut und haben sich auch häufiger bereits im Detail damit beschäftigt als kleinere Unternehmen. Ein ähnliches Ergebnis lässt sich in den vorgenommenen Fallstudien beobachten. Hier zeigt sich zudem, dass große Unternehmen der Modernisierung der Ordnungsmittel zuweilen voraus sind. Unter den Industrieunternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden und in denen die Modernisierung bekannt ist, werden die Neuerungen auch häufiger umgesetzt oder ihre Umsetzung zumindest geplant.

Unternehmen, die einen höheren Digitalisierungsgrad haben, die also bereits mehr digitale Technologien nutzen, führen häufiger neue Ausbildungsinhalte ein und haben häufiger (detailliertes) Wissen über die modernisierte Ausbildungsordnung (Berufsbildposition Nr. 5). Da Unternehmen aus der Metall- und Elektrobranche häufiger digitale Technologien nutzen, läge die Vermutung nahe, dass sie auch häufiger neue Ausbildungsinhalte einführen und sich detaillierter mit der modernisierten Ausbildungsordnung auseinandersetzen. Allerdings führen sie seltener als Unternehmen aus den anderen Industriebranchen neue Ausbildungsinhalte ein und nur eins von zehn Unternehmen hat sich bisher detailliert mit der modernisierten Ausbildungsordnung beschäftigt.

Im Hinblick auf das Angebot an Zusatzqualifikationen gehen die Ergebnisse der Unternehmensbefragung und der Fallstudien zum Teil auseinander. So ist zwar sowohl in den Unternehmen der Fallstudien als auch in denen der Unternehmensbefragung die Programmierung eine der am häufigsten angebotenen Zusatzqualifikationen. Aus der Unternehmensbefragung heraus lässt sich allerdings auch feststellen, dass der ZQ additive Fertigung eine geringe Bedeutung beigemessen wird. Dies geht damit einher, dass dieser Technologie in den Unternehmen noch eher eine Nischenbedeutung zukommt. Im Kontrast hierzu steht die relativ hohe Bedeutung, die in den Fallstudien für die Ausbildung im Bereich der additiven Fertigung erkannt wurde. Dies steht im Einklang zur Datenlage der bundesweiten Statistik, aus der

insgesamt eine relativ geringe Bedeutung der ZQ abzulesen ist, jedoch die additive Fertigung und die Programmierung noch am häufigsten entsprechend der Ausbildungsordnung umgesetzt wurden. Diese Tatsache ist auch darauf zurückzuführen, dass neben der Programmierung gerade die additive Fertigung für Ausbildungszwecke am leichtesten verfügbar gemacht werden kann – allerdings ohne dass insbesondere die additive Fertigung bereits einen hohen Stellenwert im Produktionsbereich der Unternehmen besitzt.

In den Fallstudien ist das Instrument der kodifizierten Zusatzqualifikationen bei den untersuchten Unternehmen wenig anzutreffen, ähnlich wie die Berufsbildposition Nr. 5 von den Unternehmen kaum wahrgenommen wird, während zusätzliche Maßnahmen zur Ausbildung für die Digitalisierung / Industrie 4.0 in nahezu allen Fällen – auch im Zusammenhang mit (nicht kodifizierten) Zusatzqualifikationen – eine Rolle spielen. Auch in den rund 30 Prozent der untersuchten Fälle, in denen ZQ wenigstens in Teilen umgesetzt werden, wird überwiegend Kritik an der Umsetzbarkeit (ausgenommen additive Fertigung) in der Ausbildung, an der Ausrichtung als Zusatzangebot und insbesondere hinsichtlich der Organisation der Prüfungen durch die Kammern geäußert. Die ZQ in der jetzigen Angebotsstruktur aufrechtzuerhalten, scheint nicht zielführend zu sein.

Aus den Fallstudien und Expertengesprächen heraus lassen sich für die Ausbildung in Zusatzqualifikationen vier Typen unterscheiden (vgl. Abbildung 34):

1. Unternehmen, in denen die kodifizierten ZQ unbekannt sind oder trotz Bekanntheit nicht zur Anwendung kommen; diese sehen keine Notwendigkeit in einer zusätzlichen Prüfung und ebenso nicht einer zusätzlichen Ausbildung zu den ZQ-Themen (ca. 55 Prozent, „*Digitalisierungsferne*“).
2. Unternehmen, die Zusatzqualifikationen zur Digitalisierung in der Ausbildung im Sinne der Ausbildungsverordnung implementieren, diese aber nicht prüfen (ca. 30 Prozent, „*Umsetzer*“).
3. Unternehmen, die kodifizierte ZQ umsetzen und auch prüfen (ca. 10 Prozent, „*Anwender*“); meist allerdings im Sinne des Schaffens von Anreizen für leistungsstarke oder bestimmte Auszubildende. Dieses Vorgehen ist nur in Betrieben anzutreffen, die „starke“ Ausbildungsabteilungen mit entsprechend qualifiziertem Ausbildungspersonal besitzen.
4. Unternehmen, die kodifizierte ZQ nutzen (wollen), um Innovationen im Bereich der Weiterbildung zu schaffen (ca. 5 Prozent, „*Weiterbildner*“) sowie eine weitere Überfrachtung der Erstausbildung verhindern wollen.

Auch wenn es naheliegend ist, bei den Konstruktionsfehlern gegenzusteuern, ist immer noch die Frage offen, ob die kodifizierten Zusatzqualifikationen generell das richtige Instrument sind, da sie nur schwer entsprechend der separat angelegten Ausbildungspläne ausgebildet werden können und bislang mit unter einem Prozent-Anteil an allen möglichen Abschlussprüfungen so gut wie nicht als Instrument genutzt werden. Am einfachsten zu lösen scheint der Punkt zwei zu sein (Konstruktionsfehler 2), nämlich die Beteiligung der beruflichen Schulen. Experte 01 schlägt dazu vor: „*Die beste Lösung wäre, die ZQ komplett zu streichen und dual zu organisieren, bei Beteiligung der Berufsschule*“.

Abbildung 34: Varianten der Nutzung kodifizierter Zusatzqualifikationen in der M+E-Industrie

Quelle: eigene Darstellung

Ein weiter unterstützendes Argument kommt von einem Ausbildungsleiter des Falls 05: „Die Themenstellungen der neu geschaffenen Zusatzqualifikationen werden als sinnvoll angesehen“ (Ausbildungsleiter), nicht jedoch die optionale Verankerung in den Ordnungsmitteln. Unternehmen, die bereits Erfahrungen mit der Ausbildung in Zusatzqualifikationen sammeln konnten (die Anwender), könnten als Partner für mehrere Unternehmen tätig werden, Ausbildungsmöglichkeiten schaffen und in der Organisation der Prüfungen eine wichtige Rolle spielen. Im gleichen Zusammenhang stellt sich jedoch die Frage, ob die Prüfung als eigenständige Prüfung bestehen bleiben soll. Die empirischen Erkenntnisse zeigen sowohl in den Fallstudien als auch in den Expertengesprächen ein deutliches „Nein“ als Antwort, die schon allein durch die Schwierigkeit der Organisation und der Besetzung der Prüfungsausschüsse begründet wird.

Konstruktionsfehler 3 weist in die Richtung, die ZQs nicht eigenständig, sondern als festen Bestandteil der Ausbildung in allen Berufen anzubieten, wie etwa im Fall 09, in dem der betriebliche Auftrag selbst in der Abschlussprüfung eine Systemintegration beinhaltete. Dies würde einen eigenständigen Prüfungsausschuss überflüssig machen.

In der Reflexion der Ergebnisse scheint es unwahrscheinlich, dass es nach inzwischen über drei Jahren Erprobung zukünftig zu einer viel größeren Akzeptanz der kZQ kommen wird. Auch eine Abschwächung der Corona-Pandemie wird diesen Sachverhalt nicht grundsätzlich ändern. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass es zu keiner breiten Qualifizierung auf Basis der kZQ kommen wird. Die Entwicklungen in den Unternehmen zeigen eher in die Richtung, dass die inhaltlichen Schwerpunkte der kZQ für einzelne Berufe weiter an Bedeutung gewinnen werden und es zu einer noch intensiveren integrierten, prozessbezogenen Vermittlung der Inhalte kommen wird – das schon deshalb, weil die Schwerpunkte und inhaltliche Ausrichtung der kZQ auf hohe Akzeptanz stoßen.

Eine weitere Absicht der Sozialpartner, mit den kZQ den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) die Chance zu eröffnen, Digitalisierung in der Ausbildung im Unternehmen zu unterstützen, scheint nicht

von Erfolg gezeichnet zu sein. In den beiden Fallstudien 02 und 15 (beide KMU) sind die kZQ und auch die Berufsbildposition Nr. 5 nicht bekannt gewesen. Auch bei Experten, die eine Berufsausbildung selbst betreiben und den KMU zuzurechnen sind – Experte 10 und „A“ – sind die ZQ bisher unbekannt. Dieser Befund zeigt sich in der Tendenz auch in den quantitativen Daten, wenngleich weniger stark ausgeprägt als in den untersuchten Fallbeispielen. So sind die Zusatzqualifikationen in KMU weniger häufig bekannt (37,6 Prozent) als größeren Unternehmen (52,7 Prozent). Besonders groß ist der Unterschied beim detaillierten Wissen: Hier ist der Anteil der großen Unternehmen fast dreimal so groß wie bei den KMU. Dies verdeutlicht, dass die kZQ intensiver von großen Betrieben mit einer Ausbildungsabteilung genutzt werden.

Für die Sozialpartner ist deshalb zu empfehlen, zu prüfen

- a) wie die Inhalte der kZQ zu integrierten Bestandteilen der einzelnen Berufsbilder werden können, ohne diese weiter zu überfrachten,
- b) welche der Inhalte dazu genutzt werden können, die Standardberufsbildpositionen einzelner Berufe weiter auszuweiten, fest zu integrieren und prozessbezogener zu formulieren,
- c) ob die Anzahl und jetzige Zuordnung der kZQ für die Ausbildungsberufe in der M+E-Industrie sich bewährt haben, oder ob eine berufs- und aufgabenbezogene Berücksichtigung insbesondere von Themen wie „IT-Sicherheit“ und „Programmierung“ für alle Auszubildenden relevant ist,
- d) ob die kZQ sich eignen, als Angebot für die berufliche Weiterbildung von Fachkräften genutzt zu werden (vgl. Experte 07 *„Die kZQ soll über die Anpassungsfortbildung zu einem Systemelement werden!“*).

Alle Empfehlungen sollten nicht als „oder“-Optionen verstanden werden. Grund dafür ist, dass eine Balance zwischen der oftmals angesprochenen Überfrachtung der Ausbildungspläne einerseits und der Notwendigkeit der auf Digitalisierung bezogenen Qualifikationen andererseits als Standardanforderung herzustellen ist. Insbesondere erscheint es ratsam, die zunehmende Bedeutung einer anlagen- und aufgabenbezogenen Low-Code- und No-Code-Programmierung für alle Berufe neu zu bedenken. Mit Letzterer werden auch zunehmend Systeme und Prozesse integriert, die sich in der Praxis kaum mehr von Kernaufgaben der Berufe trennen lassen.

8 Zusammenfassung der zentralen Forschungsergebnisse

Vier von zehn M+E-Unternehmen haben in den letzten fünf Jahren ihre Ausbildungsinhalte an die Digitalisierung angepasst

Wissend oder unwissend über die Teilnovellierung der M+E-Ausbildung haben 42,0 Prozent der M+E-Unternehmen, die in mindestens einem M+E-Beruf ausbilden, ihre Ausbildungsinhalte bereits im Zuge der Digitalisierung angepasst. In der restlichen Industrie ist der Anteil der Unternehmen, die angeben, ihre Ausbildungsinhalte überarbeitet zu haben, größer: Über die Hälfte (52,2 Prozent) der Unternehmen hat auf die Digitalisierung reagiert. Unter größeren oder besser digitalisierten Unternehmen haben anteilig mehr Unternehmen ihre Ausbildungsinhalte überarbeitet als in kleineren oder weniger digitalisierten Unternehmen.

Die Teilnovellierung leistet einen Beitrag zur Gestaltung des digitalen Wandels in der Ausbildung, hat aber alleine keine ausreichende Wirkung, um die Berufsausbildung umfassend auf die Herausforderungen von Industrie 4.0 auszurichten

Die aktuellen Anpassungen der Teilnovellierung der M+E-Berufe im Jahre 2018 sowohl bei den kodifizierten Zusatzqualifikationen (kZQ) als auch bei den Änderungen der Berufsbildposition Nr. 5 sind alleine nicht ausreichend, um den Anforderungen von Industrie 4.0 gerecht zu werden. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die Umsetzung noch zu wünschen übrig lässt. Die neue Berufsbildposition und/oder die Zusatzqualifikationen waren knapp der Hälfte der M+E-Unternehmen Ende 2020 (noch) nicht bekannt. Vor allem aber schätzen die Unternehmen ein, dass die Kompetenzen der kZQ eher integrativ in der Ausbildung zu verankern sind, anstatt sie zusätzlich isoliert zu erwerben. In der betrieblichen Praxis können sie diese integrative Vermittlung zwar umsetzen, dies erfordert jedoch einen konzeptionellen Aufwand, um die Ausbildung entsprechend anzupassen. Dabei wird aus den Fallstudien ersichtlich, dass trotz Bekanntheit der Modernisierungen oder auch der angebotenen Umsetzungshilfen Themen der Zusatzqualifikationen unabhängig von Ordnungsmitteln diese oftmals nicht erfolgreich in eine veränderte Ausbildungspraxis umgesetzt werden.

Die im Rahmen der Teilnovellierung im Jahr 2018 eingeführten Veränderungen können je nach Gestaltung der betrieblichen Ausbildung zu einer inhaltlichen Überfrachtung der Ausbildungsberufe und bei den Zusatzqualifikationen zu einer Überforderung der Prüfungsorganisation und -praxis führen. Die schon vor einigen Jahren (in den Metallberufen im Jahre 2004) integrierten Prozessbezüge in den Ausbildungsberufen sind – wie die Fallstudien zeigen – bislang noch immer nicht in allen Ausbildungsunternehmen angekommen. Die notwendige Prozessorientierung in den M+E-Berufen wird so nach fast 20 Jahren nach der diesbezüglichen Neuordnung dringlicher als je zuvor. Ein Wandel in der Strategie und Praxis der Ausbildung ist jedoch nur machbar, wenn die stärker systemische Orientierung der vernetzten Produktion mit und an mechatronischen Systemen auch Einzug in die Berufsbilder hält. Dies zeigt, dass neben der Gestaltung der Ausbildungsordnungen auch die betriebliche Umsetzung der Standards mit gut konzipierten Umsetzungshilfen und Beratungsangeboten begleitet werden sollte.

