

WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 172, Februar 2020

Additive Fertigung und betriebliche Qualifizierung

Beschäftigungs- und Qualifizierungschancen von
Geringqualifizierten im 3D-Druck/in der additiven
Fertigung

Herbert Marschall

Der Autor

Herbert Marschall, Dipl.-Soz.-Wiss. arbeitet seit 2012 am Institut für Berufs- und Weiterbildung (IBW) der Fakultät für Bildungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen. Seine Forschungsschwerpunkte innerhalb des Fachgebiets Wirtschaftspädagogik/Beruflich-betriebliche Aus- und Weiterbildung (Prof. Dr. Rolf Dobischat) liegen im Bereich der Logistik, dem mobilen Lernen und der Digitalisierung in der Berufsbildung. Seit 2013 beschäftigt er sich intensiv mit den Auswirkungen additiver Fertigungsverfahren auf individuelle Kompetenzanforderungen, auf betriebliche Qualifizierungsbedarfe und mit der Entwicklung von Aus- und Weiterbildungskonzepten. Die vorliegende Publikation ist im Rahmen des Forschungsprojektes „Betriebliche Qualifizierung bei additiver Fertigung“ entstanden, für die das Fachgebiet Wirtschaftspädagogik die Projektleitung verantwortete.

© 2020 by Hans-Böckler-Stiftung
Hans-Böckler-Straße 39, 40476 Düsseldorf
www.boeckler.de



„Additive Fertigung und betriebliche Qualifizierung“ von Herbert Marschall ist lizenziert unter

Creative Commons Attribution 4.0 (BY).

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISSN 2509-2359

Inhalt

Zusammenfassung.....	6
1. Einleitung	8
1.1 Additive Fertigung als Musterfall der Digitalisierung	8
1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Forschungsansatz	9
1.3 Beschleunigte Entwicklungen im Bereich additiver Fertigungsverfahren.....	10
1.4 Substitution/Koexistenz, Automatisierung, Geschäftsmodelle	11
1.5 Expertengespräche mit Unternehmen und Interviewleitfaden	13
2. Substitution konventioneller Fertigung durch 3D-Druck	15
2.1 Zwischenfazit.....	19
3. Additive Fertigungsverfahren auf dem Weg zur Serienreife	21
4. Geringqualifizierte und Einfacharbeitsplätze in der additiven Fertigung.....	24
4.1 Weiterbildungsmöglichkeiten von Geringqualifizierten	26
4.2 Gering qualifiziert aufgrund von fehlendem formalen Nachweis.....	27
4.3 Gering qualifiziert aufgrund des Tätigkeitsspektrums von Einfacharbeit.....	28
4.4 WeiterbildungsbARRIEREN für Geringqualifizierte	31
4.5 Lernort Betrieb als Chance zur Höherqualifizierung	36
4.6 Weiterbildungsbeteiligung von Geringqualifizierten.....	36
4.7 Routinetätigkeiten, Arbeitsplatzwechsel und Weiterbildungsneigung	39
4.8 Gering qualifiziert im Hinblick auf additive Fertigung.....	41
5. Geringqualifizierte im Spannungsfeld zwischen Serienproduktion und Automatisierung.....	44
6. Bildungsmaßnahmen zur Qualifizierung für die additive Fertigung.....	48
6.1 Ausbildungen mit Inhalten zu additiven Fertigungsverfahren	48

6.2 Weiterbildung für die additive Fertigung	50
7. Ergebnisse der Unternehmensinterviews	54
7.1 Unternehmensprofile: Geschäftsmodelle, Verfahren und Produkte	54
7.2 Substitution konventioneller Fertigung durch additive Fertigung	62
7.3 Entscheidungskriterien für den Einsatz additiver Fertigungsverfahren.....	65
7.4 Tätigkeiten im Rahmen der additiven Fertigung	69
7.5 Ausbildung für die additive Fertigung	72
7.6 Berufe in der additiven Fertigung in den befragten Unternehmen.....	76
7.7 Aufgeschlossenheit von Beschäftigten gegenüber additiver Fertigung	78
7.8 Ungelernte und Branchenfremde in der additiven Fertigung	79
7.9 Folgen von Serienfertigung und Automatisierung für Geringqualifizierte.....	80
7.10 Personalsuche für den Einsatz in der additiven Fertigung.....	82
7.11 Einbeziehung der Mitarbeiter/-innen bei der Einführung von additiver Fertigung	83
7.12 Kompetenzen und Arten der Qualifizierung für die additive Fertigung	84
7.13 Schulungsmöglichkeiten für Geringqualifizierte.....	88
7.14 Auswirkungen additiver Fertigung auf die Betriebsorganisation	90
8. Zusammenfassung und Ausblick.....	95
8.1 Ergebnisse aus dem Projekt	95
8.2 Ausweg: Optimierung der Matchingprozesse	97
8.3 Resümee – Geringqualifizierte in der additiven Fertigung?	98
Literatur	103

Abbildungen

Abbildung 1: Einführung von additiver Fertigung oder Betriebsgründung	55
Abbildung 2: Geschäftsmodelle und Prozessketten.....	57
Abbildung 3: Anwendungen von additiver Fertigung.....	60
Abbildung 4: Technische und finanzielle Entscheidungskriterien.....	67
Abbildung 5: Personelle und organisatorische Entscheidungskriterien.....	68
Abbildung 6: Erwünschte Kompetenzen für die additive Fertigung	84
Abbildung 7: Genutzte Arten der Qualifizierung.....	86
Abbildung 8: In Weiterbildungen vermittelte Kenntnisse in additiver Fertigung	87
Abbildung 9: Auswirkungen additiver Fertigung auf Hierarchien und Organisation	93

Tabellen

Tabelle 1: WeiterbildungsbARRIEREN.....	33
Tabelle 2: Berufsausbildungen mit Inhalten zu AM	49
Tabelle 3: Anzahl der Teile pro Serie	61
Tabelle 4: Erzeugte Produkte aus additiver Fertigung bzw. Zielbranchen.....	61
Tabelle 5: Beruflicher Hintergrund der Beschäftigten im 3D-Druck	77
Tabelle 6: Wege der Personalsuche und Suchdauer	83
Tabelle 7: Besondere Arbeitszeiten in der additiven Fertigung	90

Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung des Computer Aided Design von 2D zu 3D, die Lasertechnik und ihre Kombination mit digitaler Steuerung waren Voraussetzungen und Treiber für die additive Fertigung. Additive Fertigung (AF) ist ein Musterbeispiel und Gradmesser für die Digitalisierung. Dabei gibt es in der Diskussion um die Digitalisierung verschiedene Theorien, welche Auswirkungen auf die Struktur der Beschäftigten zu erwarten sind: ob z. B. – wie im Rahmen der Polarisierungsthese – die mittlere Ebene der Facharbeiter ausgedünnt wird und in Zukunft Geringqualifizierte sowie Hochqualifizierte verstärkt die Betriebsstrukturen dominieren werden.

Im Zusammenhang mit der Verbreitung der additiven Fertigung stellt sich die Frage, ob und wie rasch konventionelle Fertigungsverfahren durch additive Fertigungsverfahren substituiert werden, ob die damit verbundenen Tätigkeiten obsolet sind und dadurch eine Vielzahl an Beschäftigten arbeitslos wird? Findet – wie für die Digitalisierung diskutiert – eine Schwerpunktverlagerung zwischen den Tätigkeiten unterschiedlicher Qualifikationsstufen statt, so dass z. B. Geringqualifizierte oder sogar Facharbeiter weniger gebraucht werden? Gibt es Qualifizierungsangebote, um solche negativen Entwicklungen abzufedern und auch in Zukunft Möglichkeiten für Geringqualifizierte, im Bereich der additiven Fertigung eine Beschäftigung zu finden?

In der vorliegenden Studie, welche auf das Projekt „Betriebliche Qualifizierung bei additiver Fertigung“ zurückgeht, werden unter anderem folgende Themen behandelt: Die Entwicklung der additiven Fertigung, ihre Diversifikation in neue Geschäftsmodelle und die Substitution konventioneller Fertigung; eine Rekapitulation der Diskussion um Einfacharbeitsplätze und Geringqualifizierte, ihre Weiterbildungsmöglichkeiten und Beschäftigungsaussichten in der additiven Fertigung.

Die Informationsgewinnung – von der Unternehmensstruktur bis zu einzelnen Prozessschritten und damit verbundenen Tätigkeiten – erfolgte durch qualitative, leitfadengestützte Expertengespräche mit Geschäftsführern, Personalverantwortlichen, Betriebsleitern etc. Dabei spielten Fragen zu den Tätigkeitsspektrum und Kompetenzanforderungen im Rahmen der einzelnen Prozessschritte additiver Fertigungsverfahren, zur Nutzung von Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten, zur Beschäftigung von Geringqualifizierten und Branchenfremden und zu den Wegen der Personalgewinnung eine Rolle. Schließlich wurden die Auswirkungen auf Betriebsorganisation und Arbeitszeiten erörtert genauso wie mögliche Folgen der Serienfertigung und Automatisierung von additiven Fertigungsanlagen auf die Beschäftigung Geringqualifizierter. Bis-

her wurden additive Fertigungsverfahren – zumindest im Bereich Metall – überwiegend für Kleinserien und für die Erstellung von Prototypen eingesetzt. Derzeit steht der 3D-Druck an der Schwelle zur Massenfertigung.

Durch die Standardisierung von Prozessen und Material könnten additive Fertigungsanlagen zuverlässiger, ihre Ergebnisse vorhersehbarer und ihre Bedienung einfacher werden. Dies könnte Spielräume zur Beschäftigung Geringqualifizierter eröffnen, aber auch die Rentabilität von Automatisierungsmaßnahmen erhöhen. Solange aber im 3D-Druck noch eine ausreichende Produktion von Modellen, Prototypen, Einzelteilen und Kleinserien stattfindet – für welche sich das Anlernen eines Roboters nicht lohnt –, so lange dürfte es noch Arbeitsplätze für Geringqualifizierte in der additiven Fertigung geben.

Deshalb ist es wichtig, die Diffusion additiver Fertigungsverfahren im Produktionssektor und im Beschäftigungssystem weiter genau zu beobachten, additive Fertigungsverfahren bei den Beschäftigten aller potentiell betroffenen Branchen bekannt zu machen, Betriebsräte zu sensibilisieren, spezifische Weiterbildungen zu entwickeln und wenigstens die Grundkenntnisse additiver Fertigungsverfahren in allen denjenigen Berufsausbildungen zu vermitteln, in welchen deren Absolventen in Zukunft mit additiven Fertigungsverfahren in Berührung kommen werden.

1. Einleitung

1.1 Additive Fertigung als Musterfall der Digitalisierung

Bereits im Rahmen der 3. Industriellen Revolution, der Einführung der Computertechnologie an Einzelarbeitsplätzen durch die Verbreitung der Personal Computer ungefähr seit den 1980er Jahren, wurde immer wieder die Frage aufgeworfen, welche Folgen die Verbreitung der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) für die Arbeitswelt und die dort Beschäftigten unterschiedlicher Qualifikationsniveaus haben würde. Im technischen Bereich – in der Produktion – zogen Computer Aided Design (CAD) und Computer Aided Manufacturing (CAM) ein und veränderten die Arbeitsplätze in Konstruktion und Produktion nachhaltig. Das berufliche Bildungssystem reagierte damals mit einer ersten Welle der Einführung von neuen Berufen, welche speziell auf die Tätigkeit an und mit Computern ausgerichtet waren (vgl. z. B. Petersen/Wehmeyer 2003).

Aus dieser Zeit stammen bereits miteinander konkurrierende Thesen zum Aufstieg und zur Polarisierung von Beschäftigtengruppen mit besonders guten und mit besonders schlechten Jobs, welche durch die Digitalisierung hervorgerufen werden könnte. Im Gegensatz zur Polarisierungsthese propagiert die optimistische Sichtweise dagegen eher einen Anstieg des Qualifikationsniveaus und der Tätigkeiten für alle – ob mit hoher oder geringer Ausgangsqualifikation. Ebenfalls aus den 1980er Jahren stammt die Entwicklung der additiven Fertigung, die durch Charles W. (Chuck) Hull mit dem Verfahren der Stereolithographie eingeläutet wurde. Die Weiterentwicklung des Computer Aided Design von 2D zu 3D, die Lasertechnik und ihre Kombination mit digitaler Steuerung waren Voraussetzungen und Treiber für die Fortentwicklung additiver Fertigungsverfahren. Somit kann additive Fertigung als ein Musterbeispiel und Indikator für die Digitalisierung gewertet werden.

Im Zusammenhang mit dem ersten Projekt zur generativen/additiven Fertigung, welches die Fachhochschule Aachen und die Universität Duisburg-Essen 2013/2014 für die Hans-Böckler-Stiftung durchführten (vgl. Dobischat et al. 2015), hatten wir bereits die Erfahrung gemacht, dass die meisten Betriebsräte und Gewerkschaftsvertreter, die wir auf diese Technologien angesprochen haben, in der Regel wieder auf die Betriebsleitung verwiesen haben. Auch im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie haben wir einen Bevollmächtigten einer großen Gewerkschaft angesprochen, mit der Bitte, das Thema an die regionalen Betriebsratsvertreter weiterzugeben und den Stand der additiven Ferti-

gungsverfahren in den Betrieben zurück zu spiegeln. Zur Entstehungszeit der jetzt vorliegenden Studie war das Thema Additive Fertigung jedoch immer noch nicht bei den Kolleginnen und Kollegen angekommen.

Es gibt zahlreiche Informations- und Schulungsangebote von verschiedenen Institutionen, die genutzt werden könnten. Wir können deshalb nur appellieren, dass sich die gewerkschaftlichen Vertreterinnen und Vertreter in den Betriebsräten mit dem Thema additive Fertigungsverfahren auseinanderzusetzen und die Beschäftigten mit den gewonnenen Informationen versorgen. Wir hoffen, mit der vorliegenden Studie einen Diskussionsbeitrag zum Einstieg in die Additive Fertigung und ihre zahlreichen, sehr unterschiedlichen Verfahren zu leisten. Einen Überblick über die Verfahren – die z. T. auch Gegenstand von Standardisierungsbemühungen sind –, gewährt der Wikipedia-Artikel „3D-Druck“ (Wikipedia 2019a).

1.2 Fragestellung, Zielsetzung und Forschungsansatz

Mit der zunehmenden Verbreitung des kommerziellen 3D-Drucks stellt sich auch die Frage, welche Folgen die Digitalisierung in Form der additiven Fertigungsverfahren für die Beschäftigten – insbesondere auch für die Geringqualifizierten unter ihnen – haben wird. Hartmann und Wischmann gehen z. B. davon aus, dass „der Einsatz von neuen Technologien als Werkzeug, eine Aufwertung von Qualifikationen fördert, während das andere Ende, die Erreichung eines möglichst hohen Automatisierungsgrades, eine Polarisierung von Qualifikationen verstärkt“ (Hartmann/Wischmann 2018, S. 243). Allerdings könnte man anhand der gegenwärtigen Wissensbasis die Folgen der Digitalisierung für die Arbeit nicht abschätzen (ebenda).

Anhand dieser Ausgangslage lohnt sich die Erörterung der Thesen von der Polarisierung bzw. der allgemeinen Höherqualifizierung: Welche Rolle spielen die Geringqualifizierten in der additiven Fertigung bereits jetzt und welche Rolle können sie möglicherweise in Zukunft spielen? Wie es um Beschäftigungsmöglichkeiten von Geringqualifizierten in der additiven Fertigung bestellt ist und welche Kompetenzen gefragt sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- dem Entwicklungsstand der additiven Fertigung – insbesondere im Vergleich zu den konventionellen Fertigungsverfahren, da hierdurch Substitutionsprozesse ausgelöst werden können

- der Verbreitung der unterschiedlichen additiven Verfahren, den verschiedenen Organisationsformen der Prozessketten sowie dem Grad der Automatisierung

1.3 Beschleunigte Entwicklungen im Bereich additiver Fertigungsverfahren

Zwar stellt Jürgen Dispan in seinem HBS Working Paper von 2017 noch fest, dass bei einem „40 Prozent Zuwachs pro Jahr für die additiven Verfahren im Metallbereich [...] weniger als 1 Prozent der bestehenden Technologien durch additive Verfahren ersetzt“ werden würde, gleichzeitig räumt er aber ein, dass sich „durch technologische Entwicklungen und den Aufbau von Kapazitäten [...] die Verbreitung von Additive Manufacturing jedoch weiter beschleunigen“ wird (Dispan 2017, S. 18). So meldete das Internetportal 3Druck.com am 13. September 2019, dass nun auch Aluminiumlegierungen mit der Binder-Jet-Druckertechnologie verarbeitet werden könnten, was bislang nur mit den Laser- oder Elektronenstrahl-basierten additiven Verfahren möglich war (3Druck.com 2019). Da die Binder-Jet-Drucker 100-mal schneller als die Anlagen sein sollen, welche auf dem Laser- oder dem Elektronenstrahlprinzip beruhen, wird die additive Fertigung für die Massenproduktion im Metallbereich attraktiv und damit auch für die Serie im Automotive-Bereich interessant.

Aber noch bevor diese Innovation zum Tragen kommt, hat sich die Beschäftigungsentwicklung in der additiven Fertigung bereits beschleunigt. Dies kann man anhand der Zahlen aus dem Arbeitsmarktmonitoring erkennen, welches das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) im Rahmen seiner Forschungen zur Digitalisierung durchführt. Demnach hat mit 89,7 Prozent im Zeitraum „seit weniger als 2 Jahren“ in keiner der anderen ausgewählten Digitalisierungstechnologien ein so starker Beschäftigungsaufbau stattgefunden wie in den additiven Fertigungsverfahren (Stettes 2019, S. 7, Abb. 2–2). Die beiden nächstfolgenden Digitalisierungstechnologien liegen mit 78,6 Prozent (Internet der Dinge) bzw. 72,8 Prozent (Virtual/Augmented Reality) – bezogen auf den gleichen Zweijahreszeitraum – mit deutlichem Abstand dahinter. Andererseits ist laut einer Studie von 3Dnatives, einem „Portal für den 3D-Druck“ die Ausbildungsquote in der 3D-Druckbranche verschwindend gering.

Lediglich bei 0,8 Prozent der Verträge von Beschäftigten der Branche handelt es sich um Ausbildungsverträge. Dies ist der letzte Platz unter den verschiedenen Vertragsarten; die Vollzeitverträge machen 78,2 Prozent aus, Teilzeit 5,6 Prozent und Praktika 15,1 Prozent (3Dnatives

2019). Auch wenn die Bezugsgrößen und die Methoden der Datenerhebung andere sind, wird man verglichen mit der allgemeinen Ausbildungsquote über alle Betriebsgrößenklassen, die zwischen 2007 und 2017 von 6,5 Prozent auf 4,9 Prozent abgenommen hat (Bundesinstitut für Berufsbildung 2019, S. 209) immer noch feststellen müssen, dass die Ausbildungsquote im Bereich der additiven Fertigung sehr gering ist. Das bedeutet, dass die Beschäftigten in der additiven Fertigung nicht aus dem eigenen Ausbildungssystem kommen, sondern vom Arbeitsmarkt oder durch interne Weiterbildung für den Bereich fit gemacht werden.

Die Frage ist, inwiefern der große Fachkräftebedarf im Bereich der additiven Fertigung auch eine Chance für Geringqualifizierte darstellt.

1.4 Substitution/Koexistenz, Automatisierung, Geschäftsmodelle

Kern der Untersuchung ist die Frage, welche Auswirkungen die Verbreitung additiver Fertigungsverfahren auf die Beschäftigungschancen von Geringqualifizierten hat. Die Auswirkungen hängen davon ab, ob sich konventionelle Fertigungsverfahren und additive Fertigungsverfahren zueinander substitutiv oder komplementär verhalten, sogar voneinander profitieren können und welche Chancen sich für die Beschäftigten – insbesondere diejenigen mit geringen Qualifikationen – in den jeweiligen Arbeitswelten ergeben. Allerdings könnten sich durch die additive Fertigung neue Geschäftsmodelle, Prozessketten und Arbeitszeitmodelle ergeben, welche Auswirkungen auf alle Beschäftigten haben würden.