Die kodifizierten Zusatzqualifikationen der Teilnovellierung haben sich formell nicht bewährt und werden kaum in der vorgegebenen Form genutzt

Die Einführung der kodifizierten Zusatzqualifikationen der Teilnovellierung der M+E-Berufe erfolgt in der Praxis nicht in nennenswertem Umfang. So zeigen die Erhebungen, dass Ende des Jahres 2020 immerhin

vier von zehn Industrieunternehmen, die in M+E-Berufen ausbilden (39,1 Prozent), Zusatzqualifikationen anbieten. Unter Unternehmen, die die Teilnovellierung der M+E-Berufe zumindest grob kennen, liegt dieser Anteil sogar bei knapp drei Viertel (73,1 Prozent). Damit ist die Informationslage über die Teilnovellierung ein wichtiger Umsetzungstreiber, der allerdings auch das originäre Eigeninteresse der Unternehmen voraussetzt. Fast die Hälfte (46,5 Prozent) der Industrieunternehmen kennt die Zusatzqualifikationen Ende 2020 jedoch noch nicht. Umgesetzt werden dagegen – unabhängig von der in der Teilnovellierung geschaffenen Möglichkeit der separaten Ausbildung und Prüfung – Ansätze in der Ausbildung, die sich auf die Inhalte der kZQ beziehen.

Die Umsetzung der kodifizierten Zusatzqualifikationen ist bisher nicht erfolgreich und das Angebot der Zertifizierung verbunden mit einer Kammerprüfung wird bislang so gut wie nicht genutzt. Die Prüfungsstatistik der Kammern belegt einen sehr geringen Prüfungsanteil der Zusatzqualifikationen von etwa einem Prozent an allen Abschlussprüfungen in den M+E-Berufen. Als Ursachen werden von den Unternehmen der hohe Aufwand in der Prüfungsorganisation, die Kosten, der geringe Bekanntheitsgrad gerade bei KMU, der (mit Ausnahme der additiven Fertigung und Programmierung) kaum separat auszubildende Charakter der Inhalte und die schon aktuelle Überfrachtung in den M+E-Berufen gesehen. Jedoch werden die Inhalte und die Ausrichtung der Zusatzqualifikationen von den meisten Unternehmen als passend eingeschätzt; deshalb setzen manche Unternehmen diese auch ohne offiziellen Abschluss mit einer Kammerprüfung schon innerhalb der Ausbildung um. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen des Projekts „Evaluation der Novellierung der Metall- und Elektroberufe 2018“ beim Bundesinstitut für Berufsbildung. Auch hier werden die Inhalte der Zusatzqualifikationen positiv für den Einsatz in Unternehmen bewertet, gleichwohl deren Prüfbarkeit in Form von kZQ als nicht erfolgversprechend angesehen (BIBB, 2021).

Vor allem erscheint es schwierig, die einzelnen Themenstellungen der kZQ als separate Inhalte auszubilden und zu prüfen. Insofern sind zwei Szenarien im Umgang mit den kZQ denkbar: Szenario A geht davon aus, dass am Instrument kZQ festgehalten wird und Szenario B davon, dass das Instrument der kZQ verworfen wird. In beiden Fällen sind wesentliche Veränderungen in der inhaltlichen und strukturellen Ausgestaltung der Ausbildung und der Prüfung vorzunehmen.

Szenario A: Kodifizierte Zusatzqualifikationen werden weiterentwickelt

- *Reorganisation der Prüfung*

Bei Durchführung von kZQ in einem Unternehmen sind die Durchführenden für die Organisation der Prüfung zuständig und müssen dafür den Prüfungsausschuss nach den gängigen Regeln bilden. Diese zusätzliche Organisation einer Prüfung erfordert von allen Beteiligten einen erheblichen Mehraufwand, weil die kZQ nicht in Verbindung mit der Facharbeiterprüfung steht, sondern einen eigenständigen Charakter hat. Der Aufwand für die Prüfung steht dann eventuell in keinem Verhältnis zum Stellenwert dieser zusätzlichen Prüfung. Sie schlägt sich nicht im Facharbeiterabschluss nieder, sondern stellt ein zusätzliches Zertifikat dar. Sollten weiterhin kZQ geprüft werden, dann wäre zu prüfen, das Verfahren so zu verändern, dass der Prüfungsaufwand gesenkt und eine Beteiligung aller Ausbildungspartner und insbesondere der Berufsschulen in der Ausbildung sichergestellt ist. Denkbar wäre es beispielsweise, den betrieblichen Auftrag als Prüfelement zu nutzen.

- *Beteiligung der Berufsschulen an der Durchführung und Prüfung der kZQ*

Die Berufsschulen sind bisher weder an der Umsetzung der kZQ noch der Prüfung der kZQ verbindlich beteiligt, auch wenn sie in der Unternehmensumfrage sehr häufig als aktiver Partner benannt wurden. Erkenntnis der Studie ist, dass Berufsschulen als gleichberechtigte Partner in der Ausbildung und

Prüfung beteiligt werden sollten. Dies entspricht dem vielfach geäußerten Wunsch der Unternehmen. Vor allem wären die Inhalte der kZQ in den Lehrplänen zu verankern. Damit wäre die Voraussetzung geschaffen, dass die Berufsschulen wichtige theoretische Grundlagen im Zusammenhang mit den kZQ lehren und damit die Reflexionstiefe bei den Auszubildenden erhöhen. Weil die Ausbildung bei den kZQ in den meisten Fällen projektartig stattfindet und die Inhalte sich kaum isoliert von betrieblichen Aufgabenstellungen ausbilden lassen, ist als grundsätzliche Prüfungsorganisationsform in erster Linie der betriebliche Auftrag geeignet.

Szenario B: Kodifizierte Zusatzqualifikationen werden außer Kraft gesetzt

Nur eine Minderheit der ausbildenden Betriebe hat die Möglichkeit wahrgenommen, Auszubildende in kZQ zu prüfen – dies zeigt der geringe Anteil (1,2 Prozent) der Prüfungen in kZQ an allen Abschlussprüfungen in M+E-Berufen. Die Kritik der Experten und Fallstudienunternehmen an den kZQ macht sich vor allem an drei hemmenden Punkten fest:

- der Notwendigkeit, einen eigenen Prüfungsausschuss einzurichten und eine eigenständige Prüfungsorganisation zu managen,
- dem Ausschluss des dualen Partners Berufsschule von der Durchführung und Prüfung der kZQ und
- dass kZQ-Inhalte in einigen der Fallstudienunternehmen bereits vor Einführung der neuen Ausbildungsrichtlinien über Projekte bearbeitet wurden und nach Einschätzung dieser Unternehmen besser als Standardinhalt in den Ausbildungsordnungen ausgewiesen werden sollten.

Der marginale quantitative Umfang der Nutzung der eigenständigen Prüfung wie die nur schwer zu verankernde Positionierung der Inhalte der kZQ in der Ausbildung zeigen, dass die aktuelle Organisationsform wenig Akzeptanz erfährt und stattdessen eine integrative Form der Ausbildung zu prüfen wäre. Hierbei ist abzuwägen, welche Schwerpunkte in welche Berufsbilder sinnvoll zu integrieren sind und ob der überwiegende Teil der Unternehmen dazu in der Lage wäre, dies in der betrieblichen Ausbildung umzusetzen. Vorteil dieses Szenarios wäre es, dass wichtige Inhalte zur Gestaltung von Digitalisierung und Industrie 4.0 verbindlich an alle Auszubildende vermittelt würden.

Ausbildung in der Berufsbildposition Nr. 5 ist zu wenig sichtbar und erfordert mehr Information und bessere Umsetzungshilfen

Erkenntnis aus den Erhebungen ist, dass qualifikatorische Digitalisierungsanforderungen der Berufsbildposition Nr. 5 gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen noch zu wenig bekannt sind. Allerdings ist zu beachten, dass Informations- und Umsetzungsstand sich seit der Unternehmensbefragung Ende 2020 noch einmal erhöht haben dürften. Auch wenn die Berufsbildposition Nr. 5 bekannt ist, folgt nur in seltenen Fällen eine konkrete Veränderung im Ausbildungsgeschehen daraus.

Idealerweise sollte die Berufsbildposition integrativ an berufliche Aufgaben gebunden vermittelt werden, für die eigenständige, direkte und unmittelbare berufliche Anforderungen identifizierbar sind. Hierbei gibt es in der betrieblichen Ausbildungspraxis bislang große Schwierigkeiten, um etwa konkrete Anknüpfungspunkte für die Umsetzung in den Ausbildungsunternehmen und den Berufsschulen zu finden. Deshalb wurden in den Expertenworkshops deutliche Forderungen nach konkreten Umsetzungshilfen gestellt, die eng mit den beruflichen Arbeitsaufgaben im Betrieb verknüpft sind. Die vom BIBB bereitgestellten Umsetzungshilfen sind zwar anschaulich beschrieben, bilden allerdings nur eine „Generallinie“ ab, die wenig mit den konkreten betrieblichen Aufgabenstellungen zu tun hat. Zudem sind die anschaulichen Praxisbeispiele nur online verfügbar und nicht in der Printversion enthalten. Daher könnte die Umsetzung in der betrieblichen Ausbildung durch praxisnahe Beratungsangebote oder

umsetzungsorientierte Trainingsangebote deutlich gefördert werden. In eine solche Umsetzungsoffensive sollten zudem breite Informationsangebote für Unternehmen integriert werden. Ohne zusätzlichen Aufwand der ausbildenden Betriebe wird sich der Umsetzungsstand allerdings nicht im gewünschten Maße in die Breite tragen lassen.

Erfahrungswissen von Fachkräften wird an Bedeutung gewinnen

In wissenschaftlichen Debatten herrscht zwar noch eine gewisse Uneinigkeit hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Effekte der Qualifikationsstrukturen und Anforderungen in Bezug auf den Einsatz von Facharbeitern im Kontext der digitalen Transformation. Die empirischen Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Studie zeigen jedoch, dass in Bezug auf Aufgaben von Facharbeitern in der vernetzten und automatisierten Produktion von einem Bedeutungszuwachs des beruflichen Erfahrungswissens ausgegangen werden kann (vgl. auch Baumhauer/Meyer, 2021, 113 f.). Ursache dafür sind die nach wie vor vorhandene Fehleranfälligkeit und kaum durchgängig beherrschbare Technikkonstellationen von vernetzten Systemen. Um berufliches Erfahrungswissen, also Kenntnisse über konkrete Abläufe, die Zusammenhänge von Arbeitsprozessverläufen sowie systematisch nicht erfassbare Eigenschaften von Anlagen und Produktionsabläufen, aufzubauen, sind Fachkräfte erforderlich, die solche Anlagen kontinuierlich betreuen, warten, reparieren und bei Bedarf Fehler beheben. Darüber bauen sie Erfahrungswissen und Kompetenzen auf, die sie zu wertvollen Akteuren zur Sicherung von störungsfreien Produktionsabläufen machen.

Digitalisierung schreitet in vielen Unternehmen langsam voran – das kann als Chance genutzt werden

Auf Basis der Experteninterviews und Fallstudien konnte herausgearbeitet werden, dass der digitale Transformationsprozess in der Arbeitswelt und den Qualifikationsstrukturen der M+E-Industrie nicht disruptiv verläuft, sondern sich in einzelnen, überschaubaren Schritten vollzieht. In Kapitel 5 sind dafür vier Unternehmenstypen charakterisiert, bei welchen die Spannweite von ersten, vorsichtigen Optimierungen der organisatorischen Abläufe bis hin zu einer hochvernetzten Produktion und digitaler Steuerung der Prozessabläufe mittels standardisierter Produktionsdaten reicht. Es liegt auf der Hand, dass der Bedarf an qualifiziertem Personal bei den Unternehmenstypen unterschiedlich ausgeprägt und bei dem Unternehmenstyp 04 mit den höchsten Ansprüchen verbunden ist.

Dieser Unternehmenstyp wird derzeit von einer kleinen Zahl von Großunternehmen repräsentiert, die die notwendigen Spezialisten bereits in eigener Regie qualifiziert haben. Der Großteil der Unternehmen befindet sich noch inmitten des Transformationsprozesses oder an dessen Beginn, verbunden mit der Chance, dass noch Spielräume für die Gestaltung der Ausbildung von geeigneten Fachkräften vorhanden sind. Wichtig ist hinsichtlich des Gestaltungsspielraums, dass Unternehmen bereit sind, sich auf eine innovations- und gestaltungsorientierte Ausbildung einzulassen, was bedeutet, eine sehr enge Verzahnung zwischen dem betrieblichen Bedarf und der Ausbildungsabteilung herzustellen, um ein nachhaltiges Ausbildungsgeschehen zu garantieren. Erfolgversprechend ist dabei, wenn die Ausbildung einerseits an den Arbeitsprozessen ausgerichtet wird und andererseits der Innovationsthematik Rechnung trägt. Der Ausbildungsprozess sollte dabei eng mit der Berufsschule verzahnt werden.

Struktur der M+E-Berufe zukunftsfester machen und neue Schwerpunkte wie die Digitalisierung mehr von der Produktion her denken

Die beschriebenen Entwicklungslinien zur Umsetzung der Digitalisierung in den Unternehmen zeigen, dass zukünftig Fachkräfte auf Facharbeitsebene benötigt werden, die in generischen Handlungsfeldern der Produktion mit durchgehend digitalisierten Arbeitsumgebungen arbeiten. Dabei müssen diese mit digitalisierten Werkzeugen und vernetzten Arbeitsumgebungen arbeiten, egal ob in einem Metall-,

Elektro- oder IT-Beruf. Dabei nimmt die Vernetzung der Produktion und die Arbeit an und mit mechatronischen Systemen massiv zu. Das führt dazu, dass die Digitalisierung strukturell mit den konkreten Aufgaben in der Produktion verknüpft ist und nicht als „Add-on“ im Sinne von IT-Kenntnissen, Medien oder Programmierung ausgebildet werden kann.

Die M+E-Ausbildungsberufe sind inhaltlich überfrachtet und sollten „entschlackt“ werden

In allen Interviews, ob in den Experten- oder Fallstudieninterviews, wurde die Überfrachtung der aktuellen Ausbildungsberufe als Problemfall deutlich beschrieben. Es kommen immer neue Anforderungen hinzu, jedoch findet keine „Entschlackung“ in den Ausbildungsberufen statt.

Die Experten waren sich jedoch uneins, was wirklich bei den jeweiligen Ausbildungsberufen an Inhalten wegfallen kann. Es soll zwar auf die Grundausbildung in den Metall- und Elektroberufen nicht verzichtet werden, jedoch wurde hier klar eine stärker prozessorientierte und an den Anforderungen der beruflichen Arbeitswelt orientierte Ausrichtung gefordert. Eine mechatronisch und zugleich produktionsorientiert ausgerichtete Grundbildung ist bei allen Ausbildungsberufen eine notwendige Zielsetzung, ohne die eine Rücknahme der Überfrachtung der Berufsbilder kaum gelingen kann.

Auszubildende in den M+E-Ausbildungsberufen bringen häufig zu wenige Grundfertigkeiten mit

In den Fallstudien wurde immer wieder hervorgehoben, dass neu eingestellte Auszubildende über keine manuellen Grundfertigkeiten verfügen und teils auch mathematische Grundkenntnisse nicht mehr mitbringen. Zur Kompensation dieses Mangels führen Unternehmen „Maschinenkurse“ oder „Training im Umgang mit Handwerkszeug“ ein, um diesen Mangel zu kompensieren. Weil diese Kompensationsphase meist auf mehrere Wochen angelegt ist, wird dadurch das Problem der Überfrachtung der Ausbildung verstärkt. Ein Beitrag zur Problemlösung besteht darin, das Training der Handfertigkeiten bereits projektorientiert zu gestalten oder in Verbindung mit technischen Gegenständen durchzuführen, die produktionsrelevant sind.

Die zunehmende Heterogenität der Auszubildenden legt auch eine Einbeziehung von zweijährigen Berufen bei Überlegungen zu einer Neuausrichtung der M+E-Ausbildung nahe sowie eine Weiterbildung des Ausbildungspersonals für die damit verbundenen Anforderungen. Auch gilt es die bestehenden Unterstützungsmaßnahmen im Rahmen der Ausbildung von Menschen mit Benachteiligung oder mit Behinderung zu überprüfen und bei Bedarf mit spezifischen Angeboten für eine digitale Arbeitswelt in der M+E-Industrie zu ergänzen.

Ausbildungsstrukturen sind neu zu denken

In den Ausbildungsabteilungen von großen Unternehmen dominieren häufig immer noch die klassischen Lehrwerkstätten mit oft wenig konkreten Arbeitsprozessbezügen. Weder bei der Ausstattung noch in der Qualifizierung des Ausbildungspersonals konnte bei den meisten untersuchten Fällen ein Paradigmenwechsel identifiziert werden, mit der Folge, dass sich eine merkliche Kluft zwischen Ausbildungsabteilungen und den betrieblichen Anforderungen herausbildet. In einigen Unternehmen waren zwar Veränderungen mit einer prozessbezogenen, projektorientierten und teilweise berufsübergreifenden Gestaltung der Ausbildung zu erkennen, jedoch ist die Diskrepanz zwischen den Anforderungen der Arbeitswelt und der Ausbildung immer noch viel zu groß. Die Ausbildungsstrukturen sind überwiegend nach den tradierten Ausbildungsbereichen der Metall-, Elektro- und IT-Berufe strukturiert und darüber hinaus nach den ebenso tradierten Strukturen der Ausbildungsinhalte wie manuelle und CNC-gestützte Zerspanung, Montage, Steuerungstechnik, elektrische Grundschaltungen, Programmieren etc., anstatt die produktionsorientierten Aufgabenstellungen in den Mittelpunkt zu stellen.

Pädagogische und didaktische Qualifizierung des Ausbildungspersonals hält nicht überall Schritt mit den zukünftigen Qualifizierungserfordernissen

Der Umgang mit dem digitalen Wandel in betrieblichen Bildungsprozessen dokumentiert deutlich, dass der vom Ausbildungspersonal antizipierte Nutzen des Einsatzes digitaler Medien und auch digitaler Werkzeuge/Tools nach wie vor mit dem klassischen Verständnis der Verfügbarmachung und dem Erläutern von Inhalten korrespondiert. Eine flexible Ausbildungsgestaltung mit anderen Methoden und einer veränderten Didaktik, welches unter anderem ein lebensbegleitendes, problemorientiertes, erfahrungsbasiertes sowie eigenverantwortliches Lernen der Auszubildenden fördert, waren nur selten in den Untersuchungen zu erkennen. Das Bildungspersonal besitzt bisher bis auf wenige Ausnahmen nicht ausreichende fachdidaktische Kompetenzen, um auf die Produktion ausgerichtete Lernaufgaben in digitalen Lernarrangements zu konzipieren oder zu organisieren. Vor allem fehlt es in diesem Zusammenhang an einer Überwindung der themenorientierten Gestaltung der Ausbildungsumgebungen. Nur in Einzelfällen war das Bildungspersonal imstande, Ideen für die Integration von (digital durchdrungenen) Prozessen und Systemen in das Ausbildungsgeschehen umzusetzen. Die Ausbildungsbereiche sind zur Zeit noch überwiegend disziplinär ausgerichtet (Metall/Elektro/IT) und ebenso das Ausbildungspersonal.

Die Berufsschulen werden in ihrer Rolle und Bedeutung für die Bewältigung und Gestaltung der digitalen Transformation deutlich unterschätzt

Die Berufsschulen sind formal in und an der Umsetzung der kZQ nicht beteiligt. Die quantitativen und qualitativen Ergebnisse zeigen jedoch, dass hier ein deutliches Signal von einigen Unternehmen geäußert wird, die Berufsschulen stärker an den neuen Ausbildungsinhalten der digitalen Transformation zu beteiligen. Eine Beteiligung vor allem für Zukunftsthemen und für die Bewältigung wissensintensiver Herausforderungen der Digitalisierung wird von den Betrieben im Rahmen der dualen Ausbildung gefordert. Die Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass viele Berufsschulen bereits mehr oder weniger intensiv an der Qualifizierung zu den Zusatzqualifikationen beteiligt sind, auch ohne formal eine Zuständigkeit für die kZQ zu besitzen.

In einigen Bundesländern gibt es aktuell Förderinitiativen zur Ausstattung von Lernräumen (Lernlaboren und Lernfabriken) und der didaktischen Qualifizierung der Lehrkräfte der beruflichen Schulen im Kontext der Entwicklungen und Anforderungen von Industrie 4.0 und künstlicher Intelligenz. Ebenso engagiert sich hier das Netzwerk Q 4.0, das vom Bundesbildungsministerium gefördert und vom IW gemeinsam mit den Bildungswerken der Wirtschaft umgesetzt wird, bei der Entwicklung und beim Angebot von Trainings für das Berufsbildungspersonal, um dieses für den digitalen Wandel zu qualifizieren. Die vorhandenen Initiativen wirken sich bislang aber noch zu wenig systematisch auf eine Qualitätsverbesserung der Berufsausbildung aus, weil es keine strukturelle und umfassende Berücksichtigung der Berufsschulen gibt. Die vielfältigen Herausforderungen legen es nahe, die Berufsschulen als kompetenten Partner in zukünftige Entscheidungen und Umsetzungsinitiativen verantwortlich mit einzubinden, um die regionalen Verbände zu stärken. Diese Zusammenarbeit lebt dabei von der Beteiligung der Lehrkräfte. Hier bieten sich Anreizsysteme an, die es aktiven Lehrkräften ermöglichen entsprechendes Engagement als Teil ihrer regulären Arbeitszeit einzubringen.

Innovationen in der Ausbildung werden zu wenig gefördert und umgesetzt

Innovationen in der Ausbildung konnten am deutlichsten identifiziert werden, wenn der Ausbildungsbe-
reich ganz neu gedacht wurde. Es waren einige Konzepte sichtbar, die vom Beginn der Ausbildung an eine projektartige und prozessnahe Ausrichtung hatten, um die Auszubildenden frühzeitig an die Anforderungen einer digitalisierten Arbeitswelt heranzuführen. Dass in diesem Zusammenhang Innovationen

so gut wie nicht ohne Einbindung der betrieblichen Abteilungen umzusetzen sind, zeigen alle untersuchten Fälle. Die zentrale Ausbildungswerkstatt kann ohne die betrieblichen Abteilungen die durch die Digitalisierung hervorgerufenen Qualifikationsanforderungen nicht abbilden oder nur mit einem sehr großen Aufwand, den sich nur wenige Unternehmen personell und finanziell leisten können. Erfolgreicher sind solche Ausbildungsmodelle, in denen Auszubildende produktionsnahe Aufgabenstellungen zu bewältigen haben und dafür stärker projektbezogene Rahmenbedingungen für das Lernen vorfinden.

Die empfohlenen Handreichungen für die Teilnovellierung der M+E-Berufe waren oftmals in den Unternehmen überhaupt nicht bekannt oder wurden für eine Umsetzung als nur bedingt nutzbar eingeschätzt. Sie bilden meist allein technische, nicht aber die betrieblichen Herausforderungen ab. Beispiele sind hier etwa die in der Allgemeinbildung immer stärker aufkommenden Arduino-Projekte oder technische Projekte zur Robotik, zu Netzwerken oder zur Steuerungstechnik. Insbesondere die System- und die Prozessintegration sind für die Unternehmen nur schwer für die Ausbildung greifbar.

Innovative Gestaltung von Berufen und Berufsbildern

Expertengespräche verdeutlichten eine „innovative Kluft“ in der Gestaltung der Ausbildung zwischen großen, mittleren und kleinen Unternehmen. Laut Aussagen von Experten (vgl. Experten 01, 02, 04, 05, 11 und 12) haben viele kleine und mittlere Unternehmen Probleme, mit den Veränderungen durch die Digitalisierung umzugehen. Dieser Sachverhalt wird durch regionale Unterschiede noch verstärkt. Größere Unternehmen wollen hingegen Innovationen in der Produktion und Ausbildung zugleich vorantreiben. Diese Kluft zwischen kleinen und größeren Unternehmen führte dazu, dass höhere Innovationsansprüche bei der Gestaltung von Berufsbildern in der Teilnovellierung 2018 zurückgestellt wurden. Für Großunternehmen, die an einer innovativen Ausbildung interessiert sind, hatte dieses zur Konsequenz, die Ausbildung in der Umsetzung so zu gestalten, dass sie deutlich über die „Standardanforderungen hinaus ausbilden“ (Experte 04). Die skizzierte innovative Kluft wird in vielen Fällen noch durch die Berufsschulen verstärkt, wenn sie mangels qualifizierten Personals die notwendige Fachlichkeit nicht mehr vermitteln können (mehrere Experten).

Es stellt sich die Frage, welche Bedeutung innovative Berufsbilder haben, wenn sowohl mittelständische Unternehmen als auch Berufsschulen diese nicht umsetzen können. Ein Experte fasste den momentanen Sachverhalt in zwei Thesen zusammen (vgl. Experte 04):

- (1) *„Die Ausrichtung der Berufsbilder auf mittlere und kleine Unternehmen trägt dazu bei, den Status quo zu zementieren und Innovationen zu verhindern“!*
- (2) *„Berufsbilder technologisch nach unten zu nivellieren liefert keine Herausforderung für Innovationen in der Ausbildung“!*

Die Frage ist, wie diese Situation überwunden werden kann. Wird angenommen, dass mit Hilfe der Ausbildung eine gewisse Innovations- und Gestaltungskompetenz in allen beteiligten Unternehmen gefördert werden soll, um die digitale Transformation erfolgreich von der Ausbildung in die Arbeitspraxis zu „transportieren“, dann erfordert dieses an erster Stelle die Gestaltung innovativer Berufe und anspruchsvoller Berufsbilder. Konsequenz aus dieser Zielsetzung müsste es dann sein, deren Umsetzung massiv voranzutreiben und zu flankieren. Das bedeutet, dass vor allem Berufsschulen, aber auch Bildungszentren (vgl. Experte 01 und 03) intensiv für diese Umsetzungsaufgabe zu qualifizieren sind. Lehrkräfte und Ausbilder sind qualitätsorientiert und sowohl fachlich als auch didaktisch-methodisch zu qualifizieren, mit den notwendigen Kompetenzen auszustatten und zur Umsetzung innovativer Berufsbilder zu befähigen. Die Ausstattung von Berufsschulen ist gründlich zu modernisieren und auf die Digitalisierung auszurichten. Die „Gründlichkeit“ muss vor allem auch in der Breite erreicht werden, denn die

bereits eingerichteten Lernfabriken und Kompetenzzentren schaffen es nicht, einen über den Modellcharakter hinausgehenden Innovationsschub in der Breite sicherzustellen. Es reicht auch nicht mehr aus, wenn sich Berufsschulen schlicht als Partner der Ausbildung verstehen. Berufsschulen, Bildungszentren, Betriebe, Sozialpartner und zuständige Ministerien sollten einen partizipativen Prozess einleiten (vgl. Experte 02), der eine innovative Umsetzung modernisierter Berufe und Berufsbilder sicherstellt. Berufsschulen und betriebliche Ausbildung sind in diesem Prozess eng zu verzahnen und die Berufsschule muss sich als kompetenter Lernort etablieren, der die betriebliche Ausbildung zielgerichtet unterstützen kann.

Die digitale Transformation umzusetzen gelingt nur mit den passenden Mitarbeitern

Die Vielfalt der eingesetzten Maßnahmen in den Fallstudien belegt, dass es für Entscheider in Unternehmen zu kurz gegriffen ist, nur die technologischen Möglichkeiten der digitalen Transformation zu betrachten und darauf alle Implementierungsschritte auszurichten. Vielmehr sind unter anderem das sozioökonomische System, die Produktionsweise, die Arbeitsorganisation, die Unternehmenskultur sowie die Führungskultur zu bedenken und einzubeziehen. Ein wichtiger Faktor ist dabei das Kompetenzniveau von Mitarbeitern. Ohne qualifizierte Mitarbeiter auf der Shopfloor-Ebene können die Anlagen nach wie vor nicht zuverlässig betrieben werden und auch die Implementierungsprozesse lassen sich nicht beschleunigen. Hier sollten Unternehmen bereits während der Ausbildungszeit zielorientiert investieren. Dass an dieser Stelle vielerorts noch Mangel besteht, belegt nachstehendes Zitat aus Fall 06:

„Obwohl sehr viele Auszubildende inzwischen wichtige Kompetenzen entwickelt haben, um in einem digitalisierten Umfeld zu arbeiten, gibt es noch viel zu wenige, die beispielsweise die Produktionsvernetzung vorantreiben (zum Beispiel Anbindung von CNC-Maschinen, Robotern, Brennschneidemaschinen und anderes an Industrienetze) und die ERP und MES-Systeme beherrschen“ (Gruppenleiter Digitalisierung).

9 Handlungsempfehlungen

Nachstehend werden verschiedene Handlungsempfehlungen aufgezeigt, um Berufsstrukturen, Ordnungsmittel und Ausbildungspraxis in Anbetracht der digitalen Transformation fortzuschreiben und weiterzuentwickeln. Es sollte mit Branchenexperten aus Verbänden und Unternehmen diskutiert werden, welche Handlungsoptionen für die innovative Weiterentwicklung der M+E-Ausbildung besonders zielführend sind. Dabei ist zwischen Standardisierung und Orientierung einerseits sowie Flexibilisierung und Individualisierung der Ausbildung andererseits abzuwägen.