Es kann gemutmaßt werden – und bleibt Gegenstand weiterer Untersuchungen –, dass die Frage der Automatisierung für die Geringqualifizierten von erheblich höherer Relevanz ist, als die Frage, ob sie an konventionellen oder additiven Fertigungsanlagen arbeiten. Bislang stellen additive Fertigungsverfahren eher eine Ergänzung, eine Erweiterung des Produktionsportfolios der konventionellen Verfahren dar. Außerdem gibt es derzeit noch einfache manuelle Tätigkeiten auch in der additiven Fertigung. Eine Umstellung von konventionellen auf additive Fertigungsverfahren bedeutet deshalb nicht gleichzeitig eine Gefährdung speziell von Arbeitsplätzen für Geringqualifizierte. Wenn die additive Fertigung konventionelle Fertigungsverfahren ersetzt – wenn also konventionelle Fertigungsverfahren in Gänze ersetzt werden –, dann betrifft dies Beschäftigte aller Qualifikationsstufen und nicht speziell die Geringqualifizierten. Und schließlich verläuft der Übergang von der konventionellen zur additiven Fertigung zumindest gegenwärtig noch sukzessive. Im Vergleich

dazu bedeutet Automatisierung – gleich welcher Art von Produktionsverfahren –, dass einfache manuelle Tätigkeiten generell einem Substitutionsrisiko ausgesetzt sind.

Additive Fertigung ist ein „Paradebeispiel“ für Digitalisierung, die komplette Prozesskette ist analog nicht abbildbar,¹ da im professionellen Einsatz immer von 3D-CAD-Datensätzen ausgegangen wird und die Anlagen immer digital angesteuert werden. Durch diese digitale Grundlage, die über alle Prozessschritte die additive Fertigung begleitet,² bestehen beste Ansätze, additive Fertigungsanlagen und -prozesse zu automatisieren. Die Zerlegung und Vereinfachung von Prozessen ist ein möglicher Ansatzpunkt, Einfacharbeitsplätze zu schaffen, in denen Arbeiten z. B. auch von Menschen mit Lernschwierigkeiten leichter ausgeführt werden können. Abläufe manuell durch Geringqualifizierte ausführbar zu machen, erleichtert aber auch, sie zu automatisieren. Automatisierung und „Roboterisierung“ kann Arbeitsplätze sogar erhalten, weil die Arbeitnehmer dadurch nicht mit gesundheitsgefährdenden Materialien in unmittelbare Berührung kommen oder weiterhin durch Arbeitnehmer ausführbar gemacht werden – z. B. weil schwere Lasten durch Exoskelette von Beschäftigten wieder gehoben werden können.

Andererseits steht die Einrichtung von Einfacharbeitsplätzen für Geringqualifizierte u. U. in einem direkten Konkurrenzverhältnis zur Automatisierung des manuellen Vorgangs. Die Chancen und Gefahren der Automatisierung im Zusammenhang mit der Verbreitung additiver Fertigungsverfahren sind Schlüsselfragen der vorliegenden Untersuchung. Da außerdem davon ausgegangen wird, dass die Digitalisierung neue Geschäftsmodelle fördert, findet auch dieser Aspekt Berücksichtigung. So kritisiert z. B. Andreas Syska am deutschen Digitalisierungsdiskurs, dass man sich hierzulande mit Schnittstellen – also mit technischen Fragestellungen befasse, während man in den USA viel Erfolg damit hätte, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln (Syska 2016). Veränderte Geschäftsmodelle, die Abbildung von Prozessketten, Veränderungen in der Organisation von Betrieben bezogen auf Hierarchien, aber auch im Hinblick auf veränderte Arbeitszeitmodelle werden hier ebenfalls berücksichtigt, da Auswirkungen auf die Beschäftigten vermutet werden können und zu den Gestaltungsaufgaben von Mitarbeitervertretungen gehören.

-
- 1 Auch wenn es auf einer Messe das nicht ganz ernst zu nehmende Beispiel gegeben hat, dass mit Hilfe eines handgeführten Seilzugsystems durch einen entsprechend groß dimensionierten Extruder Schichten von pastösem Beton in Mauerstärke aufgetragen wurden. Der Extruder wurde über einen dicken Schlauch manuell durch Eimer mit noch fließfähigem Beton beschickt. Diese Installation könnte man einen „analogen 3D-Drucker“ nennen.
 - 2 Der VDMA-Arbeitskreis Automatisierung spricht von „digitaler Bauteilakte“ (VDMA 2018a).

ren. Deshalb wurde bei den Interviews auch gefragt, welche Rolle die Mitarbeitervertretungen bei der Entscheidung für die Einführung additiver Fertigungsanlagen spielten.

Außerdem war es von großem Interesse, das Aus- und Weiterbildungsverhalten und die Rekrutierungsprozesse der Unternehmen für die Arbeitsplätze in der additiven Fertigung zu beleuchten, insbesondere, welche Chancen die Unternehmen sehen, Geringqualifizierte für eine Arbeit an Arbeitsplätzen in der additiven Fertigung fit zu machen.

1.5 Expertengespräche mit Unternehmen und Interviewleitfaden

Aufgrund begrenzter Projektmittel und wegen der oftmals vorhandenen Zurückhaltung von Unternehmen, Arbeitsplatzbeobachtungen im Rahmen empirischer Erhebungen im Betrieb zuzulassen, haben wir sämtliche Informationen – angefangen von der Unternehmensstruktur bis zu den einzelnen Prozessschritten und den damit verbundenen Tätigkeiten – in qualitativen, leitfragengestützten Expertengesprächen mit Führungspersonen wie Geschäftsführern, Personalverantwortlichen, Betriebsleitern oder sonstigen Personen mit Leitungsfunktionen erhoben. Dazu wurde ein ausführlicher Interviewleitfaden konzipiert, welchen die Gesprächspartner vorab zur Orientierung per E-Mail erhielten.

Um die Abläufe in den Produktionsprozessen möglichst realistisch abilden zu können, wurde die gesamte Prozesskette in mehrere Einzelschritte zerlegt und im Detail abgefragt. Dazu wurden im Interviewleitfaden – in Anlehnung an die vom Arbeitskreis Automatisierung des VDMA vorgenommene Aufteilung der additiven Fertigung in Pre-, In- und Postprozess – die einzelnen Prozessschritte ergänzt und weiter differenziert.

Die einzelnen Schritte sind im Pre-Prozess die vorgelagerte Vorbereitung der Fertigung durch Erzeugung der Daten mit Hilfe von Scans oder durch 3D-CAD-Konstruktion, die Vorbereitung der Anlage mit Material-handling und Maschinenvorbereitung sowie die Simulation und Vorbereitung des eigentlichen Bauprozesses. Der In-Prozess beschreibt die additive Fertigung als solche. Zum Postprozess gehören Abläufe wie das Auspacken des gedruckten Objekts z. B. aus dem Pulverkuchen des Bauraums – zumindest bei den mit Pulver arbeitenden Verfahren –, das Entfernen von Stützstrukturen – die bei einigen additiven Fertigungsverfahren erforderlich sind –, verschiedene Wärmebehandlungsverfahren wie Ofensintern oder Temperiern zur Beseitigung von Instabilitäten, das Infiltrieren, um poröse Strukturen zu schließen und weitere Schritte, wel-

che der Oberflächenbearbeitung dienen und die häufig zur Fertigstellung additiv gefertigter Teile dazugehören, während sie bei konventioneller Produktion nicht erforderlich wären.

Da sich die additiven Fertigungsverfahren inzwischen stark ausdifferenziert haben – im Hinblick auf Verfahrensprinzipien, Materialien, Anwendungen und Produkte, aber auch in Bezug auf Unternehmensstrukturen – wurde versucht, trotz der geringen Anzahl an befragten Unternehmen ein möglichst breites Spektrum abzubilden. Die befragten Unternehmen waren 2 Gießereien, 1 Unternehmen aus der Kunststoffbranche, 1 Unternehmen aus dem Bereich Keramik, 2 Unternehmen aus dem Bereich Automotive, 1 Unternehmen aus dem Bereich Modell- und Werkzeugbau sowie 1 Unternehmen aus dem Bereich Produkt- und Prozessentwicklung.

Der Bericht ist ein beispielhafter schlaglichtartiger Einblick in die Praxis der additiven Fertigung – vor allem bei kleinen und mittelständischen Unternehmen –, um mögliche Auswirkungen auf die Beschäftigung und Qualifizierung von Geringqualifizierten zu erkennen. Er soll Mitarbeitervertretungen – aber auch Gewerkschaften – Anregungen geben, Entwicklungen besser identifizieren zu können und Beschäftigte bei den Veränderungsprozessen begleiten und bei der Vertretung ihrer Interessen unterstützen zu können.

2. Substitution konventioneller Fertigung durch 3D-Druck

Wie unterschiedliche Studien zeigen, ist trotz der raschen Entwicklungen in der additiven Fertigung – wie sie etwa von Bitkom Research³ in Deutschland oder auf internationaler Ebene von Terry Wohlers aufgezeigt werden – auf absehbare Zeit nicht mit einer flächendeckenden Verdrängung konventioneller durch additive Fertigungsverfahren zu rechnen.

Nach Wohlers Report 2018 hat sich die Zahl der verkauften professionellen 3D-Drucker von 983 Systemen 2016 auf 1.758 Anlagen im Jahr 2017 – also um 80 Prozent erhöht. Gemäß Empfehlung von Ralf Steck in seinem Beitrag auf engineeringspot.de vom März 2018 sollte man jedoch bedenken, dass diese knapp 1.800 weltweit verkauften Anlagen im Preissegment über 5.000 Dollar nur eine kleine Nummer „im Vergleich beispielsweise zur Anzahl verkaufter Fräszentren oder anderer komplexer Fertigungsmaschinen“ darstellen. Erst wenn „fünfstellige Stückzahlen verkaufter Maschinen pro Jahr“ erreicht sind, könnte man dies als Indikator dafür werten, dass additive Fertigung in der „realen Produktion“ angekommen ist. Derzeit befindet man sich nicht in einer Verdrängungs- sondern in einer Diversifizierungsphase (Steck 2018).

Untersuchungen für die Bereiche der metallverarbeitenden und der Kunststoffindustrie kommen gleichlautend zu dem Schluss, dass additive Fertigung auf absehbare Zeit bestenfalls als Ergänzung bestehender Verfahren zum Einsatz kommen wird.

Gemäß einer Studie im Auftrag des VDW zu den Chancen und Risiken von Additive Manufacturing für die Werkzeugmaschinenindustrie ist innerhalb der nächsten Jahre keine Substitution bestehender Metallbearbeitungsverfahren im spanenden und umformenden Bereich zu erwarten. „Ausgehend von 40 Prozent Zuwachs pro Jahr für die additiven Verfahren wird weniger als ein Prozent der bestehenden Technologien durch additive Verfahren ersetzt“ (Becker 2016), es dürfte also „nur leichte Verschiebungen im künftigen Produktionsmix des Werkzeugmaschinenbaus“ geben (Dispan 2017, S. 18)⁴. Unter der realistischen An-

3 Im Juni 2018 veröffentlichte Bitkom Research die Ergebnisse einer repräsentativen Telefonumfrage im Auftrag des Digitalverbandes Bitkom unter 553 Produktionsleitern, Vorständen und Geschäftsführern von Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern in Deutschland zur Nutzung von 3D-Druck: 28 Prozent der Industrieunternehmen haben bereits solche Geräte im Einsatz, 8 Prozent mehr als 2016. 70 Prozent der Unternehmen bescheinigen 3D-Druck disruptives Potenzial (Meinecke/Tropf 2018).

4 Dispan zitiert aus der Studie „Additive Manufacturing. Potenziale und Risiken aus dem Blickwinkel der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie“, welche die KEX

nahme, dass sich in den nächsten Jahren die Haupthemmisse Kosten und Bearbeitungszeit durch technologische Entwicklungen und Kapazitätsausweitungen verändern werden, geht man von einer beschleunigten Verbreitung der additiven Fertigung aus. „Insgesamt wird sich Additive Manufacturing (AM) aus Sicht der VDW-Studie in die bestehende Wertschöpfungskette der Metallbearbeitung integrieren.“ Neben der Beobachtung des hochdynamischen Marktes wird der Werkzeugmaschinenindustrie empfohlen, sich Wissen über die additive Fertigung anzueignen (Dispan 2017, S. 17 f.).

Auch für die Kunststoffindustrie bringt der Einsatz von additiver Fertigung einen Mehrwert. Gegenüber dem Spritzguss können bei geringen Stückzahlen Bauteile deutlich schneller und kostengünstiger hergestellt werden. Durch die Designfreiheit additiver Verfahren sind weitaus komplexere Modelle konstruierbar und realisierbar. Es gibt auch Nachteile wie die Abhängigkeit der Oberfläche vom Verfahren und dass 3D-Druckteile in der Regel schlechtere mechanische Eigenschaften als Spritzgussteile besitzen. Beim aktuellen Stand der Technik wird der 3D-Druck deshalb eher als Ergänzung denn als Alternative zum Spritzguss betrachtet (Kalenbach 2018).

Um die Nachteile auszugleichen und die Vorteile besser auszuschöpfen, ist es wichtig, bei der Anlage der Zeichnungen die Spezifika der additiven Verfahren entsprechend zu berücksichtigen, aber gerade da scheint es noch Defizite beim Personal zu geben: „Allerdings fehlt es häufig noch an der entsprechenden Ausbildung von Konstrukteuren, um das Potenzial von 3D-Druck voll ausnutzen zu können“ (Kalenbach 2018).⁵ Auch das Beratungsunternehmen Ampower bezeichnet das Fehlen von qualifiziertem Personal als eine große Herausforderung speziell für kleine und mittelständische Unternehmen. Und zwar müsse Personal entlang der gesamten Prozesskette qualifiziert werden: Von F&E, Design über Produktion und Qualitätssicherung bis zur Beschaffung (Munsch/Wycisk/Schmidt-Lehr 2017, S. 13). Indikator für den steigenden Personalbedarf ist eine Verdopplung der Ausschreibungen für 3D-Druck-Spezialisten von 51 auf 110 Stellenanzeigen innerhalb eines Jahres im Zeitraum von Oktober 2015 bis Oktober 2016, welche der Weiterbildungsanbieter WBS Training AG laut seinem „Job Report Technische Berufe“, Ausgabe 2016 beobachtete (WBS Training AG 2016, S. 19).

Knowledge Exchange AG in Aachen für den Verein Deutscher Werkzeugmaschinen (VDW) erstellt hat (vgl. Becker 2016), (vgl. auch Tönissen/Graw 2016).

5 Obwohl im Rahmenlehrplan des technischen Produktdesigners zumindest Rapid Prototyping als eine Anwendungsform der additiven Fertigung als Inhalt von Lernfeld 6 aufgeführt wird (Kultusministerkonferenz 2011, S. 15).

Die Entscheidung, ob überhaupt mit additiven Fertigungsverfahren gearbeitet werden soll, hat für kleine und mittelständische Unternehmen große Tragweite. Dabei ist eine ganze Kaskade von Einzelentscheidungen abzuarbeiten, unter denen die Frage nach dem erforderlichen Personal und des damit zusammenhängenden Qualifizierungsbedarfs nur einen kleinen, aber wesentlichen Einzelfaktor in einer umfassenden Prozesskettenbetrachtung darstellt. Verschiedene Studien haben sich mit ökonomischen Fragen und Vergleichen zur additiven Fertigung befasst.

Das Beratungsunternehmen Roland Berger kommt z. B. beim Kostenvergleich für einen Bremssattel aus Massenproduktion zu einem Kostenfaktor von 70 und sogar bei einer Kleinserienfertigung eines Lüfterrades noch auf einen Kostenfaktor von 8-fach zuungunsten einer additiven Fertigung. Lediglich bei der Kleinserienfertigung einer Turbinenschaufel ist die additive Fertigung mit einem Kostenfaktor von 0,8 im Vorteil.⁶ Die Autoren kommen deshalb zu dem Schluss, dass beim Kostenvergleich zwischen konventioneller Herstellung versus additivem Pulverbett-Laserschmelzen auch in der nahen Zukunft mit keiner revolutionären Reduktion der Teilekosten zu rechnen ist (Langefeld et al. 2018).

Beispiele wie die neue HP Metal Jet Technology deuten jedoch darauf hin, dass sich die Aufbauraten immer noch erheblich beschleunigen lassen, was automatisch die Teilekosten massiv schrumpfen lassen und so den Abstand zwischen konventioneller und additiver Fertigung reduzieren wird (3Dnatives 2018), (Postinett 2018).

Zur Berechnung der Kosten additiver Fertigung hat die Hochschule Aalen gemeinsam mit mehreren Unternehmen ein Kostenmodell entwickelt (Haas 2018) und auch Wissenschaftler der ETH Zürich haben sich der Kostenfrage im Vergleich unterschiedlicher additiver Anlagen und z. B. der Baujobdauer gewidmet (Klahn/Meboldt 2018). Das wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Institut für Technologie entwickelt im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes KitkAdd eine Methode, mit welcher im Rahmen einer Prozesskettenbetrachtung für einzelne Bauteile die geeignete Herstellungsmethode oder Methodenkombination – ob konventionell oder additiv – bestimmt werden kann (KIT 2018).

In einem Bericht für das BMBF zur Ermittlung prioritärer Forschungsthemen hat das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA auch verschiedene Themen aus dem Bereich der additiven Fertigung identifiziert. Neben überwiegend auf technische Details einge-

6 Bei allen diesen Zahlen muss man berücksichtigen, dass sie lediglich als grobe Orientierung und Ausdruck der Unterschiede in der Größenordnung dienen können. Beispielsweise eine Änderung des verwendeten Materials unter Beibehaltung aller anderen Parameter kann sich kostenmäßig auswirken. Detaillierte Ergebnisse ergeben sich somit immer erst vor dem Hintergrund betriebsspezifischer Kostenansätze.

henden Themen wird auch ein Thema behandelt, welches die Organisation in hohem Maße betrifft, nämlich die mechatronische und datentechnische „Integration generativer und konventioneller Fertigungsverfahren“. Dieses Thema wird im technologischen Reifegrad (Technology Readiness Level, TRL) 7 bis 9, also im Stadium der industriellen Entwicklung verortet, mit der industriellen Anwendung und positiven Netzwerkeffekten wird im Jahre 2025 gerechnet (Bauernhansl et al. 2018, S. 87, Abb. 53).

Neben den detaillierten Verhältnissen interdependenten Kosten verschiedener Prozesskonstellationen sind die Unternehmen ganz allgemein mit folgenden grundsätzlichen Entscheidungen konfrontiert, welche letztlich auch entscheidenden Einfluss auf das einzusetzende Personal haben:⁷

- Ist das Produkt mit konventionellen oder mit additiven Fertigungsverfahren günstiger herzustellen?
- Ist es günstiger, das Produkt (insgesamt) selbst herzustellen oder von einem dienstleistenden Unternehmen zu beziehen?
- Welche Prozessschritte können besser im eigenen Betrieb durchgeführt werden und welche Schritte sollte man besser an Dienstleister abgeben?
- Etabliert man eine feste Prozesskette im Unternehmensverbund oder bedient man sich auf einem Markt mit wechselnden Lieferanten? (Dies ist eine organisatorische Frage zur Veränderung von Geschäftsmodellen im Zuge der Digitalisierung „par excellence“.)
- Sollte man auf Automatisierung setzen oder besser Einfacharbeitsplätze erhalten bzw. neu einrichten?

Die Gründe für den Erfolg bzw. das Scheitern der Einführung von 3D-Druck sind vielfältig. Studien zu den unterschiedlichen Aspekten im Zusammenhang mit Produktionsketten wie z. B. das Projekt Agent3D (AGENT-3D o. J.) unter Leitung des Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS (Kurzform „Fraunhofer IWS“), welches im Rah-

7 Als Indikator für die Schwierigkeiten, die Kosten der additiven Fertigung langfristig zu kalkulieren, mag die Fallstudie eines Unternehmens aus dem Projekt „Generative Fertigung in Deutschland“ von 2013/2014 für die Hans-Böckler-Stiftung gewertet werden (Dobischat et al. 2015, S. 107 ff.). Aufgrund der wirtschaftlichen Situation hat dieses Unternehmen seine Aktivitäten im 3D-Druck eingestellt und den 3D-Drucker abgegeben. Der hochqualifizierte Mitarbeiter, welcher mit der Bedienung der Anlage und den damit zusammenhängenden Abläufen betraut war, hat das Unternehmen wieder verlassen und ist in einem Unternehmen an einem 3D-Drucker gleichen Typs beschäftigt (eigene Recherche). Dieses Beispiel zeigt, dass additive Fertigung nicht automatisch eine „Erfolgsgeschichte“ für ein Unternehmen werden muss.

men der BMBF-Forschung⁸ durchgeführt wird, belegen die Komplexität der Entscheidungen. Hinzu kommen Untersuchungen zu den Entscheidungskriterien für die Rentabilität des Einsatzes von additiven Fertigungsverfahren z. B. durch die Beratungsunternehmen Ampower und Roland Berger (s. o.) oder eine praxisbezogene Orientierungshilfe für Unternehmen wie „3D-Druck – Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit. Entscheidungsunterstützung für Unternehmen“ (Feldmann/Pumpe 2016). Auch bei der dort vorgestellten Wirtschaftlichkeitsanalyse muss eine „Entscheidung über die zu druckenden Teile bzw. Produkte, Druckverfahren und -rohstoffe“ getroffen werden und „das Modell bzw. die einzelnen Treiber [...] vor dem Hintergrund der jeweiligen Branche und der unternehmensspezifischen Produkte“ interpretiert werden (Feldmann/Pumpe 2016, S. 53), (vgl. Feldmann/Pumpe 2017).