9.1 Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“

Berufsbildposition Nr. 5 in operationalisierter Form umsetzen, damit diese Inhalte in den Lehrplänen und Ausbildungsordnungen sichtbar werden

Die Berufsbildposition Nr. 5 „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ sollte über die Aspekte der allgemeinen Datensicherheit sowie des Daten- und Urheberrechtsschutzes hinausgehen und stärker auf die berufsbezogenen Qualifikationen im Zusammenhang mit konkreten Tätigkeitsanforderungen ausgerichtet werden. Dies gelingt am besten, wenn die Formulierungen zur Berufsbildposition in den Ausbildungsordnungen und in den Ausbildungsrahmenplänen zukünftig stärker kompetenzorientiert ausgeführt werden und damit für Unternehmen und Berufsschulen einfacher operationalisierbar sind. Dafür sollten sich die Formulierungen stärker auf anforderungsbezogene berufliche Kompetenzen und berufliche Aufgaben beziehen und deutlich über den Charakter einer Präambel hinausgehen.

9.2 Kodifizierte Zusatzqualifikationen: Prüfung und Organisation

Das Instrument der kodifizierten Zusatzqualifikationen (kZQ) in der jetzigen Form abschaffen und durch veränderte Standards ersetzen, die auch Prüfungen betreffen und die Berufsschulen mit einbeziehen

Da die Prüfungsorganisation zu den kZQ und auch die Organisation der Ausbildungspraxis zu den Digitalisierungsanforderungen überwiegend nicht entsprechend der derzeitigen Vorgaben der Teilnovellierung gelingen und Prüfungen bislang so gut wie nicht genutzt werden, sollten folgende Fragen als Optionen geprüft werden:

1. Welche Inhalte der kZQ sollten als Standard in die Ordnungsmittel integriert werden?
2. Sollten die Prüfungen von kZQ grundsätzlich abgeschafft oder alternativ als Prüfungsform der betriebliche Auftrag empfohlen werden?
3. Wie könnte für die Organisation der Ausbildungs- und Prüfungspraxis eine systematische Beteiligung der Berufsschulen etabliert werden?

9.3 Kodifizierte Zusatzqualifikationen: Inhalte und Struktur

Schwerpunkte und Inhalte der Zusatzqualifikationen als Standard in der Ausbildung der M+E-Berufe verankern

Die Schwerpunkte und inhaltliche Ausrichtung der sieben kZQ stoßen auf vergleichsweise breite Zustimmung. Infrage gestellt werden die jeweilige Zuordnung zu einzelnen Berufen und die Konkretisierbarkeit

der Inhalte, weil die kZQ in den Betrieben überwiegend als Querschnittstechnologien verstanden werden und nicht als separat auszubildender Inhalt.

Empfohlen wird daher, die Inhalte der kZQ mit den einzelnen Berufen abzugleichen (beispielsweise auf Basis einer Deckungsanalyse) und dort als Standardinhalte in den M+E-Berufsbildern zu verankern, wo dies fachlich zwingend erscheint. In diesem Falle wären die Ausbildungsstrukturen und die Struktur der Berufe komplett neu zu denken und zu überarbeiten, um die nötige Flexibilität bei der Qualifizierung beizubehalten (vgl. Handlungsempfehlung 9.4 und 9.6).

Zusatzqualifikationen als Instrument der Weiterbildung nutzen

Der mit der Digitalisierung verbundene Transformationsprozess belegt eindrucksvoll, dass berufliche Aus- und Weiterbildung in einer engen Verbindung stehen müssen. Die durch die Zusatzqualifikationen definierten sieben Schwerpunktthemen geben einen ausgezeichneten Rahmen auch für passende Weiterbildungsschwerpunkte von bereits ausgebildeten Fachkräften ab.

Es wird daher empfohlen, auf der inhaltlichen Basis der kZQ Weiterbildungsprofile für Fachkräfte zu definieren und diese über Weiterbildungsträger anzubieten und zu zertifizieren. Über die jeweils geeignete Organisationsform des Angebots und die methodische Ausrichtung wäre noch zu entscheiden. Es sollten dabei auch innovative Weiterbildungskonzepte in Form von Blended-Learning-Angeboten sowie Online-Lernformen unter Einbezug von Lernplattformen und Austauschformaten für die Lernenden berücksichtigt werden.

9.4 Ausbildungsstrukturen, Lernorte und Lernkonzepte

Grundbildung stärker an typischen Arbeitsprozessen ausrichten

In der betrieblichen Ausbildung dominieren in mittleren und größeren Unternehmen häufig nach wie vor die Organisation in Ausbildungsabteilungen und eine themenzentrierte Struktur von Lernräumen, wie beispielsweise spezifische Räume für Metallbearbeitung, Pneumatik, Hydraulik, CNC, Robotik etc. Alternativ oder zusätzlich wird häufig nach Ausbildungsberufen strukturiert. Den Anforderungen der vernetzten Arbeitswelt wird diese Struktur nicht gerecht, weil keine Querverbindungen über die Technologien hinweg in der Ausbildung hergestellt werden und damit der Zugang zu mechatronischen Systemen eingeschränkt wird.

Empfohlen wird eine noch stärkere Ausrichtung der Ausbildung auf Arbeitsprozesse und mechatronische Systeme, um das Beherrschen vernetzter Anlagen sowie die berufs- und domänenübergreifende Qualifizierung und Zusammenarbeit besonders zu fördern. Die Funktion und Gestaltung der verschiedenen Lernräume ist dieser disziplinübergreifenden Ausrichtung anzupassen. Idealerweise werden dabei der duale Lernortpartner Berufsschule (vgl. Empfehlung 9.10), etwa im Rahmen einer Lernfabrik, oder andere Lernorte für KMU verbindlich in die Ausbildung mit einbezogen.

Lernorte für eine bessere Kompetenzentwicklung stärker vernetzen

Die Lernorte sind im Sinne eines umfassenden Ansatzes zu einer Lerninfrastruktur zu vernetzen. Dadurch sollen die Prozesse der Kompetenzentwicklung und -anpassung optimiert werden. Durch diese Vernetzung sind unterschiedliche Lernformen, Unterstützungsformen und Verhältnisse von Lernen und Arbeiten zu realisieren sowie verschiedene Erfahrungsmöglichkeiten (beispielsweise Arbeitsplatz, Lernfabrik, Online-Community und Schulungsraum) intelligent miteinander zu verknüpfen.

Durch (neue) Konzepte zur Verschränkung von Arbeits- und Lerninfrastrukturen kann die Kompetenzentwicklung der Beschäftigten gezielter gefördert werden. Es geht um die Entwicklung eines innerbetrieblichen Kooperationsgeflechts von Lernorten, wobei auch die Verknüpfung von Lernorten in einem Betrieb mit Lernorten von Weiterbildungsanbietern mitgedacht wird.

Arbeitsplatzbedingungen lernförderlich gestalten

Um den raschen technischen Veränderungsprozessen und der damit einhergehenden Wissensdynamik nicht nur unter den aktuellen Eindrücken, sondern auch zukünftig gerecht zu werden, da die Digitalisierung als ein „auf Dauer gestellter Prozess“ (Bolte/Neumer, 2021, 88) zu verstehen ist, erscheinen Lernarrangements, die durch räumliche Trennung vom Arbeitsplatz und eine starke Vorstrukturierung von Vermittlungsprozessen gekennzeichnet sind, nur bedingt geeignet zu sein (vgl. Rebmann, 2019, 404 f.). Durch die dynamischen und tiefgreifenden Veränderungsprozesse infolge der Digitalisierung ergibt sich die Chance, arbeitsintegriertes Lernen noch stärker in der betrieblichen Weiterbildung zu verankern.

9.5 Gestaltung von Angeboten durch Weiterbildungsdienstleister

Angebote für Geringqualifizierte schaffen

Die Ergebnisse der Untersuchung der Angebote der Bildungsanbieter zeigen, dass es kaum Veranstaltungen gibt, die sich spezifisch an Geringqualifizierte auf der Shopfloor-Ebene richten. Ob dies an mangelnder Nachfrage oder anderen Lernbedürfnissen liegen könnte, wäre zu klären. Die Arbeit mit digitalen Medien und neuen Technologien wird in Zukunft deutlich zunehmen und zu einem konstitutiven Bestandteil digitaler Arbeit werden. Zudem zeichnen sich durch neue Aufgabenzuschnitte weitere Veränderungen der Anforderungen ab, denen sich auch geringqualifizierte Beschäftigte stellen müssen. Ein erster Schritt könnte es sein, sie im Rahmen von niederschweligen, arbeitsplatznahen Angeboten für die Veränderungen der Arbeitswelt infolge der Digitalisierung zu sensibilisieren und Erfordernisse für eine Weiterentwicklung deutlich zu machen.

9.6 Struktur der Ausbildungsberufe

Industriemechatronik zum Leitbild bei den M+E-Berufen machen

Es ist keine erfolversprechende Strategie, metalltechnische, elektrotechnische oder auch informationstechnische Qualifikationsprofile mit jeweils komplementären Inhalten der anderen Domänen zu ergänzen. Dies führt zu einer Überfrachtung der Ausbildungsinhalte und verfehlt das Ziel der Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz für die mechatronischen Herausforderungen. Ziel sollte vielmehr die Entwicklung eines neuen Qualifikationsprofils **Industriemechatronik** sein, in der sich mehrere Domänen und vorhandene Berufe vereinen, um eine breitere Basisqualifikation in den Industrieberufen zu schaffen und eine Spezialisierung entsprechend der Handlungsfelder der Produktion im zweiten Schritt oder in einer zweiten Ausbildungsphase zu ermöglichen.

Die generischen Handlungsfelder Industrie 4.0 können mit sinnvollen Zusammenfassungen zu zentralen beruflichen Handlungsfeldern für die Strukturgebung genutzt werden. Dazu ist eine Abkehr von der Differenzierung nach Technologiefeldern erforderlich, deren Kennzeichnung die Integration der metalltechnischen, elektrotechnischen und informationstechnischen Inhalte in den M+E-Berufen ist. Differenzierungen und damit auch Spezialisierungen entstehen dann künftig entsprechend der unterschiedlichen Handlungsbereiche in den Unternehmen. Die M+E-Ausbildungsberufe könnten so die Herausbildung einer starken beruflichen Identität unterstützen, indem sie auf zentrale Tätigkeiten der Erwerbsberufe wie „Instandhalten“ oder „Fertigen“ ausgerichtet sind. Dies könnte zugleich in der Berufsorientierung hilfreich sein, wenn einheitlicher für die dann gestärkte Marke der Industriemechatronik bei zugleich stärkerer Flexibilisierung und Individualisierung der Ausbildungswege geworben werden kann.

M+E-Berufe sowie IT-Berufe stärker auf die „mechatronischen“ Anforderungen in der Produktion ausrichten

Kernqualifikation neugestalteter M+E-Berufe ist das Produzieren, Fertigen, Instandhalten, Herstellen und Optimieren technischer Systeme unter Zuhilfenahme digitalisierter Werkzeuge, Methoden und Arbeitsorganisationsformen. Die Berufe haben es in den Unternehmen bereits durchgängig mit mechatronischen Produkten und Produktionsweisen zu tun. Dazu benötigen alle Fachkräfte eine industriespezifisch ausgerichtete elektrotechnische Ausbildung, die als „Elektrofachkraft Industrie“ gekennzeichnet werden kann. Als Vorbild kann hier der zurückliegende Wandel im Berufsfeld „Fahrzeugtechnik“ dienen, bei dem die Weiterentwicklung von Automobilmechanikern, Kfz-Mechanikern und Kraftfahrzeugelektrikern zu Kraftfahrzeugmechatronikern zu einem eigenständigen mechatronischen Berufsbild gelungen ist.

Die jeweils berufsspezifisch vorhandene Profilschärfung in den Berufsfeldern Metalltechnik, Elektrotechnik und Informationstechnik sichert die notwendige domänenspezifische Kompetenzprofilierung ab. Um diese aber auf die Produktionsherausforderungen auszurichten, muss eine mechatronisch geprägte Grundausbildung oder Basisqualifizierung „von der Produktion“ her gedacht sein.

Strukturmodell der M+E-Berufe so gestalten, dass eine breite mechatronische Grundbildung mit einer rechtzeitigen und zugleich flexibleren Profilierung für Digitalisierungsherausforderungen möglich wird

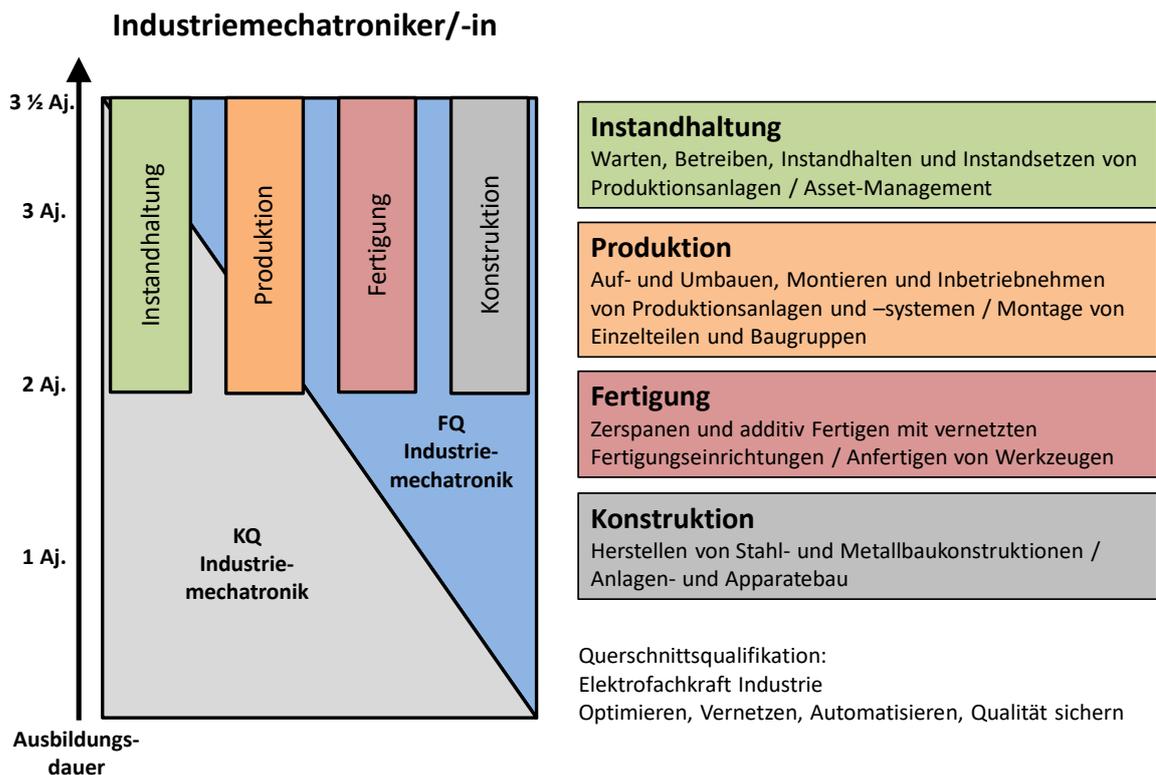
Das vorhandene Strukturmodell der M+E-Berufe ist durch gemeinsame Kernqualifikationen (KQ) und berufliche Fachqualifikationen (FQ) sowie Einsatzgebiete gekennzeichnet. Formal betrachtet handelt es sich bei den einzelnen Industrieberufen um Monoberufe. Die Einsatzgebiete führen kaum zu prüfungsrelevanten inhaltlichen Differenzierungen. Die Struktur der Kern- und Fachqualifikationen hat sich in der Praxis bewährt; die Einsatzgebiete am Ende der Ausbildung ergeben sich eher aus den unternehmensspezifischen Ausrichtungen, ohne dass diese eine nennenswerte Auswirkung auf die gesamte (vorherige) Ausbildungspraxis haben.

Die ursprünglich mit Hilfe der Zeitrahmen angestrebte Verknüpfung der Kern- und Fachqualifikationen ist in den untersuchten Unternehmen nur selten in der Ausbildungspraxis anzutreffen gewesen. Es überwog eher eine sequenzielle Ausbildung zu zunächst Kern- und im Anschluss daran zu Fachqualifikationen im Sinne von „zuerst metalltechnische Handlungsfähigkeiten ausbilden“ oder „zuerst elektrotechnische Handlungsfähigkeiten ausbilden“ bei anschließender Anwendung in betrieblichen Handlungsfeldern. Die allein über die Verknüpfung der Kern- und Fachqualifikationen herzustellende Differenzierung zeigt sich

angesichts der mechatronisch geprägten und auf die Produktion auszurichtenden Qualifikationen als hinderlich.

Abbildung 35: Empfehlung einer durchgängigen Berufsstruktur „Industriemechanik“

Berufsstruktur Industriemechanik



Quelle: eigene Darstellung

Es ist daher eine stärker profilgebende Strukturierung zu empfehlen, wobei die Eckwerte einer solchen Profilierung geprägt sind durch (vgl. Abbildung 35)

1. eine industriemechanisch ausgerichtete Grundbildung in der Struktur aus Kern- und Fachqualifikationen;
2. eine in Zeiträumen flexibel gefasste Sequenzierung der Ausbildung in Form von Aufgaben in den beruflichen Handlungsfeldern;
3. eine Etablierung der profilgebenden Handlungsfelder „Instandhaltung“, „Produktion“, „Fertigung“ und „Konstruktion“ oder weiteren Feldern als Strukturmerkmal der M+E-Berufe, die bei Bedarf auch erst im Verlauf der Ausbildung gewählt werden.

Die Zeiträumenmethode für die zeitliche Gliederung der Ausbildung ließe sich bei einer systematischen Abstimmung zwischen betrieblicher und berufsschulischer Ausbildung stärker für eine anzustrebende Kompetenzorientierung in der Ausbildung nutzen.

Darüber hinaus sollten wie oben empfohlen die Elektrofachkraft Industrie beziehungsweise Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten, eine optimierte Qualitätssicherung, die Berufsbildposition Nr. 5 (vgl. 9.3) und die anwendungsorientierte Programmierung (vgl. 9.6) als Querschnittsqualifikation in den M+E-Berufen integriert werden. Dies gilt ebenso für Automatisierungs- und Vernetzungsaufgaben, die dann natürlich profilspezifisch oder berufsspezifisch unterschiedlichen Tiefgang haben sollten.

Bei einer Neustrukturierung ist zudem darüber nachzudenken, ob über das Etablieren eines Berufsbilds „Industriemechatronik“ die schwach bis wenig nachgefragten Berufsprofile Produktionstechnologe/-in sowie Fertigungsmechaniker/-in in einem solchen neuen Beruf aufgehen können und ob eine Anschlussfähigkeit oder gar Konzentration unter Einschluss der Berufsprofile Maschinen- und Anlagenführer/-in und Mechatroniker/-in möglich erscheint.

Ein Beruf Industriemechaniker/-in mit Differenzierungen nach relevanten betrieblichen Handlungsfeldern hätte auch Vorteile für die Prüfungsgestaltung. Einheitliche Prüfungsregelungen und flexibel ausgestaltete Prüfungsinhalte, bei denen die Handlungsfelder zum Tragen kommen, ließen sich etablieren und die Prüfungsorganisation vereinfachen.

Flexibilität und Ausrichtung der M+E-Berufe sowie des Berufs Mechatroniker/-in prüfen

Im Falle einer Neuordnung der M+E-Berufe mit Veränderung der Berufsstruktur könnte eine Erhöhung der Flexibilität erreicht werden. Es ist zu empfehlen, die Anzahl der in der M+E-Industrie ausgebildeten Berufe deutlich zu reduzieren und im Rahmen einer auf die Industriemechatronik ausgerichteten Ausbildungsstruktur eine flexible Ausrichtung auf relevante Tätigkeitsbereiche der Unternehmen beziehungsweise berufliche Handlungsfelder vorzusehen. Insbesondere in den Workshops wurde der Anspruch an eine höhere Flexibilität geäußert und zugleich eine umfassende Handlungsfähigkeit im Beruf eingefordert. In der folgenden Empfehlung werden Hinweise zu notwendigen Strukturveränderungen gegeben.

Inhaltliche und zeitliche Flexibilität des Berufsstrukturkonzepts prüfen

Ein neu ausgerichtetes M+E-Berufsstrukturkonzept könnte noch mehr inhaltliche und zeitliche Flexibilität für Unternehmen und Auszubildende ermöglichen. Zum einen, indem Anschlussmöglichkeiten für leistungsschwächere Ausbildungsplatzbewerber geschaffen werden, die bislang überwiegend in den Ausbildungsprofilen Maschinen- und Anlagenführer/-in, Fachkraft für Metalltechnik oder Industrieelektriker/-in ausgebildet werden. Zum anderen, indem die profilgebenden Handlungsfelder erst während der Ausbildung gemeinschaftlich zwischen Auszubildenden und Ausbildungsbetrieb definitiv festgelegt werden, etwa am Ende des ersten oder zweiten Ausbildungsjahrs. Eine Orientierung an den individuellen Stärken, Neigungen und sich entwickelnden Interessen der Auszubildenden im Ausbildungsprozess sowie am sich zwischenzeitlich möglicherweise verändernden betrieblichen Bedarf wird ermöglicht, wenn die Kompetenzentwicklung von Beginn an auf Aufgaben in der Industriemechatronik ausgerichtet wird und die Profilierung der beruflichen Kompetenz für Montage- und Installationsaufgaben in der Produktion, bei Instandhaltungsaufgaben, Fertigungsaufgaben oder Aufgaben zur Herstellung von (Metall- und Elektro-)Konstruktionen im Zuge der Fachqualifikationen vorangetrieben wird.

Erneute Novellierung der M+E-Berufe im Zusammenspiel mit einer neuen Struktur der Berufe umsetzen

Eine Neuordnung der M+E-Berufe sollte die oben skizzierten Handlungsempfehlungen in ihrer Summe aufnehmen. Dies macht allerdings eine Berücksichtigung der folgenden Veränderungen notwendig:

- Die Ordnungsmittel der beiden dualen Partner sind stärker miteinander zu verzahnen.
- Die Kompetenzorientierung mit einer stärkeren Fokussierung auf systemische Aufgabenstellungen in der Produktion ist zu forcieren.
- Die Grundbildung ist mit einem Perspektivwechsel auf Industriemechanik neu auszurichten.
- Das Portfolio der Ausbildungsberufe ist auf die Aufgabenbereiche in der M+E-Industrie neu auszurichten (Anzahl und Struktur). Berufe sind eindeutiger für die beruflichen Handlungsfelder der Instandhaltung, der Produktion (Montage, Anlagen- und Maschinenbetreuung), der Fertigung und der Konstruktion auszubilden. Als gemeinsame Grundbildung sollte das Leitbild der „Industriemechanik“ dienen.
- Die Perspektive der Industriemechanik ist in alle relevanten Ausbildungsberufe zu integrieren.

9.7 Identifizierung notwendiger Ausbildungsinhalte und strukturelle Neuausrichtung zur Verhinderung der Überfrachtung der Ausbildung

Ausbildung von Beginn an prozessorientiert ausrichten

Die Überfrachtung der Ausbildungsberufe mit ständig neuen Inhalten sollte gestoppt werden; dazu ist die Grundstruktur der Berufsausbildung inhaltlich zu verändern (siehe oben) und die Ausbildung von Beginn an arbeitsprozessorientierter zu gestalten. Die Prozessorientierung kann nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn es gelingt, produktionsnahe Lernaufgaben zu konzipieren und das bestehende Denken in Lehrgängen und Kursen aufzugeben. Dies hat Konsequenzen für

- die Ausbilderqualifizierung in Meister- und Technikerschulen, bei Bildungsanbietern und Kammern sowie die Ausbildung von Lehrkräften in Universitäten und Studienseminaren,
- die Raumgestaltung,
- die methodisch-didaktische Ausrichtung der Ausbildung und
- die Auswahl und das Konzipieren von Lernaufgaben für die Auszubildenden.

Grundbildung neu denken – von einfachen zu komplexen Aufgaben und Aufbau von Erfahrungswissen

Die bislang noch in den meisten Unternehmen existente metalltechnische, elektrotechnische und informationstechnische Grundbildung sollte zugunsten einer spiralförmig zunehmenden Komplexität von Ausbildungsaufgaben umgebaut werden. Die empirischen Erhebungen zeigen auch, dass in Bezug auf den Einsatz von Facharbeitern in vernetzten und nicht vollständig automatisierten Produktionsanlagen von einem Bedeutungszuwachs des beruflichen Erfahrungswissens ausgegangen werden kann. Ursache dafür ist die nach wie vor vorhandene Fehleranfälligkeit von vernetzten Systemen. Um berufliches Erfahrungswissen (also Kenntnisse über konkrete Abläufe, über die Zusammenhänge von Arbeitsprozessabläufen, über systematisch nicht erfassbare Eigenschaften von Anlagen sowie Produktionsabläufen) aufzubauen, wird empfohlen, zur Entwicklung der notwendigen Kompetenzen bereits in der beruflichen Erstausbildung anzusetzen.

Ein spiralcurricularer Ansatz, der berufliche Aufgaben (und nicht Themen oder allein Wissen) mit sich thematisch wiederholenden und dabei vertiefenden und verbreiternden Lernerfahrungen im Sinne zusätzlicher Komplexität strukturiert, erleichtert die Konzentration auf betrieblich und lebensweltlich relevante Ausbildungsinhalte und fördert damit gezielt den Erfahrungsaufbau.

Programmieren und weitere Digitalisierungskompetenzen von den Aufgaben in der Produktion her denken

Die Aufnahme von Aspekten der Medienkompetenz, der IT-Sicherheit und vor allem der Programmierung in die Ausbildung, tragen zu deren Überfrachtung bei, wenn sie zusätzlich ausgebildet werden. Stattdessen ist zu empfehlen, diese Aspekte in jeder Ausbildung integriert zum Tragen zu bringen. Vor allem für die metalltechnischen, aber auch für die elektrotechnischen Ausbildungsberufe, ist das „Programmieren“ in seinen Grundzügen fest in den Ausbildungsordnungen zu verankern, wobei für eine erfolgreiche Umsetzung ein neuer Charakter des Programmierens etabliert werden muss. Im Zentrum darf dabei nicht die Programmierung einer spezifischen Hochsprache wie C, Java oder Python stehen, weil das kaum mehr den beruflichen Anforderungen entspricht. Es wird vielmehr empfohlen, eine Programmierlogik in Anwendungskontexten und anhand typischer eingesetzter Werkzeuge in der Produktion zu erlernen. Die sich etablierenden softwaretechnischen Produktionsumgebungen wie das TIA-Portal und aufgabenbezogene Low-Code- und No-Code-Programmierungsansätze sollten dabei systematisch in die Ausbildung aufgenommen werden. Diese Ansätze erleichtern auch bereits die Zugänge zum Programmieren erheblich.

9.8 Prüfungen

Prozess- und Systemintegration als Aspekt des betrieblichen Auftrags prüfen

Der betriebliche Auftrag zeigt sich als geeignete Prüfungsform, um den wichtigen Aspekt der System- und Prozessintegration abzufragen (siehe Fall 09). Es ist daher zu empfehlen, diese Prüfungsvariante zu präferieren und in der Umsetzung gezielt zu fördern. Für die Prüfungsform „praktische Arbeitsaufgabe“ sind den Erfahrungsberichten dieser Studie folgend deutliche Verbesserungen anzuraten. Die Themenstellungen der Digitalisierung und der kZQs sind mit der Prüfungsform „praktische Arbeitsaufgabe“ (nach PAL) bisher nicht adäquat abprüfbar.

9.9 Neues Lernen und Qualifizierung von Ausbildern

Ausbilder intensiver für den digitalen Wandel qualifizieren

Ausbilder und Lehrkräfte an Berufsschulen müssen dazu befähigt werden, zum einen die systemische Bedeutung der vernetzten Produktion von Industrie 4.0 mit und an mechatronischen Systemen nachzuvollziehen und zum anderen die Möglichkeiten digitaler Lernmedien vollständig zu nutzen. Ausbilder benötigen ein ausreichendes Zeitbudget, um sich kontinuierlich im digitalen Wandel weiterbilden zu können. Dies sollte als fester Bestandteil der betrieblichen Lernkultur und im betrieblichen Qualitätsmanagement verankert werden. Es braucht sowohl im Unternehmen im Allgemeinen aber auch in der Ausbildungsabteilung im Speziellen richtige Mindset, d.h. ein chancenorientierter Umgang mit digitalen Themen, und eine kontinuierliche Weiterbildungskultur im Unternehmen.

Qualifizierungsangebote für Ausbilder noch stärker auf Lernprozessbegleitung ausrichten

Hier sind gezielte Qualifizierungsangebote in Richtung einer veränderten Ausbildungsstruktur (Prozessbegleiter, Coaching, betriebliche und prozessbezogene Lernkultur) zu entwickeln und Förderkonzepte für die kleinen und mittleren Unternehmen zu forcieren, um neben- und hauptamtliches Ausbildungspersonal weiter zu qualifizieren. Es sind Weiterbildungskonzepte zu wählen, die die inhaltlichen Zusammenhänge mit Blick auf die pädagogisch-didaktische Aufgabe der Ausbilder erschließen und diese auf die Nutzung innovativer Lernformen, wie zum Beispiel den Einsatz von Blended-Learning-Konzepten, vorbereiten. Hierbei würden mehr Trainingsangebote helfen, bei denen Ausbilder konkrete Umsetzungskonzepte für die eigene betriebliche Ausbildungstätigkeit vernetzt mit anderen erarbeiten. Potenziale für eine intensivere Lernortkooperation liegen hier auch in einem gemeinsamen Lernen mit Lehrkräften von Berufsschulen und anderen Lernorten.