2.1 Zwischenfazit

Noch befinden wir uns bei der Verbreitung additiver Fertigungsverfahren nicht in einer Verdrängungs-, sondern in einer Diversifizierungsphase. Additive Fertigung wird zuerst als Ergänzung bestehender Verfahren zum Einsatz kommen und sich in die bestehende Wertschöpfungskette der Metallbearbeitung integrieren. Auch im Kunststoffbereich wird 3D-Druck eher als Ergänzung anstatt als Alternative zum Spritzguss gesehen. Die Modifikation bestehender bzw. Entwicklung neuer Verfahren und die Verarbeitungsmöglichkeit bisher nur eingeschränkt einsetzbarer Materialien könnte jedoch die Produktionsgeschwindigkeit der Anlagen in einem bisher nicht erwarteten Maße steigern und damit die additive Fertigung für die Serienproduktion reif machen (vgl. 3Druck.com 2019). Dies könnte in der Tat disruptive Verschiebungen in der Verteilung der Produktion zwischen konventionellen und additiven Fertigungsverfahren bedeuten.

Im Bereich Personal bestehen große Disparitäten, Fachkräfte werden z. T. dringend gesucht, vielen Unternehmen gelingt es dennoch, geeignete Mitarbeiter – aufgrund des interessanten Arbeitsfeldes – zu gewinnen. Allerdings können die Unternehmen nicht davon ausgehen, dass Bewerber die entsprechenden Vorkenntnisse z. B. in der AM-gerechten

8 BMBF-Förderungen von Forschung zur Einbindung additiver Fertigungsverfahren in Prozessketten:
www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1037.html (Abruf 08.01.2020)
www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1421.html (Abruf 08.01.2020)
www.photonikforschung.de/media/photonische-prozessketten/pdf/BKM-Liniенintegration_Informationen-Vortragsfolien_bf.pdf (Abruf 08.01.2020)

Konstruktion mitbringen und so besteht die Gefahr, dass das Potential der additiven Fertigung nicht ausgeschöpft werden kann, zumindest so lange nicht durch betriebseigene Maßnahmen oder durch Nutzung eines der zahlreichen vorhandenen Weiterbildungsangebote Wissensdefizite behoben werden. Auch die Hoffnung, dass durch Digitalisierung substituierte Tätigkeiten und Arbeitsplätze – etwa in der Industrie – dadurch ausgeglichen werden könnten, dass nun Stellen geschaffen werden, weil zahlreiche „3-D Drucker gebaut und gewartet werden müssen“ (Matthes et al. 2019, S. 13) ist eher skeptisch zu beurteilen.

Darüber hinaus muss die Kostenfrage abhängig von den unterschiedlichen Verfahren, der Serientauglichkeit, der Kooperationsmöglichkeit mit anderen Firmen usw. gelöst werden. Dies stellt die Unternehmen vor schwierige Entscheidungen, die angesichts der enormen Entwicklungsgeschwindigkeit der additiven Fertigungsverfahren nicht einfach zu treffen sind. Aufgrund mehrerer Projekte und Forschungsergebnisse gibt es zahlreiches Material, welches Unternehmen zur Auswahl der für sie optimalen Kombination von Produktionsverfahren nutzen können. Die Entscheidungen über geeignete Geschäftsmodelle und die konkrete Gestaltung der Prozessketten über verschiedene Unternehmen hinweg bleiben trotzdem schwierig. Ein wichtiger Aspekt besteht für einige Unternehmen darin, ob mit den eingesetzten additiven Fertigungsverfahren die gewünschten Teile in Serie produziert werden können.

3. Additive Fertigungsverfahren auf dem Weg zur Serienreife

Serienproduktion wird oft als Voraussetzung angesehen, um genügend Arbeitsanfall für geringqualifizierte Mitarbeiter zu haben. Deshalb stellt sich die Frage, wie weit die additive Fertigung inzwischen auf dem Weg zu Serienreife fortgeschritten ist.

Wenn man den aktuellen Stand der additiven Fertigung beschreibt, stellt man häufig „gebrochene“ Produktionsketten fest, in denen verschiedene Unternehmen unterschiedliche Abschnitte der Produktion ausführen. Die Erwartung, dass man Unternehmen mit konventionellen Fertigungsverfahren und parallel mit additiver Fertigung im gleichen Betrieb finden würde, an denen man einen Übergang von Mitarbeitern aus einem Einfacharbeitsplatz in der konventionellen Fertigung in einen Arbeitsplatz in der additiven Fertigung beobachten könnte, dürfte in der Regel enttäuscht werden. Denn es gibt wenig traditionell fertigende Unternehmen, welche bereits additive Fertigungsverfahren in der laufenden (Serien-) Produktion einsetzen.

Selbst große Unternehmen wie z. B. Audi nutzen additive Fertigungsverfahren bisher überwiegend für den Prototypenbau, für die „Herstellung von Bauteilen für Ausstellungsmodelle, Vorserienfahrzeuge und im Motorsport“. Geplant ist 3D-Druck in der Ersatzteillfertigung. Ziel sei, auf Anforderung einer Vertragswerkstatt Ersatzteile auch für einen Bedarf von Stückzahl eins oder zwei liefern zu können (Käfer 2018). Im Jahr 2017 war es auch für Volkswagen „noch ein weiter Weg, um von prototypischen Anwendungen zu Bauteilen für Großserienanwendungen im Automobilbau zu kommen“ (Volkswagen AG o. J.). Volkswagen brachte damals seine Hoffnung zum Ausdruck, „dass sich durch Optimierungen in Prozess- und Anlagentechnik der nächsten Jahre auch bei 3000 Stück eine Rentabilität erzielen lässt“ (ebenda).⁹

9 Inzwischen hat Volkswagen in Wolfsburg ein 3D-Druck-Zentrum eröffnet, in dem komplexe Fahrzeugteile hergestellt werden sollen. Andreas Tostmann – Produktionsvorstand der Marke Volkswagen – äußerte bei der Eröffnung des 3D-Druck-Zentrums die Erwartung, dass der 3D-Druck „in zwei bis drei Jahren auch für erste Teile in der Serienfertigung interessant“ werden würde. HP, Kooperationspartner von Volkswagen und Entwickler der neuen 3D-Drucker-Generation, gab bereits im Herbst 2018 bekannt, „dass sie bis 2021 mit VW in die Serienfertigung einsteigen wollen“. (Käfer 2019a). Im November 2019 berichtete der MaschinenMarkt, „dass innerhalb weniger Wochen über 10.000 hochwertige Komponenten für die Vorstellung des Elektrofahrzeugs ID.3 von VW“ produziert worden seien und Ziel sei, „künftig 50.000 bis 100.000 etwa fußballgroße Komponenten zu produzieren, darunter leistungsfähige Funktionsteile mit hohen strukturellen Anforderungen wie Schaltknäufe und Spiegelhalterungen“ (Käfer 2019c).

Bei BMW heißt es: „Aktuell ist die Additive Fertigung noch nicht für Großserien geeignet. Hier sehen wir aber eine positive Entwicklung. Neue, flächig arbeitende Technologien sind dafür ein wesentlicher Schlüssel“ (BMW AG 2019).

Für kleine und mittelständische Unternehmen lohnt es sich oft nicht, eine kostspielige Anlage zur additiven Fertigung im Unternehmen selbst zu betreiben, wenn ansonsten noch überwiegend konventionelle Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Deshalb lassen die meisten Unternehmen, welche für bestimmte Produkte die Vorteile der additiven Fertigung nutzen möchten, die entsprechenden Teile extern von Dienstleistern mit additiven Fertigungsanlagen zuliefern. Zumindest im Metallbereich – wo Anlagen in Preiskategorien von mehreren 100.000 Euro nicht unüblich sind – wäre es unwirtschaftlich, selbst in eine additive Anlage zu investieren, die weder ausgelastet werden kann, noch für die das entsprechende Personal zur Verfügung steht. An dieser Stelle füllen Dienstleister die vorhandene Lücke, indem sie manchmal einen ganzen Maschinenpark mit mehreren Maschinen und unterschiedlichen additiven Fertigungsverfahren vorhalten.

Außerdem existieren Beschaffungsketten, innerhalb derer Vertriebsunternehmen zwischen die Bezieher von additiv gefertigten Teilen und Dienstleister geschaltet sind, welche im Bedarfsfall – wenn ein Dienstleister nicht lieferfähig ist – auf ein anderes additiv fertigendes Dienstleistungsunternehmen ausweichen kann. Bevor kleine Betriebe selbst eine additive Fertigungsanlage installieren, und um im Vorfeld Erfahrungen zu sammeln, beziehen sie die benötigten additiv gefertigten Teile von Anlagenherstellern oder Dienstleistern und steigen zuerst nur in die Konstruktion ein. Dienstleister mit Maschinen von unterschiedlichen Herstellern benötigen auch Bedienpersonal mit eigenen Kompetenzen: „denn um die Qualität der gedruckten Bauteile auf ein hohes Niveau zu bringen und es dort zu halten, müssen die Applikatoren ihre Maschinen sehr genau kennen“ (Käfer 2018).¹⁰

Aber bereits bevor der Druckprozess starten kann – nämlich bei der 3D-Druck-konformen Konstruktion – sind besondere Erfahrungen notwendig. „Abgesehen vom AF-gerechten Design, kommt es auch darauf an, ein Bauteil so zu konstruieren, dass Verzüge und ein Abreißen der Bauteile unwahrscheinlicher werden, dass die Stützstrukturen gut gesetzt sind und dass die Objekte richtig auf der Bauplatte platziert sind“ (Käfer 2018). Zwar böten Maschinen- und Softwarehersteller „unterstützende Programme an, doch musste das Audi Team bisher immer seine

10 Der Zitat-Ausschnitt stammt aus einem Praxisbericht über das Metall-3D-Druck-Zentrum von Audi, ist aber auf andere Betreiber mit Anlagen von unterschiedlichen Maschinenherstellern gleichermaßen anwendbar.

Erfahrung ergänzend mit einbringen“ (Käfer 2018). Nach Aussage von Martin Bock – Projektleiter des Metall-3D-Druck-Zentrums von Audi in Ingolstadt –

„gibt es keine Software, die klare Programmervorgaben macht; es kommt auf das Know-how der Applikateure an, auf ihr Midenken im Prozess, in dem es auch zu Schwankungen kommen kann. „Genau hier brauchen wir besonders geschulte Mitarbeiter, [...] die über Schulungen in der Software und über Erfahrungen im Maschineneinsatz verfügen“ (Käfer 2018).

Um diesen Stand zu erreichen, mussten mehrere Jahre Arbeit und Personen in die Entwicklung der Prozesstechnik investiert werden: Erfahrungen in dem additiven Verfahren, dem verwendeten Material und Konstruktionserfahrung (ebenda).

Inzwischen kann man davon ausgehen, dass bald Anlagen zur additiven Fertigung zur Verfügung stehen, welche die Massenproduktion auch im Metallbereich ermöglichen, wie die Entwicklung der Metal Jet Technology von HP (z. B. Juschkat 2018) und die erfolgversprechenden Versuche, Aluminiumlegierungspulver mit der Binder-Jet-Druckertechnologie verarbeiten zu können (3Druck.com 2019), zeigen. Damit erschließen sich ggf. auch mehr Einsatzmöglichkeiten für Geringqualifizierte, da durch den Vorstoß der additiven Fertigung in die Serienproduktion auch ein Mehr an gleichartigen Arbeitsabläufen anfällt. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit bereits jetzt¹¹ Geringqualifizierte in der additiven Fertigung eingesetzt werden.

11 Im November 2019.

4. Geringqualifizierte und Einfacharbeitsplätze in der additiven Fertigung

Von Beginn der ersten Stufe der Digitalisierung, also Industrie 3.0 – mit dem Aufkommen des Personal Computers sowie dem Einzug von CAD und CAM in den Berufsalltag der Beschäftigten – bis heute, ist die Zahl der Erwerbstätigen mit höheren Berufsabschlüssen gestiegen, dennoch hat die Einfacharbeit nicht im gleichen Maße abgenommen (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018a). Diese Beschreibung ist jedoch auf alle und damit sehr unterschiedliche Branchen gemünzt. Es wird schwierig, sie auf den Bereich der additiven Fertigung zu übertragen, zum einen, weil die Verbreitung der additiven Fertigung erst in den letzten Jahren richtig Fahrt aufgenommen hat, und zum anderen, weil das Thema „Einfacharbeit“ im Bereich der additiven Fertigung noch nicht einer differenzierten Analyse unterzogen wurde. Der Forschungsansatz zum Arbeitsvermögen-Index, der von Sabine Pfeiffer erstmals auch auf einen Formenbau-Betrieb mit 3D-Drucker angewandt wurde, weist eine Zielrichtung auf, wie auch in der additiven Fertigung eine systematische Erfassung von Tätigkeiten bewerkstelligt werden könnte. Die dabei gewonnenen aussagekräftigen Ergebnisse könnten im Hinblick auf die im Digitalisierungsdiskurs zentrale Frage – Polarisierung oder Upgrade für alle – genutzt werden (S. Pfeiffer 2018).

Die Datenlage zu den Beschäftigten in der additiven Fertigung ist unzureichend entwickelt. Es existieren weder bekannte Zahlen über absolute Werte noch über prozentuale Vergleichswerte zu Beschäftigten in anderen Bereichen. Alle bekannten Studien über die Entwicklung der additiven Fertigung richten ihren Fokus auf technologische Fragen und nicht auf Personalfragen. Das Statistische Bundesamt hat erst 2018 begonnen, im Zuge der jährlichen Erhebung zur Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Unternehmen auch die Nutzung von 3D-Druck – und zwar für das Vorjahr 2017 – zu erfassen:

„3D-Druck nutzte im Jahr 2017 im Bereich des Verarbeitenden Gewerbes etwa jedes achte Unternehmen (13 %) mit mindestens 10 Beschäftigten. Dabei wird 3D-Druck mittels firmeneigener, gemieteter oder geleaster 3D-Drucker und Druckleistungen anderer Unternehmen berücksichtigt. Auch diese Technologie setzen große Industrieunternehmen häufiger ein als kleine Unternehmen: Bei Großunternehmen lag der Anteil bei 35 %, bei mittelgroßen Unternehmen betrug er 19 %. 3D-Druck nutzten 9 % der kleinen Unternehmen“ (Statistisches Bundesamt 2018b).

Daten über Beschäftigte im 3D-Druck sind noch nicht verfügbar, der Anteil Geringqualifizierter ist demzufolge nicht zu bestimmen. Es gibt zwar verschiedene Daten über die Entwicklung der additiven Fertigung, sogar über Veränderungen in der Beschäftigung durch Zuwachs (Stettes 2019, S. 7), aber es gibt keine veröffentlichten konkreten Zahlen über Beschäftigte, die hauptsächlich für die additive Fertigung konstruieren, die in ihrer Arbeit additive Fertigungsverfahren nutzen oder die mit der Weiterverarbeitung von per 3D-Druck erzeugten Bauteilen befasst sind.

Auch der IAB-Forschungsbericht 5/2019 mit der BMAS-Prognose „Digitalisierte Arbeitswelt“, welcher Voraussagen für die Arbeitswelt bis 2035 treffen möchte, enthält weder das Stichwort „3D-Druck“ noch Teile des Begriffs „Additive Fertigung“ (Zika et al. 2019). Grundlage des Problems dürfte sein, dass die Prognose auf der „Statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft“ aufbaut¹², deren aktuell (im Jahr 2019) gültige Fassung WZ 2008 (Statistisches Bundesamt 2019) von 2006 stammt und dementsprechend additive Fertigungsverfahren noch nicht enthalten sind.¹³

Anstelle konkreter Zahlen gibt es allenfalls Hinweise auf Beschäftigungseffekte, welche durch den Einsatz von 3D-Druckern induziert sein könnten. Beispielsweise besteht die Hoffnung, dass aufgrund hoher Rationalisierungseffekte – die durch die Produktion mit 3D-Druckern entstehen könnten – eine Rückverlagerung der Produktion aus „Billiglohnländern“ ausgelöst wird. Untersuchungen des Fraunhofer Instituts würden einen beginnenden Rückverlagerungstrend in der deutschen Industrie (Re-Shoring) zeigen (Düll 2016, S. 14). Eine andere Hoffnung im Rahmen der Digitalisierungsdebatte ist, dass „Arbeit nicht nur substituiert, sondern auch neu geschaffen“ wird. „Gleichzeitig bietet der zu erwartende demographisch bedingte Rückgang des Erwerbspersonenpotenzials Chancen, die Arbeitslosigkeit Geringqualifizierter abzubauen“ (I. Pfeiffer 2019, S. 9).

12 Telefonische Auskunft durch Gerd Zika, IAB.

13 Zwar greift auch das Statistische Bundesamt bei der Erfassung der zu befragenden Unternehmen auf die alte Wirtschaftsstatistik zurück, allerdings hat es seinen Fragenkatalog im Rahmen der Erhebung der IKT-Indikatoren um entsprechende Fragen zum 3D-Druck erweitert. Die Fragen lauteten: „Nutzte Ihr Unternehmen im Jahr 2017 3D-Druck mittels firmeneigener 3D-Drucker (inkl. gemietete oder geleaste 3D-Drucker)? [...] Druckleistungen anderer Unternehmen (inkl. von Mutter-/Tochterunternehmen)?“ Außerdem wurde danach gefragt, ob das Unternehmen 3D-Druck für die Erstellung von Objekten wie Prototypen, Modellen oder Waren nutzte und ob diese für die Verwendung zum innerbetrieblichen Gebrauch oder zum Verkauf gedacht waren (Statistisches Bundesamt 2018, PDF-Seitenzählung S. 14, Fragebogen S. 5).

4.1 Weiterbildungsmöglichkeiten von Geringqualifizierten

Geringqualifizierte werden im Vergleich zu den Beschäftigten auf den höheren betrieblichen Hierarchiestufen eine eher geringe Weiterbildungsneigung nachgesagt. Es trifft zwar zu, dass Geringqualifizierte im Vergleich zu den Beschäftigten auf den höheren betrieblichen Hierarchiestufen viel weniger an Qualifizierungsmaßnahmen teilnehmen. Die Gründe hierfür sind jedoch komplex und die geringe Beteiligung ist keinesfalls lediglich auf zu geringe Motivation der Geringqualifizierten zurückzuführen.

So zeigt sich in den letzten Jahren, dass die Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen gerade unter den Geringqualifizierten stärker ansteigt als unter höher qualifizierten Beschäftigten – wenn auch ausgehend von einem erheblich niedrigeren Niveau (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 25, Abb. 1).¹⁴ Treiber für die gestiegene Weiterbildungsneigung sind die höheren Anforderungen an die Kompetenzen der Beschäftigten, die auch an Beschäftigte auf einem Teil der Einfacharbeitsplätzen gestellt werden. Beschäftigte an Einfacharbeitsplätzen mit einförmigen Routinetätigkeiten und konstant geringen Kompetenzanforderungen verspüren hingegen offensichtlich keinen Druck, welcher sie zur Teilnahme an einer Weiterbildung nötigen würde.

Um die Möglichkeiten der Beschäftigung von Geringqualifizierten in der additiven Fertigung auszuloten, stellt sich die Frage nach Tätigkeiten, die auch von Geringqualifizierten ausgeübt werden können und nach Arbeitsplätzen, welche von Geringqualifizierten ausgefüllt werden können, weil es sich entweder um Einfacharbeitsplätze handelt, oder weil Geringqualifizierte so qualifiziert werden können, dass sie auch an Nicht-Einfacharbeitsplätzen in der additiven Fertigung einsetzbar sind.