9.10 Rolle der Berufsschulen stärken

Rolle und Bedeutung der Berufsschulen bei der digitalen Transformation stärken

Der Lernort Berufsschule und dessen Infrastruktur sowie die Kompetenzen der Lehrkräfte und des Managements sind professionell auszugestalten. Die Berufsschule muss ein Kooperationspartner für Unternehmen werden, der hohes Ansehen genießt und innovative Ausbildung betreibt. Berufsschulen sollten mit dem Umfeld eng verzahnt sein und in der Ausbildung nicht nur die theoretischen Grundlagen abdecken, sondern Lücken schließen, die sich in der betrieblichen Ausbildung auftun. Die Potenziale einer verstärkten Zusammenarbeit der dualen Partner zu nutzen, ist auch eine Empfehlung aus der „Evaluation der Novellierung der Metall- und Elektroberufe 2018“ und gilt als Prämisse vor einer gegebenenfalls weiteren Teilnovellierung (BIBB, 2021).

Die durch das Lernfeldkonzept etablierte Kompetenzorientierung sollte für die Umsetzung stärker genutzt werden. Bereits kurzfristig soll sich die Berufsschule zu einem Partner entwickeln, der als Förderer von Innovationen bei der Umsetzung modernster, auf Digitalisierung ausgerichteter Berufsbilder fungiert und gleichzeitig als Dienstleister für kleine und mittlere Unternehmen zur Verfügung steht. Das heißt konkret, dass die Berufsschule einen Status einnehmen sollte, der sie in die Lage versetzt, in enger Verzahnung mit den betrieblichen Partnern Ausbildungsinhalte zu übernehmen, wenn kleine Betriebe dazu nicht in der Lage sind, entsprechende Schwerpunkte allein abzudecken.

9.11 Innovationen in der Ausbildung vorantreiben

Innovationen in der Ausbildung stärker fördern

Ziel sollte es sein, Digitalisierungsschwerpunkte als neue Inhalte strukturell noch intensiver als Standard in der Ausbildung und Prüfung zu verankern. Der Umfang der Ausbildungsinhalte soll damit zeitlich nicht erweitert werden, um das Lehrstoff-Zeit-Problem nicht weiter zu verstärken. Notwendige Innovationen beziehen sich auf

- die strukturelle Zusammenarbeit der dualen Ausbildungspartner,
- die auf Digitalisierung ausgerichtete Ausbildungspraxis,
- die methodische Innovation im digitalen Wandel der Ausbildung,
- den Rollenwechsel des betrieblichen und berufsschulischen Ausbildungspersonals,
- die Kompetenzorientierung und Prozessorientierung sowie

- praxisgerechte Umsetzungshilfen.

Die in den letzten Jahren in erheblichem Ausmaß forcierten Fördermaßnahmen für die Ausstattung betrieblicher und überbetrieblicher Lernzentren und Lernfabriken sowie betrieblicher Akademien als interne Aus- und Weiterbildungsstätten entfalten dabei bislang zu wenig Wirkung für eine verbesserte Ausbildung in den M+E-Berufen. Hier sollten die oben genannten Punkte zusammenhängend betrachtet, integrativ umgesetzt und im Sinne von didaktischen Innovationen zur Unterstützung motivierender Lern- und Lehrmethoden herangezogen werden.

9.12 Ausbildung in KMU unterstützen

Partnerschaften für Zukunftsthemen stärker nutzen

Partnerschaften aus Betrieben und Berufsschulen sollten intensiviert werden, um die Ausbildung in anspruchsvollen Digitalisierungsfeldern und für wissensintensive Zukunftsthemen der Produktion mit mehr Systematik und damit nachhaltiger zu innovieren. Viele größere Betriebe, aber auch in den Betrieben angesiedelte Akademien, schulische und außerbetriebliche „Kompetenz- und Ausbildungszentren“, aber auch innovative KMU, sollten die Ausbildungsqualität in den KMU insgesamt erhöhen.

Konzepte dazu sind bereits punktuell in den untersuchten Betrieben identifizierbar, die von einer Verbundausbildung über die systematische Teilnahme an (firmeninternen) Schulungen bis hin zur Qualifizierung zu Spezialthemen reichen. Ein Ausbau dieser Aktivitäten soll in regionalen Kooperationen begleitet und im überregionalen Erfahrungsaustausch vorangetrieben werden. Didaktisch und methodisch ist dabei unbedingt eine große Nähe zu den betrieblichen Aufgabenstellungen und Abteilungen aufrechtzuerhalten und wo immer möglich, das Ausbildungsgeschehen arbeitsprozessorientiert oder -integriert auszugestalten.

Literaturverzeichnis

- Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2011): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION). Heidelberg: Springer Verlag.
- Acatech (2013a): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013. Frankfurt a. M.: acatech.
- Acatech (2013b): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main.
- Annen, S.; Paulini-Schlottau, H. (2009): Kodifizierte Zusatzqualifikationen in anerkannten Ausbildungsberufen. Erstmals im Ausbildungsberuf Musikfachhändler/-in umgesetzt. In: BWP 3/2009, 38. Jg., S. 23-26.
- AO – Ausbildungsordnung (2018a): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen vom 28. Juni 2018. Bonn: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 5. Juli 2018.
- AO (2018b): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Elektroberufen. Bonn: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 5. Juli 2018.
- AO (2018c): Bekanntmachung der Neufassung der Mechatroniker-Ausbildungsverordnung vom 28. Juni 2018. Bonn: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 5. Juli 2018.
- Appelfeller, W.; Feldmann, C. (2018): Die digitale Transformation des Unternehmens. Systematischer Leitfaden mit zehn Elementen zur Strukturierung und Reifegradmessung. Berlin: Springer-Gabler.
- AusbildungPlus (2022): Portal für duales Studium und Zusatzqualifikationen in der beruflichen Erstausbildung. <https://www.bibb.de/ausbildungplus/de/index.php?> (abgerufen am 09.02.2022).
- Autor, D.; Levy, F.; Murnane, R. J. (2003): The skill content of recent technological change: An empirical exploration. In: Quarterly Journal of Economics, Vol. 118, No. 4, pp. 1279-1333.
- Bauer, W.; Stowasser, S.; Mütze-Niewöhner, S.; Zanker, C., Brandl, K.-H. (Hrsg.) (2019): Transwork. Arbeit in der digitalisierten Welt. Stuttgart: Fraunhofer.
- Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Vieweg. Anwendung - Technologien – Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Baumhauer, M.; Meyer, R. (2021): Status quo der Chemieindustrie: Produktionsfacharbeit zwischen Tradition und digitaler Innovation. In: Journal of Technical Education, Band 9, Heft 1, pp. 113-127.
- bayme vbm Studie (2016) - Spöttl, G.; Gorltd, C.; Windelband L. et al.: Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E-Industrie, Hrsg. vom Bayerischen Unternehmensverband Metall- und Elektro e.V. (bayme) und vom Verband der Bayerischen Metall- und Elektro-Industrie e. V. (vbm), München. https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- Becker, M. (2019): Standards und Schnittstellen als Arbeitsgegenstand in Industrie 4.0-Kontexten. In: Spöttl, G.; Windelband, L. (Hrsg.): Industrie 4.0. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Becker, M. (2021): Von der Mediendidaktik zur Didaktik digitalisierter Arbeitsprozesse. In: lernen & lehren 2/2021, 36. Jg., Nr. 142, S. 55-59.
- Becker, M.; Spöttl, G. (2015): Berufswissenschaftliche Forschung. Frankfurt am Main: Lang Verlag.

- Becker, M., Spöttl, G.; Windelband, L. (2021): Künstliche Intelligenz und Autonomie der Technologien in der gewerblich-technischen Berufsbildung. In: Seufert, S.; Guggemos, J.; Ifenthaler, D.; Seifried, J.; Ertl, H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der beruflichen Bildung: Zukunft der Arbeit und Bildung mit intelligenten Maschinen?! Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 31, S. 31-54, Wiesbaden: Steiner.
- Becker, M.; Windelband, L. (2018): Zusatzqualifikationen – Herausforderungen von Industrie 4.0 damit meisterbar? In: lernen & lehren. Wolfenbüttel: Heckner, Heft 129, 33. Jg., S. 11-17.
- Berufsbildungsbericht (2021): Berufsbildungsbericht 2021. Bonn: BMBF.
- BIBB – Bundesinstitut für Berufsbildung (2005): Reform des Berufsbildungsrechts: Das Berufsbildungsge-
setz, Bonn. https://www.bibb.de/dokumente_archiv/pdf/pr_materialien_bbig.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- BIBB (2020): AusbildungPlus. Duales Studium in Zahlen 2019. Trends und Analysen. Bonn: BIBB.
- BIBB (2021): Ergebnisniederschrift zur zweiten Sitzung des Projektbeirates im Projekt 2.2.322. Evaluation der Zusatzqualifikationen und der neuen integrativen Berufsbildposition der M+E-Berufe und des Berufs Mechatroniker/-in. Bonn: BIBB.
- BMW Group (2018): Speedup. Das Bachelorstipendiatenprogramm. <https://www.th-deg.de/Studieninteressierte/Studienangebot/speedup.pdf> (abgerufen am 15.02.2022).
- Bolte, A.; Neumer, J. (2021): Grenzen der digitalen Technisierung – und wie Beschäftigte darauf reagieren (müssen). In: Lernen in der Arbeit. Erfahrungswissen und lernförderliche Arbeitsgestaltung bei wissensintensiven Berufen. Augsburg: Rainer Hampp, S. 85-102.
- Bovenschulte, M. (2020): Kognitive Assistenzsysteme. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Themenkurzprofil, Nr. 38.
- Burstedde, A.; Schirner, S. (2018): Digitalisierung und die Zukunft von Berufen, IW-Kurzbericht, Nr. 48, Köln.
- Burstedde, A.; Flake, R.; Jansen, A.; Malin, L.; Risius, P.; Seyda, S.; Schirner, S.; Werner, D. (2020): Die Messung des Fachkräftemangels. Methodik und Ergebnisse aus der IW-Fachkräftedatenbank zur Bestimmung von Engpassberufen und zur Berechnung von Fachkräftelücken und anderen Indikatoren, IW-Report, Nr. 59, Köln.
- Burstedde, A.; Hickmann, H.; Schirner, S.; Werner, D. (2021): Ohne Zuwanderung sinkt das Arbeitskräftepotenzial schon heute, IW-Report, Nr. 25, Köln.
- CHE – Centrum für Hochschulentwicklung (2021): Rund 2000 Studiengänge sind dual studierbar. Untersuchung: Duales Studium: Umsetzungsmodelle und Entwicklungsbedarfe. Untersuchung für den Bund. Erste Ergebnisse. CHE und fbb. <https://www.che.de/2021/rund-2000-studiengaenge-sind-dual-studierbar/> (abgerufen am 09.02.2022).
- Dengler, K.; Matthes, B. (2015): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt – Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, IAB-Forschungsbericht, Nr. 11, Nürnberg.
- Dengler, K.; Matthes, B. (2021): Folgen des technologischen Wandels für den Arbeitsmarkt. Auch komplexere Tätigkeiten könnten zunehmend automatisiert werden. IAB-Kurzbericht 13/2021.
- Deutscher Bundestag (2021): Zwischenbericht zur Wissenschaftlichen Studie „Duales Studium: Umsetzungsmodelle und Entwicklungsbedarfe“, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 19/31267, Berlin. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/312/1931267.pdf> (abgerufen am 10.02.2022).
- Dlugosch, G. (2021): Die Zukunft des Maschinenbaus liegt in Daten. In: VDI-Nachrichten, Nr. 44, 5. November 2021, S. 22-23.
- DMG MORI (2022): TULIP – Einfach zur papierlosen Fertigung. <https://de.dmgmori.com/produkte/digitalisierung/tulip?tax=438344> (abgerufen am 10.02.2022).

- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (Hrsg.) (2021): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Berlin. <https://www.e-fi.de/publikationen/gutachten> (abgerufen am 09.02.2022).
- Enquete-Kommission Berufliche Bildung in der digitalen Arbeitswelt (2021): Bericht der Enquete-Kommission Berufliche Bildung in der digitalen Arbeitswelt, Deutscher Bundestag Drucksache 19/30950, Berlin. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/309/1930950.pdf> (abgerufen am 09.02.2022).
- Euler, D.; Severing E. (2020): Nach der Pandemie: Für eine gestaltungsorientierte Berufsbildung in der digitalen Arbeitswelt. Eine Denkschrift. Gütersloh: Bertelsmann-Stiftung. https://www.bertelsmann-stiftung.de/index.php?id=5772&tx_rsmbstpublications_pi2%5bdoi%5d=10.11586/2020014&no_cache=1 (abgerufen am 08.02.2022).
- Forschungsbeirat (2021): Impulsbericht des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0. Industrie 4.0 – Forschung für die Gestaltung der Zukunft. München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Flake, R.; Meinhard, D.; Werner, D. (2019): Digitalisierung in der dualen Berufsausbildung: Umsetzungsstand, Modernisierungs- und Unterstützungsbedarf in Betrieben, in: IW-Trends, 46. Jg., Nr. 2, S. 1-20.
- Frey, C.; Osborne, M. (2017): The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? Technical Forecast Soc Chang 114, 1, pp. 254-280.
- Gartner, H.; Stüber, H. (2019): Arbeitsplatzverluste werden durch neue Arbeitsplätze immer wieder ausgeglichen. IAB-Kurzbericht, Heft 13 / 2019.
- Geis-Thöne, W. (2021): Mögliche Entwicklungen des Fachkräfteangebots bis zum Jahr 2040. IW-Report, Nr. 11, Köln.
- Gesamtmetall (2018): Metall- und Elektroberufe werden digital – Modernisierung der Ausbildung auf den Weg gebracht, Pressemitteilung vom 15.03.2018. <https://www.gesamtmetall.de/aktuell/pressemitteilungen/metall-und-elektroberufe-werden-digital-modernisierung-der-ausbildung-auf> (abgerufen am 08.02.2022).
- Gesamtmetall; VDMA; ZVEI; IG Metall (2018): Ausbildung und Qualifizierung für Industrie 4.0 – den Wandel erfolgreich gestalten – Handlungsempfehlungen der Sozialpartner. https://www.gesamtmetall.de/sites/default/files/downloads/basispapier_agiles_verfahren_ersand_17-03-28.pdf (abgerufen am 08.02.2022).
- Goos, M.; Manning, A.; Salomons, A. (2009): Job polarization in Europe. In: American Economic Review: Papers & Proceedings, Vol 99, No. 2, pp. 58-63.
- Herzog, L. (2019): Die Rettung der Arbeit. Ein politischer Aufruf. Berlin: Carl Hanser.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Wandel der Produktionsarbeit „Industrie 4.0“. https://ts.sowi.tu-dortmund.de/storages/ts-sowi/r/Dateien/Downloads/SozAP/38_AP-SOZ-38.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- Hirsch-Kreinsen, H.; Itterman, P.; Niehaus, J. (2018): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos.
- Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P. (2019): Drei Thesen zu Arbeit und Qualifikation in Industrie 4.0. In: Spöttl, G.; Windelband, L. (Hrsg.): Industrie 4.0. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Hirsch-Kreinsen, H.; Wienzek, T. (2019): Arbeit 4.0: Segen oder Fluch? In: Badura, B.; Ducki, A.; Schröder, H.; Klose, J.; Meyer, M. (Hrsg.): Fehlzeiten Report 2019. Springer Nature: Deutschland.
- Hofmann, S.; Ansmann, M.; Hemkes, B.; König, M.; Kutzner, P.; Joyce, S. L. (2020): AusbildungPlus. Duales Studium in Zahlen 2019. Trends und Analysen. Bonn: BIBB (Hrsg.).
- Hornberg, C.; Heising, J. P.; Solga, H. (2021): Fit für die digitale Arbeitswelt. Weiterbildung gering Qualifizierter scheitert an Strukturen am Arbeitsplatz. In: WBZ-Mitteilungen, Heft 171, S. 44-47.

- IHK Gesellschaft für Informationsverarbeitung (2022): Prüfungsstatistik der Industrie- und Handelskammer. <http://pes.ihk.de/> (abgerufen am 10.02.2022).
- Jeschke, S.; Richert, A.; Hees, F.; Stiehm, S.; Müller, S.; Platte, L.; Simon, L. (2018): Studie zu Beschäftigungsszenarien in der Automobilindustrie im Kontext der Digitalisierung. Endbericht: Handlungsempfehlungen zur zukunftsfähigen Gestaltung der Digitalisierungseffekte. Daimler AG: IG Metall, Gesamtbetriebsrat Daimler AG.
- Job Futuromat (2021): Werden digitale Technologien ihren Job verändern? <https://job-futuromat.iab.de/> (abgerufen am 10.02.2022).
- Kagermann, H.; Lukas, W. D.; Wahlster, W. (2011): Industrie 4.0. Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. In: VDI-Nachrichten, Nr. 13.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (Hrsg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.
- Kaufmann, A.; Zinke, G.; Winkler, F. (2021): Evaluation der Zusatzqualifikationen und der neuen integrativen Berufsbildposition der industriellen Metall- und Elektroberufe sowie des Berufs Mechatroniker/-in. Zwischenbericht. Bonn: BIBB.
- Kipar, S. (2021): Wo steht die Industrie 4.0 Forschung in Deutschland? Industry of things. Mission Manufacturing. 04.12.2021. <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-forschung-fuer-die-gestaltung-der-zukunft/> (abgerufen am 08.02.2022).
- Klös, H.-P.; Seyda, S.; Werner, D. (2020): Berufliche Qualifizierung und Digitalisierung. Eine empirische Bestandsaufnahme, IW-Report, Nr. 40, Köln.
- Kruppe, T.; Baumann, M. (2019): Weiterbildungsbeteiligung, formale Qualifikation, Kompetenzausstattung und Persönlichkeitsmerkmale. IAB-Forschungsbericht. <http://doku.iab.de/forschungsbericht/2019/fb0119.pdf> (abgerufen am 09.02.2022).
- Maas, R. (2021): Generation Lebensunfähig. Wie unsere Kinder um ihre Zukunft gebracht werden. München: Yes.
- Mercedes-Benz (2016): Daimler Integra Standards for Robotics. https://www.lbcg.com/media/downloads/events/607/D2_9_20_Ali_Akay_Daimler_AG_Mercedes_Benz_Trucks.1480425472.pdf (abgerufen am 16.02.2022).
- Müller, K.-H. (2018): Ausbildung und Qualifizierung für Industrie 4.0 – Teilnovellierung und Umsetzungshilfen. In: lernen & lehren. Wolfenbüttel: Heckner, Heft 130, 33. Jg., S. 72-78.
- Neuburger, R. (2016): Der Wandel der Arbeitswelt in einer Industrie 4.0. In: Obermaier, R. (Hrsg.) (2016): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Wiesbaden: Gabler, S. 589-608.
- Pahl, J.-P., Spöttl, G. (2021): Substituierung von Qualifikationen durch Digitalisierung – Veränderungen bei Berufen? In: lernen & lehren, 36. Jg., Heft 4 /1 44, S. 166-169.
- Pfeiffer, S.; Suphan, A. (2015): Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Working Paper 2015 #1 (draft v1.0 vom 13.04.2015). Universität Hohenheim: Fg. Soziologie.
- Pfeiffer, S.; Lee, H.; Zirnic, C.; Suphan, A. (2016): Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025. Frankfurt: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (Hrsg.). <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/ren-der/1124293> (abgerufen am 08.02.2022).
- Plattform Industrie 4.0 (2019): Themenfelder Industrie 4.0 – Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Newsletter/2020/Ausgabe23/2020-05-publikation-themenfelder-i40.html> (abgerufen am 08.02.2022).

- Precht, R. (2018): Jäger, Hirte, Kritiker – Eine Utopie für die digitale Gesellschaft. München: Goldmann Verlag.
- Rebmann, K. (2019): Didaktik und Methodik der beruflichen Weiterbildung. In: Arnold, R.; Lipsmeier, A.; Rohs, M. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildung. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer, S. 399-410.
- Rauner, F. (1995): Gestaltungsorientierte Berufsbildung. In: berufsbildung, 49. Jg., Heft 35, S. 3-8.
- Richter, T. (2017): 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. Bielefeld: wbv, S. 241-260.
- Richter, T. (2019): Betriebliche Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0. In: Spöttl, G.; Windelband, L. (Hrsg.): Industrie 4.0. Risiken und Chancen für die Berufsbildung. 2., überarbeitete Auflage. Bielefeld: wbv, S. 291-310.
- Risius, P. (2020): Digitalisierung der Ausbildung. Neue Kompetenzen für eine Arbeitswelt im Wandel, Studie 2/2020 im Rahmen des Projekts NETZWERK Q 4.0, Köln.
- Risius, P.; Seyda, S. (2020): Ausbildungsunternehmen 4.0. Digitalisierung der betrieblichen Ausbildung, Studie im Rahmen des Projekts NETZWERK Q 4.0, Köln.
- Risius, P.; Meinhard, D. (2021): Gemeinsam ans Ziel? Lernortkooperation im digitalen Wandel, NETZWERK Q 4.0-Studie 2/2021. https://netzwerkq40.de/fileadmin/user_upload/Mediathek/publikationen/Studie-Q_4.0-2-2021.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- Risius, P.; Seyda, S.; Meinhard, D. (2021): Alles im (digitalen) Wandel: Chancen und Herausforderungen der Ausbildung 4.0, NETZWERK Q 4.0-Studie 3/2021. https://netzwerkq40.de/fileadmin/user_upload/Mediathek/publikationen/Studie-Q_4.0-3-2021.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- Schmitt, B.; Klaffke, H.; Sievers, T.; Tracht, K.; Petersen, M. (2021): Veränderungen der Kompetenzanforderungen durch Zukunftstechnologien in der industriellen Fertigung. In: Seufert, S.; Guggemos; J.; Ifenthaler, D.; Ertl, H.; Seifried, J. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der beruflichen Bildung. Zukunft der Arbeit und Bildung mit intelligenten Maschinen?! ZBW, Beiheft 31, Stuttgart: Franz Steiner, S. 103-128.
- Schneemann, C.; Zika, G.; Kalinowski, M.; Maier, T.; Krebs, B.; Steeg, S.; Bernardt, F.; Mönning, A.; Parton, F.; Ulrich, P.; Wolter, M. I. (2021): Aktualisierte BMAS-Prognose Digitalisierte Arbeitswelt, BMAS - Aktualisierte Langfristprognose: „Digitalisierte Arbeitswelt“ (abgerufen am 09.02.2022).
- Schuh, G.; Kelzenberg, Ch.; Helbig, J.; Graberg, T. (2020): Kompetenzprofile in einer digital vernetzten Produktion. Forschungsförderung, Nr. 198. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Schwarz, A. (2019): Prüfen von Zusatzqualifikationen in der Ausbildung. Die industriellen Metall- und Elektroberufe als Stresstest? In: BWP 6/2019, S. 33-35.
- Schwarz, A. (2020): Prüfungen der Zusatzqualifikationen M+E. Kurzauswertung der 3. DIHK-Umfrage zur Winterprüfung 2019/20. Berlin: DIHK.
- Seyda, S.; Wallosek, L.; Zibrowius, M. (2018): Keine Ausbildung — keine Weiterbildung? Einflussfaktoren auf die Weiterbildungsbeteiligung von An- und Ungelernten, IW-Analyse, Nr. 122, Köln.
- Seyda, S. (2019): Wie die Digitalisierung genutzt werden kann, um Geringqualifizierte weiterzubilden. Handlungsempfehlung an Individuen, Unternehmen und Bildungsanbieter sowie die Bundesagentur für Arbeit. IW-Policy Paper Nr. 7/2019. <https://www.iwkoeln.de/studien/susanne-seyda-wie-die-digitalisierung-genutzt-werden-kann-um-geringqualifizierte-weiterzubilden.html> (abgerufen am 29.10.2021).
- Seyda, S.; Flake, R.; Risius, P.; Placke, B. (2019): Ausbilder im digitalen Wandel, IW-Kurzbericht, Nr. 82, Köln.

- Seyda, S.; Risius, P. (2021): Unterstützungsbedarfe des Berufsbildungspersonals: Wie gelingt der digitale Wandel der Ausbildung? Netzwerk Q 4.0-Studie 4/2021. https://netzwerkq40.de/fileadmin/user_upload/Mediathek/publikationen/Studie-Q_4.0-4-2021.pdf (abgerufen am 09.02.2022).
- Shell (Hrsg.) (2019): Jugend 2019. Eine Generation meldet sich zu Wort. 18. Shell-Jugendstudie. Weinheim, Basel: Beltz.
- Spöttl, G. (1998): Gestaltungsorientierung. Betrifft. In: Pahl, J.-P.; Uhe, E. (Hrsg.): Berufsbildung. Begriffe von A-Z für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule. Seelze-Velber, S. 81.
- Spöttl, G.; Windelband, L. (2016): Industrie 4.0 – „Von der Software her denken“. In: Berufsbildung, H. 159, S. 3-6.
- Spöttl, G.; Windelband, L. (2021): The 4th Industrial Revolution – Its Impact on Vocational Skills. Journal of Education and Work. Journal of Education and Work. Routledge, 34:1, Pp 29-52. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13639080.2020.1858230> (abgerufen am 08.02.2022).
- Staufen AG (2018): Industrie 4.0. Deutscher Industrie 4.0 Index 2018. Eine Studie der Staufen AG und der Staufen Digital Neonex GmbH. <https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-Studie-Industrie-4.0-Index-2018-Web-DE-de.pdf> (abgerufen am 15.02.2022).
- Statistisches Bundesamt (2021): Studierende an Hochschulen – Vorbericht – Wintersemester 2020/2021. Reihe Bildung und Kultur, Fachserie 11, Reihe 4.1. Statistisches Bundesamt (Destatis).
- Stettes, O. (2020): Keine Angst vor Robotern, in: IW-Trends, 47. Jg., Nr. 4, S.85-103.
- Technische Hochschule Deggendorf (2022): Duales Studium. Infos zum dualen Studium an der Thd. <https://www.th-deg.de/duales-studium> (abgerufen am 15.02.2022).
- vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (Hrsg.) (2018): Digitale Souveränität und Bildung. Gutachten. Münster: Waxmann.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure; VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (2021): Digitale Transformation. Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: <https://www.vdi.de/tg-fachgesellschaften/vdi-gesellschaft-mess-und-automatisierungstechnik> (abgerufen am 09.02.2022).
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2015): Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt a. M.: VDMA. https://www.vdmashop.de/refs/VDMA_Leitfaden_I40_neu.pdf (abgerufen am 08.02.2022).
- Wetzel, D. (2015): Arbeit 4.0. Was Beschäftigte und Unternehmen verändern müssen. Freiburg im Breisgau: Verlag Herder, S. 30.
- Zinke, G. (2019): Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Branchen- und Berufscreening. Vergleichende Gesamtstudie; Hrsg. Bundesinstitut für Berufsbildung, Reihe Wissenschaftliche Diskussionspapiere, Heft-Nr. 213.
- Zinke, G. (2019): Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Branchen- und Berufscreening. Vergleichende Gesamtstudie. BIBB: Bonn.