Im Hinblick auf das Konzept der arbeitsorientierten Grundbildung stellt sich außerdem die Frage, ob in der additiven Fertigung Inhalte einer arbeitsorientierten Grundbildung eine Rolle spielen und ob es überhaupt sinnvoll wäre, eine entsprechende Grundbildung anzubieten bzw. was für Kenntnisse und Fähigkeiten diese in Bezug auf additive Fertigung beinhalten sollte. Da sich die meisten bisherigen bekannten Untersuchungen eher technischen Fragen oder Entscheidungsproblemen von Unternehmen widmeten, gibt es keine bekannten Untersuchungen zu Beschäftigten, insbesondere nicht zu Beschäftigten mit geringen Qualifi-

¹⁴ Seyda, Wallossek, und Zibrowius verweisen auf die folgende Herkunft ihrer Angaben: Daten: www.link.iwkoeln.de/384774, Quellen: BIBB/IAB-BIBB/BAuA-Erwerbstätigten-befragungen 1979–2012, Hall/Tiemann 2015 sowie ihre eigenen Berechnungen.

kationen in der additiven Fertigung. Die vorliegende Untersuchung stellt deshalb einen der ersten Versuche dar, die Beschäftigung von Geringqualifizierten in der additiven Fertigung zu beleuchten.

4.2 Gering qualifiziert aufgrund von fehlendem formalen Nachweis

Geringqualifizierte können anhand von zweierlei Kriterien eingeteilt werden: Anhand formaler Abschlüsse oder anhand ihres Tätigkeitsprofils und der Anforderungen ihrer Erwerbstätigkeit (Kruppe/Baumann 2019).

Personen gelten laut Definition des Deutschen Instituts für Erwachsenenbildung (DIE) als formal geringqualifiziert (Klein/Reutter 2016, S. 2):

- wenn sie zwar einen formalen Berufsabschluss nachweisen können, aber keine entsprechende Beschäftigung gefunden haben,
- wenn ihre Abschlüsse – z. B. weil sie aus dem Ausland stammen – nicht anerkannt werden¹⁵,
- wenn sie für die in ihrer beruflichen Tätigkeit erworbenen Kompetenzen kein Zertifikat erworben haben
- und wenn sie einen beruflichen Anschluss nie geschafft haben oder ihre Erwerbskarrieren durch häufige Arbeitslosigkeit unterbrochen wurden (vgl. auch die Internetseite web-wb, Klein und Reutter o. J.).

Man könnte ergänzen, dass ohne Wissensauffrischung z. B. durch Weiterbildung auch formale Abschlüsse ihre Wertigkeit im Laufe der Zeit verlieren können, insbesondere, wenn Personen längere Zeit unterhalb des Niveaus ihres ursprünglichen Ausbildungsabschlusses beschäftigt werden. Brose, Schulze-Böing und Meyer haben bereits vor langem im Rahmen der Diskussion um die Zeitarbeit auf entsprechende Dequalifikationsprozesse hingewiesen (vgl. Brose/Schulze-Böing/Meyer 1990, S. 122).

Der Deutsche Weiterbildungsatlas geht nicht auf diese differenzierte Betrachtungsweise ein und definiert als „geringqualifiziert“, „wer über keinen berufsqualifizierenden Abschluss verfügt“. Im Jahre 2015 gehör-

¹⁵ Der DIE-Wissensbaustein nennt an dieser Stelle nur die „ausländischen Abschlüsse“, es könnte jedoch auch andere Gründe geben, weshalb Abschlüsse nicht anerkannt werden, gleichgültig ob sie aus dem Ausland stammen oder aus anderen Gründen nicht als gleichwertig qualifizierend gelten.

ten 13,2 Prozent der Deutschen zu dieser Personengruppe (Frick/Wittenbrink 2018, S. 10).¹⁶

Welche Person geringqualifiziert ist, ergibt sich bei dieser – nach formalen Kriterien vorgenommenen – Definition aus dem Vorhandensein oder Fehlen vorzeigbarer Belege, aus denen ablesbar sein soll, wie jemand innerhalb des Beschäftigungssystems Deutschlands einsetzbar ist, das entscheidend durch den Stellenwert von Berufen und berufsbildenden Abschlüssen geprägt ist. Berufe und beruflich verwertbare Kompetenzen geben also die Maßstäbe vor. Da Schulabschlüsse nicht als berufsqualifizierende Abschlüsse zählen, „gelten z. B. [sic!] auch Abiturienten ohne Berufsausbildung als geringqualifiziert“ (Kruppe/Baumann 2019, S. 22).

Wie Auswertungen aus dem Nationalen Bildungspanel zeigen, besitzt „ein nicht zu vernachlässigender Teil“ von formal Geringqualifizierten „über durchschnittliche, hohe oder sogar höchste Grundkompetenzwerte“ (Kruppe/Osiander 2017, S. 152; Hervorhebung im Original). Auch der IAB-Forschungsbericht 1/2019 zur Weiterbildungsbeteiligung kommt zu dem Ergebnis, „dass unter den formal gering Qualifizierten ein bedeutsamer Teil (jeweils ca. 20 Prozent) über hohe oder sogar höchste Kompetenzen verfügt (Kruppe/Baumann 2019, S. 61). Eine geringe formale Qualifikation geht demnach nicht unbedingt mit geringer Kompetenzausstattung einher (Kruppe/Baumann 2019, S. 65).

4.3 Gering qualifiziert aufgrund des Tätigkeitsspektrums von Einfacharbeit

Der andere Indikator, der geringe Qualifikation widerspiegelt, ist die Art der zugewiesenen Tätigkeiten bzw. der am Arbeitsplatz anfallenden Abläufe und Verrichtungen, an dem Geringqualifizierte eingesetzt werden bzw. welche ihnen zugewiesen wurden. Abel, Hirsch-Kreinsen und Ittermann spannen ein Koordinatensystem mit den beiden Dimensionen – niedriger versus hoher Komplexität und nicht vorhandener versus erweiterter Handlungsautonomie – auf. Sie verorten die klassisch-taylorisierte Einfacharbeit nahe am Schnittpunkt der beiden Koordinatenachsen (Abel/Hirsch-Kreinsen/Ittermann 2009, S. 40, Abb. 6). Diese sogenannten Einfacharbeitsplätze haben ein eingeschränktes Tätigkeitsspektrum, d. h. sie bestehen aus einfachen, also nicht komplexen und repetitiven Tätigkeiten und sind mit geringer Handlungsautonomie verbunden.

16 Der Deutsche Weiterbildungsatlas bezieht sich auf Angaben der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder von 2017.

Seyda, Wallossek und Zibrowius beschreiben die Entwicklung der Einfacharbeit in Deutschland. Seit 1979 ist der Anteil der Höherqualifizierten stark gewachsen, der Anteil der beruflich qualifizierten Fachkräfte hat sich zwischen 1979 und 1985 um rund 19 Prozent erhöht und „hat sich seitdem auf einem Wert von gut 60 Prozent eingependelt“ (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018a, S. 36). Während aber bei den Höherqualifizierten die Einfacharbeit nur leicht gesunken ist, hat sich der Wert des Index' für Einfacharbeit bei der Gruppe der beruflich qualifizierten Fachkräfte um 15 Prozent erhöht. „Erwerbstätige sind demnach anteilig betrachtet häufiger beruflich qualifiziert, die Tätigkeit der beruflich Qualifizierten ist aber auch häufiger von Einfacharbeit geprägt“ (ebenda). Dementsprechend ist der Anteil der Geringqualifizierten seit 1979 gesunken, und zwar um 76 Prozent, „während gleichzeitig der Index für Einfacharbeit in dieser Gruppe um 20 Prozent gestiegen ist“ (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018a, S. 36).

Zusammenfassend stellen die Autoren fest, dass Tätigkeiten, welche vormals von Geringqualifizierten ausgeübt wurden, anspruchsvoller geworden und zur Facharbeit aufgewertet worden sind (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018a, S. 42). Ungeachtet des deutlichen Anstiegs von Einfacharbeit bei den Geringqualifizierten stellen diese angesichts der Personalengpässe noch ein wichtiges, mobilisierbares Fachkräftepotenzial dar. Angesichts des Risikos, welchem Routinetätigkeiten durch die Digitalisierung ausgesetzt seien¹⁷ und „um ihre beruflichen Karriereoptionen zu erhöhen und mit steigenden Arbeitsanforderungen Schritt zu halten, ist Weiterbildung für Geringqualifizierte unerlässlich“ (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018a, S. 43).¹⁸

Unternehmen beschreiben den Arbeitstypus der Einfacharbeit als einen solchen, an den keine höheren fachlichen Anforderungen gestellt, bei dem die Arbeit ein bestimmtes Anspruchsniveau nicht überschreitet und eine Automatisierung sich technisch nicht realisieren lässt bzw. als zu kostenintensiv eingestuft wird (Jürgenhake/Szesny/Wiengarten 2015). Typisch sind „kleine und häufig wechselnde Serien und hohe manuelle Fertigkeiten“ (ebenda, S. 17), d. h. Konstellationen, wie sie gerne im Zusammenhang mit der additiven Fertigung von Prototypen und Modellen auftreten. Einfacharbeitsplätze können aber auch als Residualkategorie aufgrund betrieblicher Umstrukturierung dadurch geschaffen werden, dass Arbeiten zu Arbeitsplätzen zusammengefasst werden, „um die Fachkräfte im Unternehmen zu entlasten. [...] Dafür werden z. B. auch arbeitsorganisatorische Veränderungen bewusst

17 Die Autoren verweisen hier auf Dengler/Matthes 2018.

18 Die Autoren verweisen an dieser Stelle auch auf ihre andere Analyse: Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b.

durchgeführt“ (ebenda). Neben Kostenüberlegungen können Schwierigkeiten bei der Fachkräftegewinnung eine Rolle spielen:

„Indem Fachkräfte von einfachen Arbeiten entlastet werden, sinkt der Bedarf an Fachkräften und der Bedarf an Anlerntätigkeiten steigt. Einige der Betriebe sehen in der Einstellung von Einfacharbeitskräften auch eine Chance, dem drohenden Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Es werden gezielt Personen ohne formale Qualifikation eingestellt, weil der Arbeitsmarkt dies noch hergibt. Diese werden dann mitunter Schritt-für-Schritt auf Fachkraftniveau entwickelt und können so perspektivisch eine Fachkraftstelle besetzen“ (Jürgenhake/Sczesny/Wiengarten 2015, S. 17).

Aus Beschäftigten in produktionsunterstützenden Anlerntätigkeiten können so Mitarbeiter auf Fachkräftenniveau werden, z. B. weil das Potenzial von Menschen erkannt wird, diese vielleicht auch noch ihre Begeisterung für einen Beruf entdecken und erfolgreich eine Ausbildung nachholen (ebenda). Wenn eine Person gering qualifiziert ist, heißt das nicht, dass sie arm an Grundkompetenzen ist und kein Entwicklungspotential besitzt (Kruppe/Osiander 2017, S. 151).

Allerdings sind auch an Einfacharbeitsplätzen die Anforderungen gewachsen (Bosch, o. J., S. 24),¹⁹ vgl. (Bosch 2018, S. 50). Deshalb treffe die Gleichsetzung „Einfacharbeitsplätze gleich Geringqualifizierte“ immer weniger zu. Sogar im Niedriglohnsektor, der im Alltagsverständnis als Domäne der „Geringqualifizierten“ verstanden wird, sind 75 Prozent der Niedriglohnbezieher qualifiziert (Bosch, o. J., S. 25).²⁰ Auch EDV-Administratoren oder IT-Experten, die „sich ihre Kompetenzen autodidaktisch angeeignet und ihre Fähigkeiten im Beruf unter Beweis gestellt“ hätten, würden im Falle ihrer Arbeitslosigkeit als „Geringqualifizierte“ angesehen werden (Klein/Reutter 2016, S. 4), was jedoch nicht ihren wahren Fähigkeiten entsprechen würde. Umgekehrt werden Fachkraftstellen zunehmend von Arbeitnehmern ohne formale Ausbildung besetzt, wie eine Studie im Auftrag der Bertelsmann-Stiftung belegt. Demnach arbeitet

19 Bosch nennt als Anforderungen: Soziale Kompetenzen, schnelle Auffassungsgabe, Umgang mit abstrakten Symbolen, Leistungsbereitschaft und Zuverlässigkeit, Körperliche Fitness und ansprechendes Äußeres, Sprachkenntnisse. Klarstellung: Die Internetseite web-wb zitiert den Beitrag von Gerhard Bosch auf der Dortmunder Arbeitsmarktkonferenz mit Jahresangabe 2014. Die PDF zur Veröffentlichung der Dokumentation hat jedoch als Erstelldatum den 20.02.2015.

20 Vgl. S. Pfeiffer 2008, S. 15, Zeller sowie Baethge-Kinsky/Tullius zitierend: „Von einem ‚Qualifikationsshift‘ (Zeller 2005, S. 58) auch und gerade für Angelernte ist die Rede und von erheblichen Veränderungen der Anforderungsstrukturen (Baethge-Kinsky/Tullius 2006, S. 114). Für an- und ungelernte Beschäftigte verschieben sich die inhaltlichen Anforderungen: sie brauchen zunehmend sowohl Fach- als auch Prozesskompetenz (Zeller/Richter/Dauser 2004, S. 51). Auch wenn das von Angelernten verlangte Fachwissen ‚wesentlich einfacher strukturiert‘ und sehr ‚konkret auf die spezifischen betrieblichen Prozesse bezogen‘ sei (ebd., S. 54).“ S. Pfeiffer 2008, S. 15 ist eine alternative Fundstelle für Baethge-Kinsky/Tullius 2005, S. 40.

heute „jeder zweite Arbeitnehmer ohne Ausbildungsabschluss auf einer Stelle, für die normalerweise eine Ausbildung erforderlich ist“ (Bertelsmann 2018a). Allerdings werden fehlende Abschlüsse oft durch Berufserfahrung und hohe Motivation kompensiert (ebenda). Das wirft die Frage auf, welche Wirkung eine solche Erfahrung – Einsatz als formal Unterqualifizierter anstelle einer ausgebildeten Fachkraft – auf die Weiterbildungsneigung der betroffenen Arbeitnehmer hat.

In einer Studie zur non-formalen beruflichen Weiterbildung stellen Christian Ebner und Martin Ehlert fest, dass betriebliche Weiterbildung zwar die Wahrscheinlichkeit verringert, beruflich abzusteigen²¹, gleichzeitig aber dem Aufstieg eher entgegensteht (Böckler Impuls 2019, S. 3) bzw. (Ebner/Ehlert 2018, S. 227, Tab. 3). So sind lediglich etwa 5 Prozent der Weitergebildeten aufgestiegen, während es bei den anderen, welche keine Weiterbildung genossen haben, knapp 13 Prozent waren. Die beiden Autoren warnen allerdings davor, daraus den Schluss zu ziehen, dass es sinnvoll sei, Weiterbildung abzuwerten, im Gegenteil würde sie vor individuellen Abstiegen schützen (Ebner/Ehlert 2018, S. 231). Im Bereich der additiven Fertigung mit ihrer dynamischen Entwicklung kommt ein Beharren auf erreichten Positionen ohnehin nicht in Frage. Gerade für Geringqualifizierte in der additiven Fertigung gilt es eher, im Sinne der eigenen Zukunftssicherung zu prüfen, ob sich Möglichkeiten bieten, formale Qualifikationen – z. B. in der Konstruktion, im Arbeitsschutz oder im Qualitätsmanagement – zu erwerben.

4.4 Weiterbildungsbarrieren für Geringqualifizierte

Es ist eine bekannte Tatsache, dass sich Geringqualifizierte selten weiterbilden (Frick/Wittenbrink 2018, S. 4), (n-tv.de 2018). In Deutschland ist nicht nur die allgemeine Teilnahme an Bildungs- und Weiterbildungsmaßnahmen gering, die Beteiligung Geringqualifizierter an Bildungs- und Weiterbildungsmaßnahmen fällt besonders gering aus, insbesondere z. B. im Vergleich zu Dänemark oder Schweden (Eichhorst et al. 2019, S. 73, Abb. 32). In diesen Ländern verfolgt der Staat eine aktive Arbeitsmarktpolitik mit Weiterbildungsmaßnahmen und einer berufsbegleitenden Bildung, „vor allem für geringer qualifizierte Menschen“ (Dettmer 2019).

²¹ Von 9,8 Prozent bei den Arbeitnehmern ohne betriebliche Weiterbildung auf 4,7 Prozent bei den Schulungsteilnehmern.

Als Ursachen für die geringe Weiterbildungsneigung in Deutschland werden aber unterschiedliche Gründe diskutiert. Warnhoff und Krzywdzinski zeigen, „dass Probleme im Hinblick auf Lernen und Weiterbildung weniger auf fehlende individuelle Lernbereitschaft als vielmehr auf strukturelle Gründe zurückzuführen sind“ (Warnhoff/Krzywdzinski 2018, S. 58). Es liegt also nicht unbedingt an der individuellen Lernmotivation. Zum einen „können gering qualifizierte Beschäftigte viele Informations- und Kommunikationsangebote kaum nutzen, weil sie im eng getakteten Schichtbetrieb arbeiten“ oder weil „sie von ihren direkten Vorgesetzten selten für Weiterbildungsmaßnahmen oder für die neuen Kompetenzteams ausgesucht“ werden (Warnhoff/Krzywdzinski 2018, S. 59).

„Meist greifen Führungskräfte auf bereits gut qualifizierte Beschäftigte zurück, die als Multiplikatoren für interne Lernprozesse fungieren sollen. Diese Praxis der Führungskräfte geht darauf zurück, dass ihre begrenzten Budgets nur die Qualifizierung einzelner Beschäftigter erlauben“ (Warnhoff/Krzywdzinski 2018, S. 59).

Auch Wotschack stellt fest, dass Betriebe dazu neigen, „bei an- und ungelernten Beschäftigten von besonders geringen Weiterbildungsrenditen und größeren Risiken eines Verlustes von Weiterbildungsinvestitionen auszugehen“ (Wotschack 2017, S. 364). Das führt nicht nur dazu, dass sie – anstelle den Beschäftigten allgemeine Qualifikationen zukommen zu lassen – eher in betriebsspezifische Weiterbildung investieren. Darüber hinaus konzentrieren sie ihre Weiterbildungsmaßnahmen auf solche Personengruppen, „bei denen ihnen die Weiterbildungsrenditen relativ hoch und sicher erscheinen“ (ebenda).

Insbesondere den meisten KMU ist hier allerdings auch zugute zu halten, „dass sie mehrheitlich nicht über die Ressourcen für notwendige infrastrukturelle, personelle und organisatorische Voraussetzungen verfügen“, um eine gezielte betriebliche Weiterbildungsstrategie zu verfolgen (Dobischat/Düsseldorf 2013, S. 249). Folge dieser eingeschränkten betrieblichen Fördermöglichkeiten kann dann eine Verlagerung individueller Weiterbildungsaktivitäten in den privaten Bereich und außerhalb der Arbeitszeit sein (Warnhoff/Krzywdzinski 2018, S. 59), die entsprechende Bereitschaft der Beschäftigten vorausgesetzt.

Das DIE zählt in Anlehnung an MacKeracher et al. vier Typen von Hemmnissen auf, welche der Qualifizierung von Geringqualifizierten im Wege stehen würden: Situative Barrieren, kognitive Barrieren, institutionelle Barrieren und dispositionale Barrieren.

Tabelle 1: Weiterbildungsbarrieren

Barriere	Worum geht es?	individuelle Faktoren	institutionelle Faktoren
situative Barrieren	Bedingungen, die individuell eine Teilnahme behindern	Rollenkonflikte, durchgeplantes Leben, fehlende Ressourcen: Zeit, Kraft, Geld, fehlende Unterstützung im Umfeld	fehlende finanzielle Fördermöglichkeiten durch Institutionen
kognitive Barrieren	fehlende Kompetenzen, die bei der Mehrheit der Bildungsangebote vorausgesetzt werden	Lese-/Schreib-/Rechenfähigkeiten, Computerkenntnisse, Reflexionskenntnisse, Aufmerksamkeitsspanne, Informationsbeschaffung	fehlende didaktisch aufbereitete Lernmaterialien und fehlende Informationsmöglichkeiten
institutionelle Barrieren	Bedingungen, die den Zugang zu Gruppen von Angeboten beschränken	fehlende Eingangsvo-raussetzungen, fehlende Verwertungsmöglichkeiten	fehlende Unterstützungsangebote (z. B. durch das Unternehmen), fehlende Angebote zur Verwertung
dispositionale Barrieren	Einstellungsmuster, die eine Weiterbildungsteilnahme als nicht erstrebenswert erscheinen lassen	Selbstbewusstsein/Selbstvertrauen, Haltung zum Nutzen der Weiterbildung, negative frühere Lernerfahrungen, sich isoliert fühlen in der Lerngruppe, gesundheitliche Beeinträchtigung	fehlende Beratungsmöglichkeiten und psychologische Unterstützung

Anmerkung: An der Ursprungstabelle wurden folgende Veränderungen vorgenommen: Ersatz der Spaltenüberschrift „Beispiele“ durch die neue Überschrift „individuelle Faktoren“, Erweiterung der Tabelle um die Spalte „institutionelle Faktoren“ sowie Verschiebung des Punktes „fehlende Unterstützungsangebote“ aus der Spalte „individuelle Faktoren“ in die Spalte „institutionelle Faktoren“.

Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung der modifizierten Tabelle: Weiterbildungsbarrieren nach Ursachen – eigene Darstellung des DIE in Anlehnung an MacKeracher et al., 2006, in Hefler 2013, S. 94; Klein/Reutter 2016, S. 6; siehe auch Götz/Haydn/Natter 2018, S. 2.

Alle diese erwähnten Hemmnisse legen einen starken Fokus auf individuelle Faktoren bei den Geringqualifizierten. Selbst bei den „institutionellen Barrieren“, hinter denen man Antworten auf Probleme bei den Institutionen und den Arbeitgebern erwarten könnte, werden wieder nur Faktoren genannt, die letzten Endes durch mangelnde Anpassung bei den individuellen Geringqualifizierten erklärt werden können. „Fehlende Eingangsvoraussetzungen“, „fehlende Unterstützungsangebote“ und „fehlende Verwertungsmöglichkeiten“ können auch alleine auf mangelnde Passung im Hinblick auf spezielle einzelne Personen zurückgeführt werden. Widerstände gegen die Qualifizierung von Geringqualifizierten werden aber nicht nur von diesen selbst ausgeübt, sondern sind oft auf die spezifischen Interessen der Unternehmen zurückzuführen.

Klein, Reutter und Zisenis haben im Rahmen der Diskussion um die Arbeitsorientierte Grundbildung (AoG) einige Motive genannt, welche Unternehmen dazu bewegen, sich gegen die Weiterbildung Geringqualifizierter zu entscheiden – Gründe, welche auch für den Erwerb von Kompetenzen außerhalb der Arbeitsorientierten Grundbildung eine Rolle spielen könnten. Gründe gegen Arbeitsorientierte Grundbildung und Nachqualifizierung aus Unternehmensperspektive sind:

- „Genügend Arbeitskräfte auf dem Markt
 - Bildungsinvestitionen vergleichsweise teuer – andere kostengünstigere Lösungen haben Vorrang
 - Befürchtung, dass mit der Qualifizierung Erwartungen an steigende Entlohnung verbunden sind
 - Weiterbildung für die Beschäftigtengruppe hat geringe bis keine Priorität
 - Mitarbeiter gelten als froh, überhaupt einen Arbeitsplatz zu haben
 - Kompensation nicht hinreichender Kompetenzen Einzelner regeln Kollegen untereinander
 - Personalfreistellung für betriebliche Weiterbildung nicht möglich
 - Interne Treiber gehen verloren“
- (Klein/Reutter/Zisenis 2017, S. 88, Abb. 1)

Dabei geben auch sie nur Teil-Antworten, wichtige betriebssoziologische Gesichtspunkte werden nicht berücksichtigt. Dazu gehören auch einige sozialpsychologische und das Betriebsklima betreffende Aspekte wie der Einfluss von Nachqualifizierungen auf die Unternehmenskultur, die hierarchische Struktur und mögliche Verdrängungseffekte zwischen verschiedenen Mitarbeitern im Unternehmen.²² Dazu gehören:

²² Im Rahmen von Unternehmensgesprächen, die wir in anderen Projektzusammenhängen führten, zeigte sich, dass ein Unternehmen nicht bereit war, Personal aus einem typischen Bereich mit Einfacharbeitsplätzen – nämlich der Logistik – weiter zu qualifizieren. Über die tatsächlichen Beweggründe kann im Nachhinein nur noch spekuliert werden, es deutet jedoch einiges darauf hin, dass die genannten Punkte eine Rolle gespielt haben. Vgl. die Begründung der befragten Unternehmen für die

- Verdrängung von Personal auf den höher qualifizierten Arbeitsplätzen
- Bedarf an Ersatzpersonal für die noch bestehenden Einfacharbeitsplätze und dadurch sich ergebender Aufwand für dessen Beschaffung
- Anreiz zum Unternehmenswechsel für die höher qualifizierten Mitarbeiter, insbesondere solange im Unternehmen wenig Bereitschaft zur höheren Entlohnung – z. B. wegen begrenzter Personalmittel – besteht
- Unruhe in der Organisationsstruktur und im sozialen Gefüge des Betriebes
- größerer erwirtschafteter Ertrag bei Investition in die Bildung eines höherqualifizierten Mitarbeiters

Dietrich nennt diesen letzten Aspekt als Grund, weshalb Betriebe weniger geneigt sind, die Höherqualifizierung von Geringqualifizierten zu fördern. Da betriebliche Bildung zur Weiterentwicklung von Fachkräften gedacht sei, z. B. um diese in einen anderen Tätigkeitsbereich oder eine höherwertige Tätigkeit einzuführen,

„kommt sie vorrangig denjenigen zu, von denen Betriebe sich einen gewissen Return on Investment versprechen, was bestimmte Personengruppen (Geringqualifizierte, ältere Arbeitnehmer/innen sowie Randbelegschaften) eher ausschließt, wie Untersuchungen immer wieder zeigen“ (Dietrich 2019, S. 21).²³

Da additive Fertigung ein Gebiet mit raschem technologischen Wandel darstellt, gilt hier auch die Feststellung von Bosch, dass es sich für die Unternehmen auszahlt, Fachkräfte einzusetzen, selbst wenn dies hohe Anfangsinvestitionen in deren Berufsbildung bedeutet: Da sie „eigenständig Aufgaben übernehmen und man weniger Führungskräfte [...] braucht“ (Bosch 2018, S. 50).²⁴

In einer repräsentativen Umfrage unter 504 Unternehmen ab zehn Mitarbeitern hat sich ebenfalls gezeigt, dass im Bereich der Digitalkompetenzen Weiterbildungen für höher Qualifizierte als „sehr wichtig“ oder „eher wichtig“ eingestuft werden. Aber sogar 69 Prozent „geben an, dass dies auch bei gering Qualifizierten der Fall ist“ (Bitkom Research 2018, S. 25).

mangelnde Akzeptanz, Mitarbeiter in einem hoch innovativen, idealtypischen Digitalisierungsberuf des Produktionstechnologen auszubilden (Pfeiffer et al. 2016, S. 45 f.).

23 Dietrich verweist auf z. B. Kuwan et al. 2006.

24 Die Kompetenz zu „selbstständigem Arbeiten“ ist eine der Eigenschaften, welche Unternehmen für ihre Mitarbeiter in der additiven Fertigung wünschen (s. u.).

4.5 Lernort Betrieb als Chance zur Höherqualifizierung

„Die betriebliche Weiterbildung von An- und Ungelernten im Arbeitsverhältnis ist häufig begrenzt auf kurze Phasen des Anlernens oder Einweisens, um notwendige Fertigkeiten und Fähigkeiten für die Besetzung von Arbeitsplätzen bzw. für definierte Verrichtungen zu erlangen. Eine Erweiterung- oder gar Aufstiegsqualifizierung war in der Regel für diese Personengruppe nicht vorgesehen, was sich auch an der deutlich geringeren Teilnahmequote dieser Personengruppe an betrieblicher Weiterbildung zeigt. Dabei ist allerdings z. T. auch die Lern- und Weiterbildungsbereitschaft und -Fähigkeit dieser Zielgruppe zu berücksichtigen“ (Dietrich 2019, S. 16–17).

Dietrich bezeichnet deshalb die „Rückkehr“ der Zielgruppe der An- und Ungelernten an den Lernort Betrieb als eigentliche Bildungsinnovation. Das Lernen im Zusammenhang mit der Arbeit – ob während der Arbeit oder danach – ermögliche Lernerfahrungen, „die sich vom schulisch-seminaristischen Lernen unterscheiden“ und deshalb besonders geeignet wären.

Es stellt sich jedoch die Frage, wie die von ihm genannte Voraussetzung, dass „dieses Lernen pädagogisch, didaktisch und strukturell bzw. institutionell“ gestaltet sein müsse (Dietrich 2019, S. 17), gewährleistet werden kann. Er wirft selbst die Frage auf, „ob Betriebe als Wirtschaftsunternehmen überhaupt einen geeigneten Rahmen für das Lernen nicht formal Qualifizierter darstellen“ (ebenda, S. 21). Zumindest fordert der Fachkräftebedarf „das Interesse der Betriebe, auch formal nicht qualifizierte Personen, sowohl Beschäftigte als auch externe, potentielle Arbeitnehmer/innen durch Qualifizierungsangebote kennenzulernen und ggf. an sich zu binden und somit den Lernortbetrieb zu öffnen“ (Dietrich 2019, S. 17).

4.6 Weiterbildungsbeteiligung von Geringqualifizierten

In ihrem Forschungsbericht gehen Seyda, Wallossek und Zibrowius der Analyse der Einflussfaktoren der Weiterbildungsbeteiligung formal Geringqualifizierter Erwerbstätiger nach. Dabei stellen sie einen Zusammenhang zwischen dem Anteil an Einfacharbeit und der Teilnahme an Weiterbildung fest (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 36). Geringqualifizierte, welche keine Einfacharbeit erledigen, haben im fraglichen Zeitraum zwischen 1979 und 2012 häufiger an Weiterbildung teilgenommen als Geringqualifizierte mit Einfacharbeit.

Aber auch bei den Geringqualifizierten, die viel Einfacharbeit ausüben, ist die Weiterbildungsbeteiligung – allerdings von einem sehr geringen Niveau von unter 3 Prozent ausgehend, dafür aber massiv – auf fast 23 Prozent gewachsen. Bei den Geringqualifizierten ohne Einfacharbeit war das Ausgangsniveau etwa dreimal so hoch (10 Prozent) und ist auf etwa 55 Prozent gestiegen. Damit haben die Geringqualifizierten ohne Einfacharbeit eine Weiterbildungsbeteiligung erreicht, welche fast auf dem Niveau der „normal Qualifizierten“ liegt (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 36).

Zwar hat die Weiterbildungsbeteiligung von Geringqualifizierten mit mehr Einfacharbeit am stärksten zugenommen, dennoch nehmen sie seltener an Weiterbildung teil, je größer der Anteil an Einfacharbeit ist, die sie ausüben (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 38). Zur Erklärung für diese Zunahme der Weiterbildungsbeteiligung Geringqualifizierter verweisen sie auf die gestiegenen Arbeitsanforderungen, „sowohl quantitativ als auch in ihrer Bedeutung“. Geringqualifizierte üben heute vielfach anspruchsvollere Tätigkeiten aus als früher, und die Bedeutung dieser Anforderungen für die Weiterbildungsteilnahme ist gewachsen (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 42).

Was den Einfluss der Arbeitsbedingungen auf die Weiterbildungsbeteiligung betrifft, kommt die Studie zu keinem eindeutigen Ergebnis, wobei nicht ganz klar ist, ob dies daran liegt, dass die Arbeitsbedingungen tatsächlich keinen Einfluss auf die Weiterbildungsbeteiligung ausüben oder ob dies daran liegt, dass die ehemals Geringqualifizierten aufgrund der Weiterbildung nicht mehr in der Gruppe der Geringqualifizierten angetroffen werden könnten oder die belastenden Bedingungen durch Ersatz der Abläufe durch Maschinen entfallen sind (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 48).

Insgesamt haben nur drei Veränderungen im Arbeitsumfeld signifikanten Einfluss auf die Weiterbildungsteilnahme, nämlich die Einführung neuer Computerprogramme, neue bzw. deutlich veränderte Dienstleistungen und neue direkte Vorgesetzte (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 52).

Die Autoren ziehen das Resümee, „dass auch unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren ein signifikanter Unterschied zwischen der Weiterbildungsbeteiligung von Geringqualifizierten und der Weiterbildungsbeteiligung aller anderen Qualifikationsgruppen besteht: Personen mit abgeschlossener Berufsausbildung, mit Fortbildungsabschluss oder mit Hochschulabschluss nehmen signifikant häufiger an Weiterbildung teil als Beschäftigte ohne Abschluss“ (Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 55). Außer individuellen Faktoren werden aber auch unternehmerische Entscheidungen in Erwägung gezogen, „da betriebliche Weiterbil-

dung etwa 70 Prozent der individuellen Weiterbildungsaktivität ausmacht“ (ebenda).²⁵ Neben der Nutzung von Weiterbildung für den Kompetenzaufbau zählt die Fachkräftesicherung als wichtiges Motiv.

Wenn man einmal von der Weiterbildung in Betrieben absieht, sondern eine regionsspezifische Perspektive einnimmt, zeigen sich große Unterschiede zwischen verschiedenen Bundesländern, aber auch zwischen unterschiedlichen Regionen und sogar innerhalb von Regionen zwischen einzelnen Kommunen bzw. Kreisen. In Sachsen-Anhalt war die Wahrscheinlichkeit – dass sich ein Geringqualifizierter fortbildet – annähernd doppelt so hoch wie in Nordrhein-Westfalen, in Sachsen-Anhalt war es fast jeder elfte, in NRW nur knapp jeder 22ste (Frick/Wittenbrink 2018, S. 10). Den höchsten Anstieg der Beteiligungsquote von Geringqualifizierten konnte man im Saarland verzeichnen, dort hat sich die Quote von 2014 auf 2015 fast verdoppelt. Dies ist insofern bemerkenswert, als das Saarland im Vergleich der Bundesländer insgesamt – bei der Durchschnittsbevölkerung, d. h. über alle Qualifikationsstufen – mit einer Quote von lediglich 7,8 Prozent nur wenig mehr als die halbe Teilnahmequote von Baden-Württemberg (Teilnahmequote 15,3 Prozent) erreicht (Bertelsmann 2018b).

Die Teilnahmequote der Durchschnittsbevölkerung über alle Bundesländer lag 2015 bei 12,2 Prozent, von den Geringqualifizierten nahmen nur 5,6 Prozent an Weiterbildung teil. Damit lag ihre Quote noch merklich unter der Weiterbildungsquote der Armen²⁶, die wenigstens 7,7 Prozent Weiterbildungsbeteiligung erreichten. Demnach besteht dringender Handlungsbedarf, die Weiterbildungsbeteiligung von Geringqualifizierten zu erhöhen (Frick/Wittenbrink 2018, S. 10).

Regionale Besonderheiten in Gesellschaft, Wirtschaft und Infrastruktur erklären jedoch nur einen Teil der Unterschiede, zwischen einzelnen Landkreisen zu ungefähr einem Drittel. Das bedeutet, dass es noch weitere Faktoren geben muss, die gemeinsam noch größeren Einfluss auf die Weiterbildungsbeteiligung haben:

25 Seyda/Wallossek/Zibrowius 2018b, S. 55, zitieren aus den Ergebnissen des Adult Education Survey (AES) zum „Weiterbildungsverhalten in Deutschland 2016“. Bilger et al. 2017, S. 38, allerdings unter Nennung des BMBF als Quelle: „BMBF, 2017“.

26 Frick und Wittenbrink beziehen sich in ihrer Darstellung auf den „Bericht zur Armutsentwicklung in Deutschland 2017“ des Paritätischen Gesamtverbandes und nennen 12,9 Millionen Menschen, welche 2015 in Deutschland unterhalb der Armutsgrenze lebten (Frick/Wittenbrink 2018, S. 11). Sie weisen jedoch darauf hin, dass in den Zahlen des Paritätischen Gesamtverbandes Kinder sowie Rentner enthalten sind, „die bei der Betrachtung der Armen im Weiterbildungsatlas nicht erfasst sind“. In ihrem Datenquellenverzeichnis führen sie neben dem Paritätischen Gesamtverband das Deutsche Institut für Erwachsenenbildung e. V., das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung sowie die statistischen Ämter des Bundes und der Länder auf (Frick/Wittenbrink 2018, S. 30).

„Dazu zählen u.a. die Qualität der Weiterbildungen, die Erreichbarkeit der einzelnen Angebote, die Vernetzung und Zusammenarbeit der Akteure und nicht zuletzt die Frage, ob Weiterbildungsinteressierte unabhängig beraten werden“ (Frick/Wittenbrink 2018, S. 14).

4.7 Routinetätigkeiten, Arbeitsplatzwechsel und Weiterbildungsneigung

Auch Pascal Heß, Simon Janssen und Ute Leber gehen in ihrem IAB-Kurzbericht 16/2019 unter dem Motto „Beschäftigte, deren Tätigkeiten durch Technologien ersetzbare sind, bilden sich seltener weiter“ darauf ein, welche Wirkung Routinetätigkeiten für die Weiterbildungsbeteiligung haben. Dabei stellen sie fest:

„Einem besonders hohen Risiko, durch Technologien ersetzt zu werden, sind dabei jene Beschäftigte ausgesetzt, deren Tätigkeiten hohe Anteile an standarisierbaren, sich wiederholenden Aufgaben aufweisen“ (Heß/Janssen/Leber 2019, S. 1).

Da aus ihrer Sicht „die befragten Personen u. U. nur schwer einschätzen können, inwieweit sich ihre Tätigkeiten tatsächlich durch Maschinen ersetzen lassen könnten“, haben die Autoren ihre Berechnungen auch mit einem im Forschungsdatenzentrum der Bundesagentur für Arbeit und des IAB 2014 entwickelten Instrument zur Messung von Substituierbarkeitspotenzialen abgeglichen (Dengler/Matthes/Paulus 2014), dabei aber nur unwesentliche Unterschiede zu den von ihnen erhobenen, aktuellen Befunden festgestellt (Heß/Janssen/Leber 2019, Informationskasten 2, Seite 2). Ihr zentraler Befund ist, „dass Beschäftigte, deren Tätigkeiten eher durch Computer oder computergesteuerte Maschinen ersetzt werden können, nur unterdurchschnittlich an Weiterbildung teilnehmen“ (Heß/Janssen/Leber 2019, S. 5).

Als eine mögliche Ursache der unterdurchschnittlichen Weiterbildungsbeteiligung identifizieren sie das geringere Qualifikationsniveau der Beschäftigten mit hohen Anteilen an Routinetätigkeiten – ein Ergebnis, welches die Ergebnisse zu den Forschungen im Zusammenhang mit den sogenannten Einfacharbeitsplätzen untermauert. Da Hess, Janssen und Leber jedoch feststellen, „dass die Unterschiede in der Weiterbildungsbeteiligung auch dann bestehen bleiben, wenn man Beschäftigte innerhalb der gleichen Qualifikationsgruppen miteinander vergleicht“, schließen Sie, dass neben dem Qualifikationsniveau „weitere Faktoren eine Rolle spielen“ müssen.

Neben verschiedenen individuellen Merkmalen wie Alter oder Migrationshintergrund messen sie auch betrieblichen Charakteristika eine be-

deutende Rolle bei. In welchem Maße Arbeitgeber Geringqualifizierte in Weiterbildungsmaßnahmen einbeziehen, hängt demnach auch mit Charakteristika wie Betriebsgröße, Branche oder der generellen Ausgestaltung der Personalarbeit in einem Unternehmen zusammen (Heß/Janssen/Leber 2019, S. 5). Außerdem sei es bedeutsam, „ob die Betriebe einzelnen Arbeitnehmern konkrete Angebote zur Teilnahme an Weiterbildung unterbreiten“ (ebenda).

„So nehmen Beschäftigte dann eher an Weiterbildung teil, wenn ihr Arbeitgeber die Weiterbildungskosten (zumindest teilweise) übernimmt und/oder die Beschäftigten zur Teilnahme an Weiterbildung freistellt“ (Heß/Janssen/Leber 2019, S. 6). Die Autoren kommen jedoch auch hier zu dem Ergebnis, „dass Beschäftigte mit hohen Anteilen an Routinetätigkeiten von derartigen betrieblichen Aktivitäten weniger zu profitieren scheinen bzw. diese seltener annehmen als andere Beschäftigte“ (ebenda).

Indem sie die Weiterbildungsquote bei Beschäftigten mit geringen Routineanteilen mit der Weiterbildungsquote von Beschäftigten mit hohen Routineanteilen vergleichen, gelangen sie zu einer Differenz von 14 Prozentpunkten. Über die Hälfte dieser Differenz, nämlich 7,1 Prozent bleiben für sie jedoch eine „unerklärte Differenz“ (ebenda), die sie nicht weiter hinterfragen. Dabei vernachlässigen sie allerdings, dass es neben diesen extrinsischen Motivationsanreizen durch die Betriebsleitung auch intrinsische Faktoren geben könnte, welche Arbeitnehmer zur Teilnahme an Weiterbildungen motivieren oder sie eher entmutigen.