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1:Zusammensetzung der Stichprobe | 17 |
| Tabelle 2: Einordnung der Unternehmen nach Branche, Größe sowie einbezogenen Schwerpunkten und Produktionsbereichen | 20 |
| Tabelle 3: Entwicklung der Neuabschlüsse in ausgewählten industriellen M+E-Berufen sowie IT-Berufen | 36 |
| Tabelle 4: Bedeutung des dualen Studiums in den Fallstudienunternehmen | 41 |
| Tabelle 5: Anzahl der bundesweit abgelegten Prüfungen zu den kodifizierten Zusatzqualifikationen | 43 |
| Tabelle 6: Teilnahme an Abschlussprüfungen nach Verordnung 2018 (Prüfungen, bei denen der Ausbildungsvertrag nach der Verordnung 2018 abgeschlossen wurden) | 45 |
| Tabelle 7: Nutzung der kZQ in den Fallstudienunternehmen | 46 |
| Tabelle 8: Dimensionen des Arbeitsprozesses APA X der Fallstudie KMU | 73 |
| Tabelle 9: Entscheidungsgrundlage für Digitalisierung in der Ausbildung | 92 |
| Tabelle 10: Ausbildungsphilosophien und -schwerpunkte in der M+E-Industrie | 99 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: ... Erhebungskarte mit der regionalen Verortung von Fallstudien und Expertenbefragungen | 19 |
| Abbildung 2: ... Substituierbarkeitspotenziale nach Anforderungsniveau | 26 |
| Abbildung 3: ... Elemente eines digitalisierten Unternehmens | 30 |
| Abbildung 4: Relevante Industrie 4.0-Themen aus Sicht des VDMA und Merkmale zur Identifikation des Digitalisierungsgrades | 32 |
| Abbildung 5: Ausbildungs- und Studienanfänger im Vergleich | 34 |
| Abbildung 6: ... Neue Ausbildungsverträge in ausgewählten industriellen Metallberufen | 35 |
| Abbildung 7: ... Neue Ausbildungsverträge in ausgewählten industriellen Elektroberufen und Fachinformatiker/-innen | 37 |
| Abbildung 8: Vergleich der Neuabschlüsse in den beiden „Instandhaltungsberufen“ Mechatroniker/-innen und Industriemechaniker/-innen | 37 |
| Abbildung 9: ... Veranstaltungsangebote zur betrieblichen Weiterbildung differenziert nach ihrer inhaltlichen Ausrichtung | 51 |
| Abbildung 10: . Veranstaltungsangebote zur betrieblichen Weiterbildung nach Zielgruppen | 52 |
| Abbildung 11: .. Entwicklung der prozentualen Verhältnisse von Weiterbildungsangeboten für ausgewählte Zielgruppen | 53 |
| Abbildung 12: . Bedarf der Unternehmen bei der Modernisierung von Ausbildungsordnungen | 55 |
| Abbildung 13: .. Index „Ausbildungsunternehmen 4.0“ – heterogener Umsetzungsstand der Digitalisierung in der betrieblichen Ausbildung | 56 |
| Abbildung 14: . Einstellung des Berufsbildungspersonals zur Digitalisierung der beruflichen Ausbildung | 57 |
| Abbildung 15: . Veränderung des Weiterbildungsbedarfs des Berufsbildungspersonals (2017 bis 2020) | 58 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 16: ..Einschätzung der Befragten zur Bedeutung der generischen Handlungsfelder Industrie 4.0..... | 60 |
| Abbildung 17: ..Einschätzung der Befragten zum Grad der Herausforderung für Fachkräfte durch typische Digitalisierungstechnologien..... | 60 |
| Abbildung 18: ..Unternehmenstypen der untersuchten Betriebe nach dem Grad der Vernetzung durch die Digitalisierung und resultierende Produktionsstrukturen..... | 66 |
| Abbildung 19: ..Bewertungen von „Verschiebungstendenzen“ bei Beschäftigten durch Experten | 81 |
| Abbildung 20: ..Ausbildung in mindestens einem M+E-Beruf nach Branche Anteil an allen auszubildenden Unternehmen (in Prozent) | 85 |
| Abbildung 21: ..Ausbildungsbeteiligung in mindestens einem M+E-Beruf in der Industrie nach Unternehmensgröße | 86 |
| Abbildung 22: ..Ausbildungsbeteiligung nach einzelnen M+E-Berufen..... | 86 |
| Abbildung 23: ..Einführung neuer Ausbildungsinhalte in M+E-Berufen nach Branchen..... | 88 |
| Abbildung 24: ..Nutzung digitaler Technologien | 89 |
| Abbildung 25: ..Einführung neuer Ausbildungsinhalte nach Digitalisierungsgrad | 90 |
| Abbildung 26: Lernen für Industrie 4.0 – Ausbildungstrends | 101 |
| Abbildung 27: ..Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnungen | 103 |
| Abbildung 28: ..Bekanntheit der modernisierten Ausbildungsordnungen in der M+E-Branche nach Unternehmensgröße | 104 |
| Abbildung 29: ..Anpassung der Ausbildungsinhalte in den letzten fünf Jahren nach Bekanntheit der Modernisierung | 105 |
| Abbildung 30: ..Angebot an neuen M+E-Zusatzqualifikationen in der Ausbildung der M+E-Berufe | 106 |
| Abbildung 31: ..Vermittlung von Digitalisierungsinhalten | 108 |
| Abbildung 32: ..Aussagen zur Modernisierung der M+E-Berufe | 109 |
| Abbildung 33: .. Aussagen zur Aktualität der Ausbildung in M+E-Berufen | 110 |
| Abbildung 34: ..Varianten der Nutzung kodifizierter Zusatzqualifikationen in der M+E-Industrie..... | 118 |
| Abbildung 35: ..Empfehlung einer durchgängigen Berufsstruktur „Industriemechatronik“ | 132 |

Anhang

Befragungsinstrumente:

- Personalpanel
- Fragebogen zur Bewertung der aktuellen Bedeutung von Technologien für Fachkräfte in Unternehmen
- Fragebogen zur Erfassung von Veränderungen in den beruflichen Handlungsfeldern durch Digitalisierung in den Ausbildungsberufen der M+E-Industrie

Personalpanel

Unternehmensbefragung für das Projekt „Evaluation von Stand und Umsetzung der modernisierten M+E-Berufe“ im Rahmen der Frühjahrswelle 2020 des IW-Personalpanels

Einführungstext:

Im Folgenden möchten wir beleuchten, wie sich die Digitalisierung in bestimmten Ausbildungsberufen auswirkt.

1. Bildet Ihr Unternehmen derzeit in folgenden Berufen aus?

| Beruf | Ja | Nein |
|---|----|------|
| Mechatroniker/-in | | |
| Elektroberufe (Liste mit Berufen klappt auf, falls ja) | | |
| Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik | | |
| Elektroniker/-in für Betriebstechnik | | |
| Elektroniker/-in für Gebäude- und Infrastruktursysteme | | |
| Elektroniker/-in für Geräte und Systeme | | |
| Elektroniker/-in für Informations- und Systemtechnik | | |
| Metallberufe (Liste mit Berufen klappt auf, falls ja) | | |
| Anlagenmechaniker/-in | | |
| Industriemechaniker/-in | | |
| Konstruktionsmechaniker/-in | | |
| Werkzeugmechaniker/-in | | |
| Zerspanungsmechaniker/-in | | |
| (Umsetzungshinweis: Die folgenden Berufe einblenden [Liste endet <u>vor</u> Produktionstechnologe/-in]) Produktionstechnologe/-in | | |
| IT-Fachinformatiker/-in | | |
| IT-Systemelektroniker/-in | | |
| Sonstige, im Rahmen der Digitalisierung relevante Ausbildungsberufe, und zwar (bitte nennen): | | |
| Beruf: | | |

2. **Hat Ihr Unternehmen in der Ausbildung der Metall- und Elektroberufe in den letzten fünf Jahren neue Ausbildungsinhalte eingeführt, um auf die Herausforderungen der digitalen Arbeitswelt zu reagieren?**
Bitte denken Sie dabei sowohl an digitale Fachkompetenzen als auch an soziale und personale Kompetenzen.

| | | |
|----|-----------------------------|------|
| Ja | Noch nicht, aber in Planung | Nein |
| | | |

3. **Wie gut kennen Sie die modernisierte Ausbildungsordnung der Metall- und Elektroberufe aus dem Jahr 2018? Neu eingeführt wurden damals die Berufsbildposition Nr. 5 „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ sowie neue Zusatzqualifikationen.**

| | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| | Im Detail | Grobe Eckpunkte | Kenne ich nicht |
| Berufsbildposition Nr. 5 | | | |
| Neue M+E-Zusatzqualifikationen | | | |

Mouse-over „Zusatzqualifikationen“: Zu den neuen Metall- und Elektro-Zusatzqualifikationen gehören Prozessintegration, Systemintegration, IT-gestützte Anlagenänderung, Programmierung, IT-Sicherheit, digitale Vernetzung und additive Fertigungsverfahren.

4. **Bietet Ihr Unternehmen in der Ausbildung der Metall- und Elektroberufe bereits folgende Zusatzqualifikationen an?**

| | | | |
|------------------------------|--------------------------|--|------|
| | Ja, allen Auszubildenden | Ja, aber nur ausgewählten Auszubildenden | Nein |
| Systemintegration | | | |
| Prozessintegration | | | |
| IT-gestützte Anlagenänderung | | | |
| Additive Fertigungsverfahren | | | |
| Digitale Vernetzung | | | |
| Programmierung | | | |
| IT-Sicherheit | | | |

5. Bitte geben Sie an, wie Ihren Auszubildenden in Metall- und Elektroberufen neue Digitalisierungsinhalte vermittelt werden (Mehrfachnennung möglich).

| | ... in unserem Unternehmen vermittelt | ... in einem anderen Unternehmen vermittelt | ... in der Berufsschule vermittelt | ... durch ein externes Angebot, z. B. eines Bildungsdienstleisters, eines Verbands, einer Kammer, vermittelt |
|--|---------------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Neue Digitalisierungsinhalte der Berufsbildposition Nr. 5 werden ... | | | | |
| Zusatzqualifikationen werden ... | | | | |

6. Inwieweit treffen die folgenden Aussagen zur Modernisierung der Metall- und Elektroberufe auf Ihr Unternehmen zu?

Bitte denken Sie dabei an die Berufsbildposition Nr. 5 und die neu eingeführten Zusatzqualifikationen.

| | Trifft zu | Trifft eher zu | Trifft eher nicht zu | Trifft nicht zu | Kann ich nicht beurteilen |
|---|-----------|----------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| Die Berufsbildposition Nr. 5 der M+E-Berufe hilft uns, unsere zukünftigen Fachkräfte während der Ausbildung mit digitalen Kompetenzen auszustatten. | | | | | |
| Die neu eingeführten Zusatzqualifikationen helfen uns, unsere zukünftigen Fachkräfte während der Ausbildung mit digitalen Kompetenzen auszustatten. | | | | | |
| Die Modernisierung der M+E-Berufe geht nicht weit genug. | | | | | |
| Wir halten einen neuen Ausbildungsberuf für die Gestaltung der Industrie 4.0 für sinnvoll. | | | | | |
| Wir wünschen uns (noch mehr) neue Zusatzqualifikationen in der M+E-Ausbildung. | | | | | |
| Viele Neuerungen der Berufsbildposition Nr. 5 hatten wir vor der Modernisierung schon in der Ausbildung umgesetzt. | | | | | |
| Wir können die neuen Inhalte der Berufsbildposition Nr. 5 reibungslos in unsere betriebliche Ausbildung integrieren. | | | | | |
| Wir benötigen (weitere) Unterstützung bei der Einführung der modernisierten Inhalte. | | | | | |

- 7. Nun geht es um Unterstützungsangebote, die Unternehmen bei der Umsetzung der modernisierten Ausbildung in Metall- und Elektroberufen zur Verfügung stehen. Inwieweit treffen die folgenden Aussagen auf Ihr Unternehmen zu?**

| | Trifft zu | Trifft eher zu | Trifft eher nicht zu | Trifft nicht zu | Kann ich nicht beurteilen |
|---|-----------|----------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| Wir haben schriftliche Umsetzungshilfen genutzt, um die Modernisierung in unserem Unternehmen zu realisieren. | | | | | |
| Die vorhandenen schriftlichen Umsetzungshilfen sind aus unserer Sicht praktikabel und hilfreich. | | | | | |
| Wir haben Informationsveranstaltungen besucht, die uns bei der Umsetzung geholfen haben. | | | | | |
| Wir haben Beratungsangebote genutzt, die uns bei der Umsetzung geholfen haben. | | | | | |

- 8. Inwieweit treffen die folgenden Aussagen zur Aktualität der Ausbildung in Metall- und Elektroberufen auf Ihr Unternehmen zu?**

| | Trifft zu | Trifft eher zu | Trifft eher nicht zu | Trifft nicht zu | Kann ich nicht beurteilen |
|---|-----------|----------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| Die Ausbildungsinhalte der M+E-Berufe in unserem Unternehmen halten mit der Digitalisierung Schritt. | | | | | |
| Wir sehen in näherer Zukunft weiteren Modernisierungsbedarf in der M+E-Ausbildung in unserem Unternehmen. | | | | | |
| Wir halten einen neuen Ausbildungsberuf für die Gestaltung der Industrie 4.0 für sinnvoll. | | | | | |
| Wir wünschen uns Unterstützung bei der Modernisierung unserer M+E-Ausbildung. | | | | | |
| Wir wünschen eine engere Kooperation mit der Berufsschule, um unsere Auszubildenden auf die Arbeit in der digitalen Welt vorzubereiten. | | | | | |

Fragebogen zur Bewertung der aktuellen Bedeutung von Technologien für Fachkräfte in Unternehmen

Bitte bewerten Sie die aktuelle Bedeutung der Technologien und Aufgabenbereiche für Fachkräfte in Ihrem Unternehmen

| <i>Fachkräfte im Unternehmen sind durch ...</i> | stark gefordert | mäßig gefordert | gar nicht gefordert | kann ich nicht beurteilen |
|--|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------------|
| künstliche Intelligenz (Anlagen und Systeme, die mit Verfahren maschinellen Lernens arbeiten) | | | | |
| Vernetzung (... von Maschinen, Anlagen und Systemen in der Produktion; Herstellen von funktionsfähigen Online-Schnittstellen) | | | | |
| Fernwartung und Ferndiagnose | | | | |
| Asset-Management (operative Instandhaltung mit Hilfe digitalisierter Werkzeuge) | | | | |
| Modernisierung von Maschinen, Anlagen und Systemen durch Schaffung digitaler Schnittstellen und Bedienkonzepte | | | | |
| digitale Zwillinge | | | | |
| Prozess-, Betriebs- und Maschinendatenerfassung | | | | |
| Prozessvisualisierung, Datenaufbereitung und Produktionsüberwachung (webbasiert/basiert auf Big-Data-Auswertungen) | | | | |
| softwaregestütztes Condition Monitoring und Predictive Maintenance (Instandhaltungsmanagementsoftware) | | | | |
| Virtual Reality | | | | |
| Augmented Reality / Wearables | | | | |
| HMI / MMI (Bedienkonzepte / Zusammenarbeitskonzepte) | | | | |
| APPs für das Informationsmanagement (Produktionsbereich/Instandhaltungsbereich) | | | | |
| Robotic (insb. kollaborative Robotik; Leichtbaurobotik) | | | | |
| Softwaregestützte Arbeitsplanung (webbasierte Schichtabstimmung) | | | | |
| Softwaregestützte Materialflusserfassung und -planung | | | | |
| Produktionssteuerung durch das Produkt | | | | |
| Individualisierung der Produktion (Massenproduktion bei kleinen Losgrößen) | | | | |
| additive Fertigung | | | | |

Fragebogen zur Erfassung von Veränderungen in den beruflichen Handlungsfeldern durch Digitalisierung in den Ausbildungsberufen der M+E-Industrie

Bitte bewerten Sie die aktuelle Bedeutung der beruflichen Handlungsfelder in Ihrem Unternehmen

| Berufliche Handlungsfelder | noch geringe Bedeutung | fester Bestandteil | zukünftig noch wichtiger | keine Bedeutung |
|--|------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|
| Anlagenplanung mittels Planungssoftware/ Simulation/digitalen Zwillingen | | | | |
| Anlagenaufbau mit digitalen Planungswerkzeugen / digitaler Fabrik / Virtual Reality / Augmented Reality | | | | |
| Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme in das Produktionsnetz sowie End- und Funktionskontrollen durchführen, Korrektur von Software | | | | |
| Anlagenüberwachung mit Prozessvisualisierungs- und -steuerungssoftware | | | | |
| Prozessmanagement – Visualisierung / Monitoring / Koordinierung / Organisation | | | | |
| Datenmanagement – Umgang mit Betriebsdaten / Softwarezugang / Parametrieren / Programmieren | | | | |
| Instandhaltung – Asset Management, vorausschauend, Diagnosesysteme, Funktionsprüfungen, Auswahl von Herstellerinformationen | | | | |
| Instandsetzung – softwaregestützt an vernetzten Anlagen | | | | |
| Störungssuche und -behebung mittels Ferndiagnose, softwaregestützt | | | | |