Es ist plausibel, dass Menschen in Routinetätigkeiten aufgrund von eingeübten Gewohnheiten die Schwelle zu verändertem Verhalten aus psychologischen Gründen nicht leicht durchbrechen können. Es kommt nämlich nicht nur auf den absoluten Anteil an Routinetätigkeiten an, sondern möglicherweise auch darauf, ob trotz überwiegenden Routinetätigkeiten zusätzlich Wechsel in den Abläufen stattfinden und Arbeitnehmer an unterschiedlichen Stellen im Betrieb eingesetzt werden, wie dies gerade bei KMU mit wechselnden individuellen Aufträgen häufig der Fall ist.

Deshalb könnte es eine lohnende Aufgabe weitergehender Untersuchungen sein, zu klären, ob in Betrieben Geringqualifizierte an Einfacharbeitsplätzen, welche permanent die gleichen Routinetätigkeiten ausüben eine andere Weiterbildungsbereitschaft haben als Geringqualifizierte in anderen vergleichbaren Betrieben, in welchen Geringqualifizierte zwar ebenfalls hauptsächlich Routinetätigkeiten ausführen, die aber durch den Einsatz an wechselnden Arbeitsplätzen eine höhere Flexibilität eingeübt haben, welche sie dazu motiviert, auch bereitwilliger Weiterbildungsangebote anzunehmen.

Sollte sich diese Hypothese bestätigen lassen, würde dies eine Aufruforderung an die Unternehmen darstellen, durch eine anregende Arbeitsplatzgestaltung und wechselnde Einsatzplätze die Flexibilität der geringqualifizierten Arbeitnehmer zu erhalten, um dadurch auch ihre Bereitschaft zur Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen zu erhöhen.

Es sind nämlich Änderungen im Kontext – hier: im Arbeitsumfeld –, welche gewohnte Verhaltensweisen durchbrechen helfen und es den Arbeitnehmern erst zu ermöglichen, ihre Handlungen unter „intentionale Kontrolle“ zu bringen (vgl. Wood/Tam/Witt 2005, S. 932), d. h. mit eigener Absicht aus den gewohnten Abläufen auszuscheren und sich dafür zu entscheiden, für eine bestimmte Zeit an einer Weiterbildung teilzunehmen, anstatt im als vertraut und sicher empfundenen Arbeitsumfeld zu verharren. Solche Änderungen im Kontext können Absichten beeinflussen und Gewohnheiten umlenken (vgl. ebenda).²⁷ Sogar ein größerer Radius im Kontext hat Einfluss auf die Weiterbildungsteilnahme, und so bestehen in Deutschland große regionale Unterschiede, wie der Weiterbildungsatlas belegt (Frick/Wittenbrink 2018).

4.8 Gering qualifiziert im Hinblick auf additive Fertigung

Da geringe Qualifikation nicht das Fehlen von Grundkompetenzen bedeuten muss (Kruppe/Osiander 2017) bestehen auch in der additiven Fertigung Beschäftigungsaussichten für Geringqualifizierte. Allerdings legen Unternehmen im Bereich der additiven Fertigung Wert auf starke Motivation und Selbstständigkeit der Beschäftigten. Darin unterscheiden sie sich nicht von anderen KMU, unter deren Weiterbildungszielen ebenfalls die „Förderung des selbstständigen Arbeitens“ hohe Priorität hat (Dobischat/Düsseldorf 2013, S. 249).

Es stellt sich jedoch die Frage, welche Qualifizierungsangebote sollten von Geringqualifizierten mit dem Ziel einer Beschäftigung in der additiven Fertigung in Anspruch genommen werden und welche Unternehmen bringen diesen Bemühungen dann auch die verdiente Wertschätzung entgegen, wenn die Unternehmen selbst angesichts der komplexen Entscheidungssituationen z. T. noch mit Orientierungsschwierigkeiten zu kämpfen haben.

- Gibt es geeignete Arbeitsplätze, z. B. mit Einfacharbeit, die von Geringqualifizierten ausgefüllt werden können?

²⁷ Wood, Tam und Witt beschreiben solche psychologischen Mechanismen, wenn auch in anderen Zusammenhängen.

- Welche Angebote können genutzt werden, um Geringqualifizierte für gesuchte Tätigkeiten in der additiven Fertigung zu qualifizieren?
- Welche Voraussetzungen bringen Geringqualifizierte mit, um aufgrund einer geeigneten Grundbildung, Motivation sowie ausbaufähigen Fertigkeiten/Anlagen für die additive Fertigung qualifiziert zu werden?
- Gibt es geeignete betriebliche Strukturen und die Bereitschaft der Unternehmen, Geringqualifizierte weiterzubilden bzw. weiterbilden zu lassen und an entsprechenden Arbeitsplätzen im Unternehmen einzusetzen?

Die Einstufung anhand der beruflichen Einsetzbarkeit stößt jedoch auch dann an ihre Grenzen, wenn es die entsprechenden Berufe noch gar nicht gibt, in Relation zu denen man gering qualifiziert sein könnte – wie dies beispielsweise im Zusammenhang mit den additiven Fertigungsverfahren der Fall ist.

Zwar sind die Tätigkeiten und erforderlichen Kompetenzen bekannt, auch kommen additive Verfahren in einigen Berufsbildern – z. B. in den Ausbildungsberufen Produktionstechnologe, Technischer Produktdesigner, Technischer Modellbauer, Gießereimechaniker und seit 2018 als Zusatzqualifikation in den industriellen Metallberufen und im Mechatroniker – vor und es gibt auch eine große Anzahl an Angeboten für Weiterbildungsmaßnahmen zur Vorbereitung und zum Training für die additive Fertigung. Diese richten sich aber überwiegend nicht an Geringqualifizierte. Außerdem existiert bisher kein Ausbildungsberufsabschluss nach BBiG speziell für die additive Fertigung, obwohl von Zeit zu Zeit immer wieder entsprechende Forderungen auftauchen.²⁸

Die Bewertung der Situation wird dadurch erschwert, dass es sich bei der additiven Fertigung nicht um eine einzelne Technologie, sondern um ein ganzes Spektrum verschiedenster Verfahren handelt,²⁹ die mit unterschiedlichen Materialien, unterschiedlichen Technologien und unterschiedlichen Kombinationen von Teilen dieser Technologien – untereinander und mit konventionellen Fertigungsverfahren arbeiten. Die Einsatzszenarien reichen von Modellen und Prototypen, Werkzeugen, Einzelstücken bis zur Serienfertigung.

Bezogen auf eine Tätigkeit im Rahmen der additiven Fertigung sind dann fast alle neuen Mitarbeiter Geringqualifizierte – abgesehen von Ingenieuren, welche im Rahmen ihres Studiums eines der additiven Ferti-

²⁸ Zum Beispiel die Forderung nach einem „Verfahrensmechaniker Additive Fertigung“ im 3druck.com-Newsletter (Radig 2014).

²⁹ Der Wikipedia-Artikel über den 3D-Druck bietet eine gute Übersicht über additive Fertigungsverfahren (Wikipedia 2019a).

gungsverfahren kennengelernt haben bzw. diejenigen, welche in einem der wenigen Berufe ausgebildet sind, in welchen additive Fertigungsverfahren bereits in die Berufsausbildung bzw. die Rahmenlehrpläne integriert worden sind. Kleine und mittelständische Unternehmen standen deshalb bisher oft vor der Herausforderung, Fachkräfte extern gewinnen und selbst anlernen zu müssen, um sie an Anlagen in der additiven Fertigung einsetzen zu können.

Nach den Aussagen von Unternehmen kristallisierten sich Personen mit handwerklicher „Vorbildung“ als Rekrutierungsquelle heraus. Von bisher befragten Unternehmen wurden z. B. Werkzeugmacher, Bodenleger, Friseure, Elektroniker genannt, mit welchen in der Praxis – in der Modellierung von 3D-Datensätzen oder bei der Maschinenbedienung – gute Erfahrungen gemacht wurden. Als entscheidende Kompetenzen werden handwerkliche Fertigkeiten, Flexibilität und gestalterische Kompetenzen genannt. Stellenausschreibungen der Agentur für Arbeit vom November 2018 weisen in die gleiche Richtung.³⁰ Wobei man berücksichtigen muss, dass sich die einzelnen additiven Fertigungsverfahren stark unterscheiden und für die jeweiligen Verfahren – z. B. gerade im Metallbereich – auch spezifische Materialkenntnisse eine wichtige Rolle spielen können.

Sicherlich ist ein allgemeiner Überblick zur Orientierung über die zahlreichen, sehr divergierenden additiven Fertigungsverfahren wichtig, für die Unternehmen dürften aber eher praktische, arbeitsplatzorientierte Schulungen von großem Interesse sein.

30 Erkenntnisse aus eigener Recherche.

5. Geringqualifizierte im Spannungsfeld zwischen Serienproduktion und Automatisierung

Die Möglichkeiten zur Beschäftigung Geringqualifizierter in der additiven Fertigung ergeben sich aus einem Zusammenwirken zwischen den Faktoren

- Einsatz additiver Fertigungsverfahren in der Serienproduktion,
- der Verfügbarkeit von Einfacharbeitsplätzen in der additiven Fertigung und
- der Automatisierung der additiven Prozesskette.

Voruntersuchungen zum Projekt haben das Problem aufgezeigt, dass in Betrieben kaum eine Konstellation anzutreffen ist, bei welcher sich einerseits im Bereich der konventionellen Fertigung geringqualifiziertes Personal im Wartestand zur Weiterbildung befindet und andererseits im Bereich der additiven Fertigung Personal ohne hohe fachspezifische Kompetenz auf dem Ingenieurs- oder Technikerniveau benötigt werden würde.

In den meisten Unternehmen werden additive Fertigungsanlagen immer noch weitgehend für die Herstellung von Prototypen oder Werkzeugen eingesetzt.³¹ Dabei handelt es sich überwiegend um anspruchsvolle Arbeitsplätze für hochqualifizierte Mitarbeiter mit viel Verantwortung, welche sich aus den hohen Kosten für die additive Fertigung ergeben. Das liegt teilweise an den hohen Preisen für die Anlagen – von denen die Unternehmen eine Amortisierung in einem angemessenen zeitlichen Rahmen erwarten dürften –, an teurem, maschinenspezifischen Material, teilweise an der langen Dauer des Bauprozesses von mehreren Stunden³² und an der Kompetenz des Anlagenbedieners, die oft noch nicht routinemäßig ablaufenden Bauprozesse durch gezieltes experimentelles Vorgehen hin zu optimalen Einstellungen einzugrenzen.

31 In einer Umfrage unter VDMA-Mitgliedern vom Frühjahr 2018 ergaben sich bei der Frage „Welchen Einsatz finden die additiv gefertigten Bauteile in Ihrem Hause?“ folgende Werte: 50 % Prototypen/Muster, 15 % Serienteile, 15 % Werkzeuge, 14 % Ersatzteile und 6 % andere (R. Gebhardt 2018a).

32 Deshalb entstehen hohe Kosten – z. B. für das verbrauchte Material –, wenn der Prozess noch nach längerer Laufzeit abgebrochen werden muss, weil das Bauteil Schadstellen enthält und das Ergebnis unbefriedigend ausfällt.

„Noch müssen die Bediener von AM-Anlagen hoch qualifiziert sein, um die Komplexität zu beherrschen. Hier wünschen wir uns einfachere, möglichst standardisierte Steuerungen. [...] Die Integration in Prozessketten, ein höherer Automatisierungsgrad und konsequente Digitalisierung sind die Voraussetzung, um AM in Richtung Großserie zu entwickeln“,

so Carsten Merklein, Leiter der Abteilung Additive Manufacturing, Schaeffler Technologies AG & Co. KG im VDMA-Interview (VDMA 2018b). Nach seiner Prognose werden wir im Jahr 2030

„hochintegrierte, automatisierte, dezentrale und volldigitale Prozessketten sehen, in denen es ein Miteinander von additiven und konventionellen Verfahren gibt. AM-Anlagen werden automatisiert sein, manuelles Pulverhandlung oder Nachbehandlung wird es nur noch in Ausnahmefällen geben“ (ebenda).

Auch das Projekt NextGenAM des Anlagenherstellers EOS, des Automobilherstellers Daimler sowie des Luftfahrtzulieferers Premium Aerotech verfolgt das Ziel, eine „vollautomatisierte additive Produktion aufzubauen“ (Daimler 2018). In diesen Beispielen zeigen sich die zwei Seiten der Automatisierung: Einerseits sollen einfachere Steuerungen die Bedienung durch weniger hoch qualifiziertes Bedienpersonal ermöglichen, andererseits sollen voraussichtlich derzeit vorhandene manuelle Tätigkeiten – bis auf wenige Ausnahmefälle – weiter reduziert werden.

Gegenwärtig ergeben sich noch ausreichend einfache Tätigkeiten zum Beispiel im Rahmen von Auspackprozessen wie dem Entpulvern, dem Entfernen von Stützstrukturen, der Übergabe von Teilen zwischen verschiedenen Anlagen bzw. Bearbeitungsstationen wie etwa von einer Laserschmelzanlage zu einem Sinterofen. Hinzu kommen Nachbearbeitungen wie Infiltrieren und weitere Veredelungsprozesse, wie Airbrushen, Beschichten, Strahlen, Tumbeln, Lackieren, die wenigstens z. T. manuell ausgeführt werden bzw. mindestens eine Maschinenbedienung erfordern.

Auch im Bereich 3D-CAD-Konstruktion für 3D-Druck gibt es einander entgegengesetzte Entwicklungen, welche formal Geringqualifizierte betreffen. Konstruktion für den 3D-Druck erfordert die Berücksichtigung spezifischer Eigenheiten der additiven Fertigungsprozesse, insbesondere die Anisotropie (Richtungsgebundenheit von Festigkeit und Ausdehnungskoeffizienten) sowie Treppenbildung, die in einem gewissen Maße durch Drehen des Teils im Bauraum minimiert oder ausgeglichen werden können sowie die Berücksichtigung von Stützstrukturen,³³ also Zu-

33 Auch gibt es Bemühungen, das Werkstück statt des Druckkopfes zu führen, wodurch Stützstrukturen entfallen und der Bauprozess erheblich verkürzt werden kann (TH Köln 2017).

satzkenntnisse, welche bisher mit CAD vertraute Beschäftigte erst erlernen müssen.³⁴

Andererseits wird die spezielle Software zur Konstruktion für die additive Fertigung so erweitert, dass sie genau jene Besonderheiten der additiven Fertigung automatisch berücksichtigt und nicht nur den ausgebildeten Konstrukteur, sondern – zumindest in bestimmten Fällen – sogar den „einfachen Montagelinie-Mitarbeiter“ in die Lage versetzen kann, funktionsfähige Produkte zu erzeugen. Die Softwarefirma trinckle hat für den Automobilhersteller Ford eine industrieübergreifende Software zur automatischen Konstruktion von AM-Designs zur Erstellung einer Typenlehre entwickelt. Mit dieser Typenlehre können „Serien- und Fahrzeugtypbezeichnungen auf der Karosserie des Fahrzeugs positioniert werden“:

„Der Nutzer trägt lediglich innerhalb einer intuitiven Benutzeroberfläche die Daten der zu platzierenden Schriftzüge und der Karosserie ein. Anschließend fügt er per Mausklick einige Standardelemente hinzu, wie z. B. Beschriftungsfelder, Anschläge zur Positionsbeschränkung oder Magnetaufnahmen zur Fixierung. Daraufhin generieren die Algorithmen der **paramate** Software automatisch die Werkzeuggeometrie. Der Designprozess dauert lediglich zehn Minuten und nicht mehr zwei bis vier Stunden, wobei die Handhabung so einfach ist, dass weder die Expertise im AM-gerechten Design noch die Qualifikation eines CAD-Konstrukteurs erforderlich sind, um schnell und günstig ein funktionsfähiges Werkzeug zu produzieren. So sind auch Montagelinie-Mitarbeiter in der Lage, selbst ihre Werkzeuge herzustellen“ (Zieler 2018, Hervorhebung im Original).

An diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass die Vereinfachung von Fertigungsprozessen auch Nachteile für Beschäftigte haben kann. Sie eignet sich zwar, die Weiter-/Beschäftigung von Geringqualifizierten zu ermöglichen, gleichzeitig kann sie aber auch höher qualifiziertes Personal tendenziell überflüssig machen oder – auf längere Sicht – ausgegerechnet die gerade mit den vereinfachten Aufgaben betrauten Beschäftigten geringerer Qualifikation selbst im Rahmen der weiteren Automatisierung der Prozesse ersetzen. Dementsprechend stellt das IAB in einem Kurzbericht über den Strukturwandel am Arbeitsmarkt seit den 70er Jahren fest, dass bei den Geringqualifizierten die Arbeitsplatzabbaurate größer als die Arbeitsplatzaufbaurate war (Gartner/Stüber 2019, S. 4). Diese Aussage lässt sich auch so formulieren:

„Die Verlierer des Strukturwandels sind eindeutig die Geringqualifizierten. Bei ihnen zeichnet sich ein bemerkenswerter Trend ab: Sowohl die Arbeitsplatzaufbau- als auch die -abbaurate sind über die Zeit gestiegen. Das bedeutet, dass durch die Digitalisierung zwar weiterhin viele Jobs mit geringem Anforderungs-

34 Hierzu gibt es spezielle Design-Richtlinien, z. B. vom Schweizer Kompetenzzentrum für den Technologietransfer und ETHZ-Partner inspire AG, irpd – institute for rapid product development die „Design-Richtlinien Additive Manufacturing“ (Schmid, o. J.)

profil entstehen, z. B. in der Logistikbranche. Diese verschwinden jedoch bei zunehmender Automatisierung und Digitalisierung auch wieder schneller. Somit sinkt die Sicherheit und Stabilität des Arbeitsplatzes für Beschäftigte mit geringer Qualifikation“ (Nyarsik 2019).

Ein mögliches Mittel, um der Gefahr der Dequalifizierung entgegenzu- steuern, ist – zumindest für diejenigen Arbeitnehmer, welche am dualen Ausbildungssystem partizipieren können – eine Zusammenführung von Berufen oder eine Festlegung gemeinsamer Kernqualifikationen bei mehreren Berufen, so dass bei Verlust eines bestimmten Anteils an Qualifikationen ein immer noch bedeutendes Bündel an Qualifikationen erhalten bleibt, welches dem Träger dieser Qualifikationen eine größere berufliche Flexibilität (Matthes et al. 2019, S. 23) und damit eine längerfristige Wettbewerbsfähigkeit auf dem Arbeitsmarkt verleiht.

Eine andere ergänzende Maßnahme ist die Einrichtung bzw. der Erhalt überbetrieblicher Ausbildungseinrichtungen, durch welche Auszubildende kleiner Betriebe, welche nicht über moderne Anlagen verfügen, am technischen Fortschritt teilhaben können (Matthes et al. 2019, S. 24). Das gilt gerade vor dem Hintergrund, dass im Zusammenhang mit der Modernisierung der industriellen Metallberufe und des Mechatronikers sowie der Mechatronikerin, die Zusatzqualifikation Additive Fertigungsverfahren nur optional zwischen Unternehmen und Auszubildenden vereinbart wird und dadurch möglicherweise an Auszubildenden vorbeigeht, welche in ihrem Betrieb keine entsprechenden Anlagen kennenlernen können (siehe auch Kapitel 6.1).

Darüber hinaus empfiehlt das IAB die Entwicklung neuer Verfahren zur Beschreibung von Kompetenzprofilen, damit Qualifizierungs- und Weiterbildungsbangebote inhaltlich auf Berufe, Branchen und Regionen zugeschnitten werden können (Matthes et al. 2019, S. 24).

Schließlich stellt sich die Frage, wann jeweils – bezogen auf eine bestimmte technologische Entwicklung – ein günstiger Moment ist, Technologieentwickler und die für Ausbildung und Qualifizierung verantwortlichen Akteure miteinander zu vernetzen, damit technologische Entwicklungen frühzeitig im Bildungssystem berücksichtigt werden können. Hierzu sind nicht nur Erkenntnisse der Diffusionsforschung heranzuziehen, sondern auch nutzbare Daten zu generieren, welche überhaupt erst Prognosen über zu erwartende Entwicklungen erlauben und die Grundlage jeder rationalen Planung auch im Berufsbildungssystem sein sollten.³⁵

35 Es sei hier noch einmal an den IAB-Forschungsbericht 5/2019 mit der BMAS-Prognose „Digitalisierte Arbeitswelt“ erinnert, welcher weder das Stichwort „3D-Druck“ noch Teile des Begriffs „Additive Fertigung“ enthält (Zika et al. 2019).

6. Bildungsmaßnahmen zur Qualifizierung für die additive Fertigung

6.1 Ausbildungen mit Inhalten zu additiven Fertigungsverfahren

Bislang existiert kein Ausbildungsberuf, der speziell auf eine Tätigkeit in der additiven Fertigung vorbereiten würde. Allerdings sind entsprechende Inhalte in einige Ausbildungsordnungen eingegangen. Dazu gehören der Produktionstechnologe, der technische Modellbauer, der technische Produktdesigner sowie der Gießereimechaniker. Im Rahmen der Modernisierung der industriellen Metallberufe, die 2018 stattgefunden hat und zur Ertüchtigung dieser Berufe für die Digitalisierung beitragen soll, können Inhalte zur additiven Fertigung als optionale Zusatzqualifikation in die Ausbildung eingefügt werden. Das bedeutet, dass Unternehmen gemeinsam mit ihren Auszubildenden entscheiden können, ob sie von dieser Zusatzqualifikation profitieren möchten oder nicht (BIBB 2018).

Additive Fertigung ist seit mehreren Jahren in einige Ausbildungsordnungen bzw. Rahmenpläne eingegangen, wie z. B. Produktdesigner/-in, technische/-r Modellbauer/-in, Gießereimechaniker/-in, Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, Graveur/-in, Metallbildner/-in. Für die Zahntechniker und -technikerinnen gibt es eine überbetriebliche Lehrungsunterweisung (ÜLU) von 2011, welche die Ausbildungsordnung von 1997 um CAD/CAM-Technologie einschließlich 3D-Druck ergänzt (Heinz-Piest-Institut 2011).

Im Jahre 2017 haben sich als Sozialpartner der Verband Gesamtmetall, die Industriegewerkschaft Metall und die Fachverbände VDMA und ZVEI geeinigt, die Digitalisierung der Metall- und Elektroberufe sowie des Mechatronikers voranzutreiben (Gesamtmetall et al. 2017). Im Zuge der 2018 darauffolgenden Modernisierung der industriellen Metallberufe – Anlagenmechaniker/-in, Industriemechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in, Werkzeugmechaniker/-in, Zerspanungsmechaniker/-in – und des Mechatronikers bzw. der Mechatronikerin wurden additive Fertigungsverfahren als optionale Zusatzqualifikationen eingeführt.³⁶ Seither können Additive Fertigungsverfahren optional als Zusatzqualifikation

³⁶ Vom DIHK existiert ein dazu gehöriger Leitfaden zu den Änderungen in der Prüfungsorganisation mit Hinweisen für Ausbildungsbetriebe, Auszubildende sowie Prüferinnen und Prüfer (DIHK 2018a).

zwischen einem Unternehmen und seinen Auszubildenden vereinbart werden.^{37,38}

Das IAB weist zu Recht darauf hin, dass durch die Optionalität „die Gefahr eines Auseinanderdriftens von hoch- und gering-technologisierter Ausbildung“ besteht und damit auch die Gefahr einer systematischen „Benachteiligung von Auszubildenden in Betrieben, die nicht über moderne technologische Maschinen und Geräte verfügen“ (Matthes et al. 2019, S. 21). Dadurch laufen sie Gefahr,

„den Anschluss an die Neuerungen in ihrem Beruf zu verlieren. Um das zu verhindern, müssen Berufsschulen, überbetriebliche Ausbildungseinrichtungen oder durch Ausbildungsverbünde bzw. -konsortien organisierte Technologiezentren zu Lernorten werden, in denen alle Auszubildenden (und auch die zu qualifizierenden Beschäftigten) Einblick in die modernsten Technologien erhalten“ (Matthes et al. 2019, S. 21).

Tabelle 2: Berufsausbildungen mit Inhalten zu AM

Regularium	Berufsbezeichnung	Inhalt	Jahr
Ausbildungsordnung	Technische/-r Modellbauer/-in	„Herstellungsstrategien für generative Fertigungsverfahren unter Berücksichtigung von Produktgeometrien, Werkstoffen und Maschinen festlegen“	2009
Rahmenlehrplan	Technische/-r Modellbauer/-in	Rapidprototyping, generative Fertigungsverfahren, Rapid Tooling, Direct Manufacturing	2009
Rahmenlehrplan	Produktionstechnologe/-in	„generative Verfahren“	2008
Rahmenlehrplan	Technische/-r Produktdesigner/-in	„Rapid Prototyping“	2011

37 Auch die Gießereibranche ist bestrebt, sich der Regelung wie in den industriellen Metallberufen anzuschließen und zusätzlich zur bisher schon erfolgten Erwähnung von Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Direct Manufacturing im Rahmenlehrplan additive Fertigungsverfahren auch noch als Zusatzqualifikation in die Ausbildung des Gießereimechanikers/der Gießereimechanikerin aufzunehmen.

38 Die IG Metall empfiehlt den Betriebsräten, im Rahmen ihrer Mitbestimmungsmöglichkeiten zu klären, „welche ZQs für die betriebliche Qualifizierung bedeutend sind, den Zugang von Auszubildenden“ zu „sichern und den Einsatz in der betrieblichen Weiterbildung in den Blick“ zu nehmen (IG Metall Vorstand 2018, S. 3).

Unterweisungsplan ZAHN4/11	Zahntechniker/-in	Einführung in die CAD-Technologie: CAD und 3D-Druck; Einführung in die CAM-Technologie: additive Verfahren (Stereolithographie, 3D-Drucken, selektives Lasersintern ...)	2011
Rahmenlehrplan	Gießereimechaniker/-in	„Herstellungsprozesse und Ergebnisse von Rapid Prototyping berücksichtigen“, Rapidprototyping, Rapid Tooling, Direct Manufacturing	2015
Rahmenlehrplan	Graveur/-in	CAD-Daten für 3-D-Ausdrucke zur Modell- und Formenerstellung aufbereiten	2016
Rahmenlehrplan	Metallbildner/-in	künstlerische Entwürfe im 3D-Druckverfahren anfertigen	2016
Lernfeld	Graveur/-in Metallbildner/-in	Muster, Modelle und Formen aus verschiedenen Werkstoffen mit rechnergesteuerten Maschinen (Fräsmaschine, 3D-Drucker) anfertigen	2016
Ausbildungsordnung, Prüfung der Zusatzqualifikation Additive Fertigungsverfahren	Industrielle Metallberufe (s. o. im Text) Mechatroniker/ Mechatronikerin	Additive Fertigungsanlagen einzurichten und zu betreiben	2018
Ausbildungsrahmenplan für die Zusatzqualifikationen	Industrielle Metallberufe (s. o. im Text) Mechatroniker/ Mechatronikerin	Modellieren von Bauteilen, Vorbereiten von additiver Fertigung, additives Fertigen von Produkten	2018

Quelle: *Verordnungen über die Berufsausbildung (Bundesgesetzblatt) und Rahmenlehrpläne (Kultusministerkonferenz/KMK), teilweise Übernahme aus (Marschall 2016, S. 26–28) mit Ergänzung um Unterweisungsplan (ÜLU) ZAHN4/11 (Heinz-Piest-Institut 2011)*

6.2 Weiterbildung für die additive Fertigung

Der Weiterbildungsmarkt für additive Verfahren kann angesichts einer großen Anzahl an Angeboten als unübersichtlich bezeichnet werden. Viele Lehrgänge und Seminare haben Entscheider und bereits qualifiziertes Personal als Zielgruppe. Bereits das Basisseminar „Additive Manufacturing für Einsteiger“ des Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik

und Angewandte Materialforschung IFAM wendet sich an Techniker, Ingenieure, Bachelor- und Masterabsolventen aus dem Ingenieurs- und naturwissenschaftlich-technischen Bereich (Fraunhofer IFAM o. J.).

Als einer der am längsten bekannten Lehrgänge, welcher sich nicht vorwiegend an Entscheider in Unternehmen richtet, sondern welcher auch und gerade für die Mitarbeiter auf der Produktionsebene entworfen wurde, ist der Lehrgang „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren in den Fachrichtungen Kunststoff und Metall nach den Richtlinien DVS 3601-1 und 3602-1“ (vgl. DVS 2018, S. 06). Zielgruppe dieser Qualifizierung sind „Facharbeiter, Meister und Techniker, die für die Bedienung von Anlagen zum selektiven Laserstrahlschmelzen verantwortlich sind oder sein werden“ (LZH Laser Akademie GmbH 2019). Während für die Teilnahme an der Prüfung (im Bereich Metall) mindestens eine abgeschlossene Berufsausbildung im Metall- oder Elektrobereich vorausgesetzt wird, können Personen, welche diese Mindestvoraussetzung nicht erfüllen, trotzdem am Lehrgang teilnehmen und zumindest eine Teilnahmebescheinigung erhalten – also von der Qualifizierung profitieren.

Das Kunststoff-Institut Lüdenscheid offeriert einen Fachlehrgang „Verfahrensmanager Industrieller 3D-Druck“ sowie zwei Seminare „Industrieller 3D-Druck“ und „Basiswissen der additiven Fertigung“. Das Basiswissen-Seminar wendet sich allgemein an „Alle die sich mit dem Thema additive Fertigung/3D-Druck befassen und in die Thematik einsteigen wollen“ (Kunststoff-Institut Lüdenscheid 2019).

Während sich die IHK Akademie Schwaben mit ihrem Tagesseminar an „Fach- und Führungskräfte aller Branchen aus den Bereichen der Produktion, Konstruktion und Entwicklung sowie Anwender von RP-Verfahren“ richtet (IHK Akademie Schwaben 2019), hat das IHK Bildungshaus Stuttgart einen bundeseinheitlichen Zertifikatslehrgang „Fachkraft für 3D-Drucktechnologien (IHK)“ entwickelt, der von Kammern an unterschiedlichen Standorten angeboten wird (DIHK 2018b). Aber auch hier weist die Beschreibung der Zielgruppe „Fachkräfte mit abgeschlossener Berufsausbildung in den Bereichen Technik, Design und Konstruktion oder mehrjähriger Berufspraxis“ eher ein Teilnehmerpektrum im höherqualifizierten Bereich auf.

Weitere Anbieter sind z. B. TÜV, VDI, Hochschulen und Universitäten, Unternehmen wie Protiq oder Jell etc. Die Nachwuchsstiftung Maschinenbau führte im Jahr 2018 Projekte durch, um Lehrkräfte aus dem Saarland in der rechnergestützten Fertigung fortzubilden und Multiplikatoren aus Nordrhein-Westfalen zur Ausbildung 4.0 zu befähigen. Im ersten Fall ging es unter anderem um „das Fertigen eines Prototyps des erstellten Bauteils mit einem 3D-Drucker“, im zweiten Fall war „Additive Manufacturing“ eines von acht Modulen, welches die Ausbilder und Leh-

rer mit Unterstützung didaktisch aufbereiteter Materialien an ihre Auszubildenden weitergeben können sollten (Nachwuchsstiftung Maschinenbau 2019, S. 16 und S. 41).

Als Berufsabschluss mit Einsatzmöglichkeiten in der additiven Fertigung ist der technische Produktdesigner mit entsprechender technischer bzw. handwerklich gestalterischer Kompetenz anzusehen. Abgesehen von diesen wenigen Beispielen aus dem Berufsbildungssystem stellen manche Unternehmer die Frage, welche Qualifizierungen sie für Personal benötigen, welches sie in der additiven Fertigung einsetzen.

Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten für Unternehmen, alleine die richtigen Investitionsentscheidungen für die additive Fertigung zu treffen, stellt sich die Frage nach der Auswahl der angemessenen Qualifizierungsmaßnahmen für das Unternehmen. Es ist nicht so leicht vorstellbar, dass es eine prototypische Bildungsmaßnahme zur Vorbereitung von Geringqualifizierten geben könnte, mit welcher man sie auf eine Tätigkeit in der additiven Fertigung vorbereiten könnte, vergleichbar einer digitalen „Grundbildung“.³⁹ Abgesehen von einem vorstellbaren 3D-CAD-Lehrgang, welcher die Konstruktionskenntnisse für verschiedene additive Verfahren und Anwendungen quasi synoptisch vermittelt, könnte es schwierig werden, in einem Lehrgang für ein Spektrum, welches so unterschiedliche Verfahren wie Stereolithographie und Laserschmelzen umspannt, sowohl überblicksartige als auch ins Detail gehende und gleichzeitig an der praktischen Anwendung an der Anlage orientierte Kompetenzen zu vermitteln.

Möglicherweise ließen sich aber wenigstens „Erfolgsindikatoren“ (Klein/Reutter/Zisenis 2017) identifizieren, welche dazu beitragen könnten, Weiterbildungsmaßnahmen für 3D-Druck sinnvoll und erfolgreich zu machen. Auch diese dürften von den betroffenen Unternehmen im Kontext der anderen Maßnahmen zur Personalgewinnung für den Einsatz in der additiven Fertigung abgewogen werden.

Es sind kaum Weiterbildungsangebote bekannt, die dazu geeignet wären, Kompetenzen für gering qualifizierte Tätigkeiten in der additiven Fertigung zu vermitteln. Niederschwellige allgemeine Einführungen in die additive Fertigung dienen in der Regel nicht dazu, Fertigkeiten zu vermitteln, die man an einem Arbeitsplatz im Zusammenhang mit einfachen, manuellen Tätigkeiten für die additive Fertigung benötigt, sondern führen eher in die Grundprinzipien des 3D-Drucks einschließlich Datenerzeugung durch Scannen, Konstruktion und Funktionsprinzipien der

39 Andere Konzepte zur Weiterbildung für die Digitalisierung wurden modellhaft im Rahmen von Projekt Nr. 102/17 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) durch das VDI Technologiezentrum erstellt (Malanowski/Unger/Dobischat 2018).

verschiedenen additiven Fertigungsverfahren einschließlich verwendeter Materialien ein.

Es kann davon ausgegangen werden, dass auch Unternehmen im Bereich der additiven Fertigung Weiterbildung am Arbeitsplatz nach dem Prinzip „Learning by doing“ bevorzugen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der IW-Unternehmensbefragung zur Grund- und Weiterbildung für Geringqualifizierte, wonach Lernen in Arbeitssituationen die von drei Viertel der Unternehmen bevorzugte Weiterbildungsform darstellt (Schöpper-Grabe/Vahlhaus 2019, S. 52).⁴⁰ Inwiefern digitale Lernformen genutzt werden können, bedarf weiterer Untersuchungen, ob z. B. Augmented-Reality-Brillen bei der Unterstützung des Arbeitsprozesses „en passant“ einen Lerneffekt haben könnten. Da 3D-Daten der zu produzierenden Objekte für die Fertigung ohnehin vorliegen, wäre es nur ein kleiner Schritt, diese auch dafür zu nutzen, die Beschäftigten beim zerstörungsfreien Auspacken des Objekts z. B. aus dem „Pulverkuchen“ zu unterstützen.

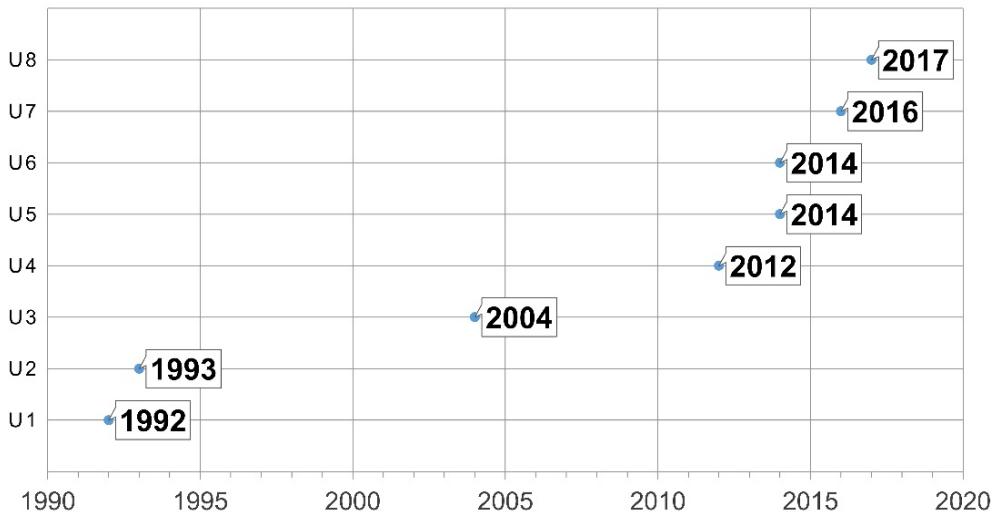
40 Vgl. auch das typische Interviewzitat bei Warnhoff und Krzywdzinski: „Alles Wissen wurde mitten in der Produktion vermittelt“ (Warnhoff/Krzywdzinski 2018, S. 59).

7. Ergebnisse der Unternehmensinterviews

7.1 Unternehmensprofile: Geschäftsmodelle, Verfahren und Produkte

Additive Fertigungsverfahren sind keine völlig neue Technologie, sondern bereits seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts vorhanden. Wenn auch die Verbreitung durch die Freigabe von Patenten erst in den letzten Jahren richtig Fahrt aufgenommen hat, so haben auch die befragten Unternehmen z. T. schon vor der Jahrtausendwende mit additiver Fertigung gearbeitet. Die zwei ersten Unternehmen, welche mit additiver Fertigung zu arbeiten begannen, starteten damit 1992 und 1993. Das Unternehmen, welches keine Ausgründung eines konventionell produzierenden Unternehmens darstellt und sich ausschließlich mit additiver Fertigung beschäftigt – abgesehen von den Nacharbeiten, die nach wie vor mit klassischen Fertigungsverfahren durchgeführt werden müssen – wurde 2017 ins Leben gerufen. Die folgende Abbildung zeigt den Beginn der additiven Fertigung bei den befragten Unternehmen bzw. das Jahr der Betriebsgründung.

Abbildung 1: Einführung von additiver Fertigung oder Betriebsgründung⁴¹



Quelle: Eigene Darstellung

Die von uns befragten Unternehmen gehören den folgenden Branchen an: 2 Gießereien, 1 Unternehmen aus der Kunststoffbranche, 1 Unternehmen aus dem Bereich Keramik, 2 Unternehmen aus dem Bereich Automotive, 1 Unternehmen aus dem Bereich Modell- und Werkzeugbau, 1 Unternehmen aus dem Bereich Produkt- und Prozessentwicklung.

Obwohl nur eine beschränkte Anzahl an Unternehmen befragt werden konnte, spiegelt diese Auswahl doch wider, dass sich die Formen verschiedener Geschäftsmodelle immer weiter in unterschiedliche Strukturen differenzieren. Aufgrund des den Befragten zugesagten Datenschutzes können hier die genauen Verhältnisse nicht 1:1 dargestellt werden, da ansonsten sehr leicht Rückschlüsse auf die Unternehmen im Einzelnen gezogen werden könnten. Stattdessen stellen wir hier Rahmenstudien vor, welche das Spektrum aufzeigen und so zum Verständnis der Entwicklungen unterschiedlicher Geschäftsmodelle und von unternehmensübergreifenden Prozessketten bzw. logistischen Lieferketten im Bereich der additiven Fertigung beitragen.

41 Sämtliche in den folgenden Abbildungen und Tabellen wiedergegebenen Daten im Berichtsabschnitt „Ergebnisse der Unternehmensinterviews“ wurden auch im Rahmen dieser Interviews gewonnen. Die Nummerierung von U 1 bis U 8 dient nicht der Identifikation der Betriebe über verschiedene Abbildungen hinweg, sondern folgt hier lediglich der chronologischen Reihenfolge bei der Einführung von additiver Fertigung im Unternehmen bzw. der Unternehmensgründung (bei additiver Fertigung als Gegenstand des Unternehmens).

Bereits in ihrer Stellungnahme „Additive Fertigung“ vom Dezember 2016 hat die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) verschiedene Rollen in Wertschöpfungsnetzwerken mit additiver Fertigung beschrieben und Geschäftsmodelle vorgestellt (acatech 2016, S. 21–25). Neben z. B. Forschung, Standardisierungsgremien und Informationsplattformen, werden aus dem Bereich der unternehmerisch tätigen Akteure folgende Rollen in Wertschöpfungsnetzwerken aufgeführt:

- „Werkstoffhersteller“
 - „Komponentenhersteller“
 - „Hersteller von Messtechnik“
 - „Maschinenhersteller“
 - „Anbieter von Software zur Datenaufbereitung“
 - „Onlineshop-Betreiber“
 - „Dienstleister“
 - „Vermittler“
 - „Technologieanwender“
- (acatech 2016, S. 21–25)

Man könnte auch eine grobe Einteilung nach drei Funktionen vornehmen: Herstellung von Anlagen und Software, Aktivitäten im Bereich Handel sowie Anwendung von additiver Fertigung – also Produktion. In der Praxis vermischen sich diese Funktionen oft und die Unternehmen üben verschiedene Rollen gleichzeitig aus. Dadurch findet man differenzierte Strukturen mit einer Kombination aus Verfahren, Prozessketten und Geschäftsmodellen vor. Dazu gehören beispielsweise⁴²

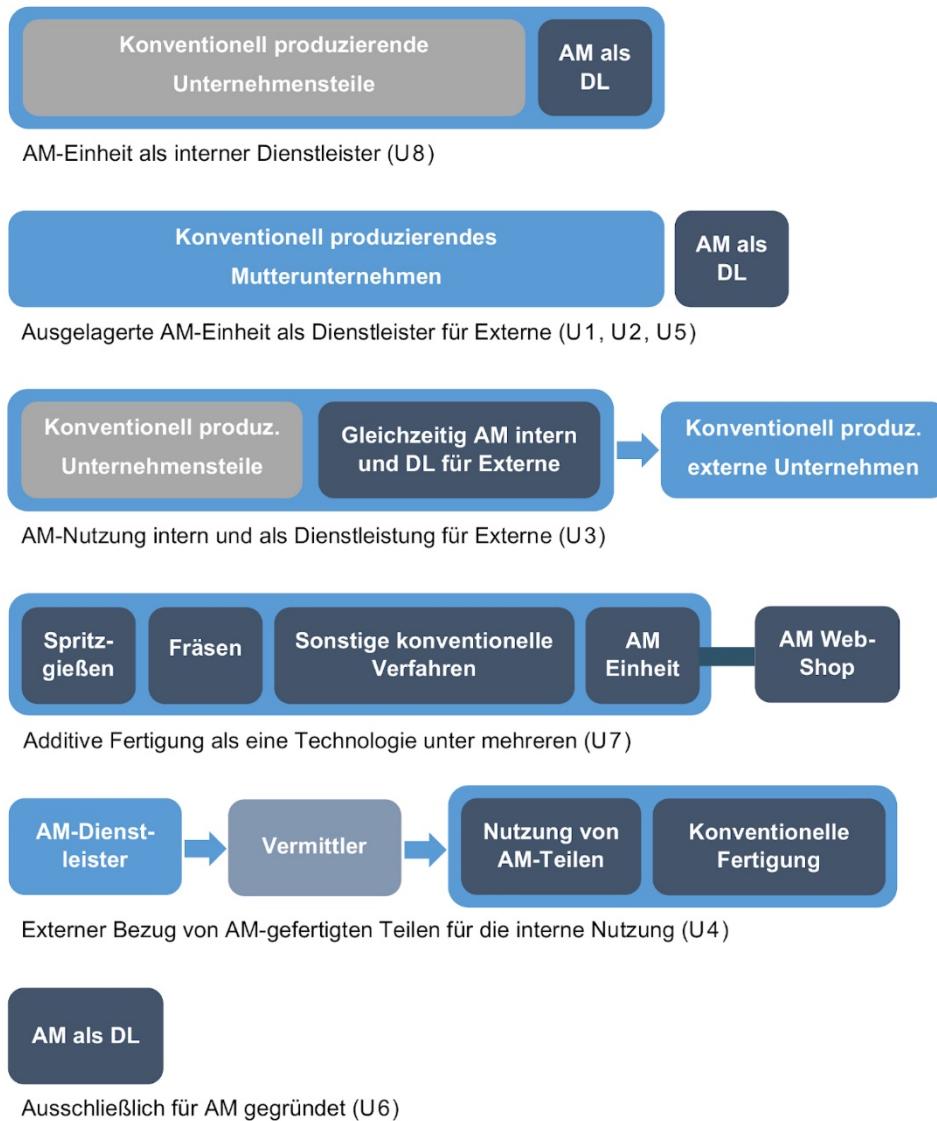
- konventionelle Produktionsunternehmen mit freien Kapazitäten im 3D-Druck, welche für Partnerunternehmen als Dienstleister fungieren,
- von konventionellen Produktionsunternehmen ausgelagerte Einheiten mit additiver Fertigung, als konzerninterne Dienstleister oder für Externe,
- Maschinenhersteller mit um Werkstoffe und Prozessparameter erweiterter Marktleistung (diese müssen u. U. exklusiv bei den Herstellern bezogen werden),
- Unternehmen, welche selbst keine Bauteile fertigen, sondern lediglich Produktionskapazitäten vermitteln,
- Dienstleister, welche zusätzlich als Berater ihrer Auftraggeber fungieren, die häufig hinsichtlich der Gestaltung von Bauteilen beraten, sind damit „wesentliche Befähiger für die industrielle Verbreitung der Technologie“ (acatech 2016, S. 24),

42 Diese Aufzählung wurde anhand von Erfahrungen im Rahmen von Projekten, Gesprächen auf einschlägigen Messen und aus Beispielen in der Literatur erstellt, sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- Marktplätze und Portale (z. B. trinckle3D) mit Spezifizierungsmöglichkeiten für 3D-CAD mit Angeboten für 3D-Konstruktionsdatensätze und Produktion.

Die Strukturen und Rollen der im Rahmen dieser Studie befragten Unternehmen lassen sich grafisch wie folgt darstellen:

Abbildung 2: Geschäftsmodelle und Prozessketten



Quelle: Eigene Darstellung

Die untersuchten Unternehmen verarbeiten Materialien von Kunststoff über Metall bis Keramik, es sind Unternehmen aus den Branchen Automotive, Guss, Hersteller von Industrieprodukten und Bauteilen für den Maschinenbau, Modell- und Formenbauer. Die Unternehmensgrößen betragen bis zu mehreren tausend Mitarbeitern, wobei es sich bei der Mehrheit der Unternehmen um KMU zwischen 35 und ca. 400 Mitarbeitern handelt.

Die Betriebsgrößen der ausschließlich für die additive Fertigung arbeitenden Dienstleistungsunternehmen – wobei natürlich auch Prozessschritte anfallen, welche mit konventionellen Fertigungsverfahren durchgeführt werden – betragen zwischen 7 und ca. 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. In den Unternehmen, welche konventionelle Fertigungsverfahren und additive Fertigung parallel betreiben, ist die Anzahl der mit AM befassten Mitarbeiter manchmal schwer eindeutig zu bestimmen. Das liegt zum einen daran, dass die in der additiven Fertigung tätigen Mitarbeiter auf unterschiedliche Betriebseinheiten im Stammunternehmen und in der ausgelagerten AM-Einheit verteilt sind, zum anderen daran, dass in Unternehmen mit unterschiedlichen Verfahren manche Mitarbeiter nur teilweise – und bei entsprechendem Bedarf – mit additiver Fertigung befasst sind und ansonsten hauptsächlich im Zusammenhang mit anderen Produktionsverfahren eingesetzt werden.

In einem der Unternehmen sind zwar lediglich zwei Mitarbeiter „hauptamtlich“ in der additiven Fertigung tätig, daran hängt jedoch je nach Auftrag und Arbeitsanfall eine unterschiedlich hohe Anzahl von Mitarbeitern aus dem Bereich der konventionellen Fertigung – bis zu 20 Personen –, welche für die Nachbearbeitung von Teilen aus der additiven Fertigung eingesetzt werden können. Dementsprechend gehört Flexibilität für einige der befragten Unternehmen zu den wichtigen Eigenschaften des Personals in der additiven Fertigung. Bei den anderen Betrieben mit gemischter Fertigung – konventionell und additiv – sind zwischen 4 und 7 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter „hauptamtlich“ mit additiven Fertigungsverfahren befasst.

Bei den untersuchten Unternehmensstrukturen haben wir auch Lieferketten vorgefunden, in welchen Unternehmen Teile eingesetzt haben, die sie nicht direkt von einem Dienstleister bezogen haben, sondern die von einem Vermittler geliefert wurden, welcher die Teile entweder von einem Hauptlieferanten bezog, oder – im Falle, dass dieser nicht liefern konnte – alternativ von anderen Herstellern. Die befragten Einheiten reichen von Unternehmensteilen, die noch im Stammunternehmen untergebracht sind und als interner Dienstleister für andere Unternehmensbereiche fungieren, bis zu völlig eigenständigen Unternehmen, deren Auf-

gabe in der Funktion als Dienstleister für externe dritte Unternehmen besteht.

Auch Fälle, dass Unternehmen aus einer konventionell produzierenden Firma, aber mit freien Kapazitäten in der additiven Fertigung für andere Unternehmen 3D-Drucke erstellen, sind festzustellen. Anlagen- und Softwarehersteller oder Materialhersteller waren nicht unter den befragten Unternehmen, allerdings sind auch Unternehmen vertreten, zu deren Portfolio nicht allein die Herstellung von Fertigprodukten gehört, sondern die für ihre Mutterunternehmen Funktionen im Bereich Entwicklung und Erprobung ausführen.

Die Anteile an additiver Fertigung in Relation zum gesamten Output der Unternehmen kann nicht einfach und präzise beziffert werden, da die Outputs z. T. stark schwanken, das Verhältnis bezogen auf das Mutterunternehmen nicht so einfach festgestellt werden kann und die Unternehmenszwecke sich stark voneinander unterscheiden. Bei den als Dienstleister tätigen Unternehmen beträgt der Anteil von Erzeugnissen aus additiver Fertigung definitionsgemäß 100 Prozent, im Bereich Guss und Modell-/Formenbau je nach Zugehörigkeit zu einem der Unternehmertypen von kleiner 1 Prozent bis zu 25 Prozent. Auch bezogen auf die Stammunternehmen tragen die ausgegliederten AM-Einheiten nur mit einem Anteil von unter 1 Prozent bis ca. 10 Prozent zur gesamten Produktion bei.

Die eingesetzten Verfahren reichen von FDM/FFF, 3D-Printing mit Gießereisand im Pulver-Binder-Verfahren, über PolyJet, Stereolithographie, SLS mit Kunststoff und SLM/LBM mit Metall bis zur additiven Fertigung mit Keramik.⁴³

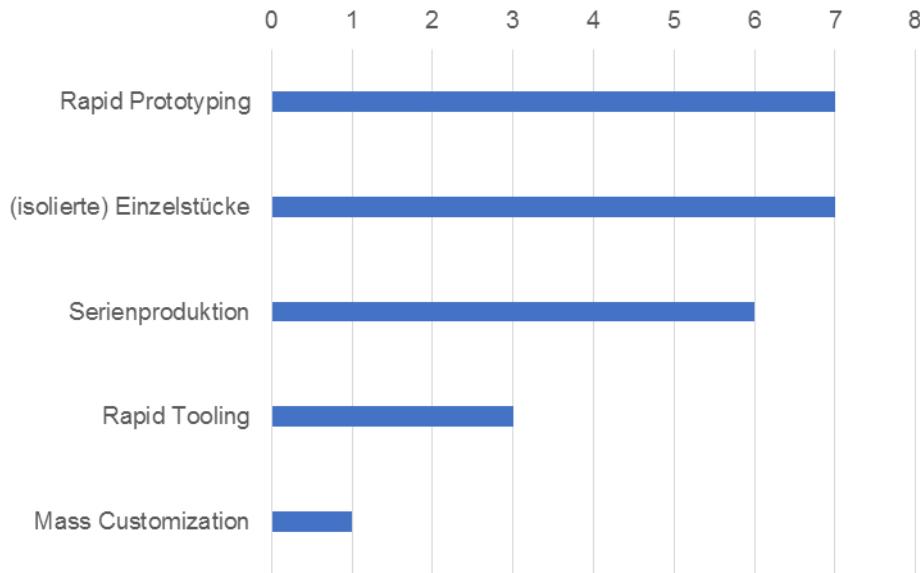
Bei den Anwendungen für die additive Fertigung unterscheidet man zwischen der Erstellung von Prototypen und Modellen (Rapid Prototyping), der Herstellung von Werkzeugen (Rapid Tooling) und der Erzeugung von Teilen bzw. Endprodukten im Rahmen der „normalen“ Produktion. Bei der Serienfertigung kann man noch differenzieren zwischen der gemeinsamen Herstellung von zahlreichen individualisierten Teilen – z. B. von Hörgeräteschalen – als Mass Customization sowie der bekannten Serienfertigung mit zahllosen ununterscheidbaren gleichen Teilen als Massenproduktion.

Im Vergleich zu früher, als additive Fertigung fast ausschließlich für die Herstellung von Prototypen zur Anwendung kam – weshalb auch der Begriff „Rapid Prototyping“ geprägt wurde –, nimmt der Anteil an Serienproduktion kontinuierlich zu. Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der

⁴³ Zur Übersicht über die unterschiedlichen additiven Fertigungsverfahren sei noch einmal auf den Wikipedia-Artikel 3D-Druck – insbesondere auf den Abschnitt Klassifizierung der Fertigungsverfahren – verwiesen (Wikipedia 2019a).

Unternehmen, welche die jeweilige Anwendung von additiver Fertigung nannten.

Abbildung 3: Anwendungen von additiver Fertigung



Quelle: Eigene Darstellung (in dieser und allen folgenden Abbildungen sind Mehrfachnennungen möglich)

Das einzige Unternehmen, welches auch im Bereich der Mass Customization (individualisierte Massenproduktion)⁴⁴ tätig war, fertigte in diesem Bereich ca. 200 Stück pro Woche. Die sechs Unternehmen, welche angaben, im Serienmaßstab zu produzieren, fertigen Kleinserien mit lediglich 10 Teilen bis zu Serien von maximal 10.000 Stück.

⁴⁴ Wie z. B. in der Zahnmedizin, wo zahlreiche individuelle Produkte in Massen gemeinsam mit anderen in einem einzigen Baujob gefertigt werden. In der „normalen“ Serienproduktion werden dagegen massenweise identische Bauteile erzeugt.

Tabelle 3: Anzahl der Teile pro Serie

	durchschnittliche Anzahl pro Serie	maximale Anzahl pro Serie
Unternehmen 1	10–15	30
Unternehmen 2	20	1.000
Unternehmen 3	20–30	30
Unternehmen 4	10–20	10.000
Unternehmen 5	3–4	500
Unternehmen 6	2.500–5.000	5.000

Quelle: Eigene Darstellung (zwei Unternehmen haben keine Angaben zur Serienherstellung gemacht)

Die Verwendung des Begriffs „Serie“ kann dabei vom üblichen Sprachgebrauch abweichen. Für eines der Unternehmen ist nur das Serie, was zum Endnutzer gelangt. So kann es im Bereich Engineering Projekte mit bis zu 50 Mustern geben, die aber nicht als Serie betrachtet werden, da sie im Unternehmen verbleiben. Die Losgröße wird durch den Bauraum der Maschine bestimmt: Wenn der Bauraum z. B. 15 Teile fasst, die gleichzeitig erstellt werden können, dann beträgt die Losgröße 15 Teile.

Die Bandbreite der von den befragten Unternehmen hergestellten Produkte ist ziemlich groß, es überwiegen B-to-B-Geschäftsbeziehungen – die Kundschaft besteht also in der Regel aus anderen Unternehmen. Die folgende Tabelle zeigt die von den Unternehmen erzeugten Produkte bzw. die Zielbranchen:

Tabelle 4: Erzeugte Produkte aus additiver Fertigung bzw. Zielbranchen

U 1	Komponenten für Anlagenbau; Gehäusekomponenten für maritime Anwendungen; im Bereich Automotive nur Prototypen (Automotive und Serie sind nicht vereinbar).
U 2	„Alles, was Sinn macht“: Teile, welche nach Design und Funktion auf 3D-Druck ausgelegt sind, maximal Fußballgröße, Teile für Maschinenbau, industrietaugliche Bauteile aus Kunststoff.
U 3	Formen und Kerne für die Gießerei aus Quarzsand mit KHP (kalthärtendem Phenol), Prototypen sind Teile für Karosseriebau, Fahrwerksbau, Teile für Prüfstände, wenige Teile gehen in den Maschinenbau.
U 4	Kokillenmodelle, Losteile (kleinere Kunststoffteile, um Produkte zu vervollständigen), Kernkästen etc.; Kernpakete und große Prototypenmodelle werden zugekauft.

U 5	Produkte für die Medizintechnik, Mikroelektronik, allgemeiner Maschinenbau/Ersatzteile, Automotive, diverses.
U 6	Es werden keine Endprodukte hergestellt, sondern immer nur Teile von Produkten; Teile mit komplexen Innengeometrien (z. B. Kühlkörper zur Wärmeabfuhr); hybridgebaute Teile, bei denen ein Teil auf einen genormten Schaft aufgedrückt wird; Gehäuseteile; Halterungen, wo man verschiedene Teile in einem Stück zusammenfassen kann; automobile Teile, die topologieoptimiert (geringe Masse mit maximaler Steifigkeit) wurden; überwiegend Maschinen- und Anlagenbau; Medizintechnik; z. T. Automobilindustrie. Keine Consumer Goods, sondern industrielle Anwendungen.
U 7	Licht- und Elektroindustrie, Maschinenbau, Automotive. Serien-3D-Druck ist immer nur Lasersintern mit Polyamid. Komponenten für optoelektrische Anlagen. In Metall gedruckte Teile sind ausnahmslos Handmuster bzw. Betriebsmittel, die nicht für Endkunden bestimmt sind; Spritzgussformen, z. B. Form-Einsätze oder kleine Geometrien als Betriebsmittel, kleine Vorrichtungen, Lehren.
U 8	Automotive komplett: von Karosserieteilen bis zu Interieur- oder Exterieur-Teilen, Motormodelle etc.

Quelle: Eigene Darstellung

7.2 Substitution konventioneller Fertigung durch additive Fertigung

Substitution durch additive Fertigungsverfahren kann sich auf verschiedene Aspekte beziehen: Auf Bauteile und Produkte, auf Abläufe und Prozesse, auf Tätigkeiten und auf Personal. Da die Substitutionsprozesse häufig sukzessive ablaufen, kann man nicht mehr genau abgrenzen, ab wann schon eine Substitution erfolgt ist und wann noch nicht.

Es ist ein typisches Vorgehen – wie bei einem der befragten Unternehmen –, dass zuerst Lasersintererteile von Fremdherstellern bzw. aus dem Netzwerk bezogen werden, für welche man dann die eigene Konstruktion erstellt, und erst später, wenn der Umsatz mit additiv gefertigten Teilen eine bestimmte Marge erreicht und es sich wirtschaftlich auszahlt, eine eigene Anlage installiert.

Außerdem wird additive Fertigung nicht als Ersatz für konventionelle Fertigung betrachtet – und de facto als solcher eingesetzt –, sondern als Erweiterung des Unternehmensportfolios in vorher nicht genutzten Bereichen. Drei Unternehmen haben explizit geäußert, dass sie additive Fertigung als Zusatz sehen, für welchen in der konventionellen Ferti-

gung keine Prozesse entfallen sind. Es sei nichts überflüssig geworden, da sich die Verfahren gegenseitig ergänzen würden, allerdings verringert sich die konventionelle Fertigung anteilmäßig. Auch bei den Unternehmen, deren Zweck zu 100 Prozent in der Erstellung additiver Bauteile und Produkte als Dienstleister für andere Unternehmen liegt, werden keine konventionellen Produktionsverfahren substituiert – im Gegenteil, sie werden zur Nachbearbeitung additiv gefertigter Teile zusätzlich erforderlich.

Zwei Unternehmen räumen jedoch ein, dass im Vergleich zu konventionellen Verfahren bestimmte Prozesse abnehmen: Eines der Unternehmen konstatiert, dass die Konstruktionsarbeit in CAD weniger wird und das Fräsen von Modelleinrichtungen⁴⁵ entfällt, genauso wie die Nacharbeit an solchermaßen gefrästen Modelleinrichtungen im Rahmen manueller Schreinerarbeiten. Das bedeutet, dass sich u. U. in gewissen Bereichen die Auslastung verändert, speziell in den Bereichen Zerspanung und Modellbau.

Im Vergleich der Prozesse sieht eines der Unternehmen den Vorteil additiver Fertigung darin, dass im Vergleich zum klassischen Modellbau weniger Dokumente erforderlich sind: Der Datensatz enthält schon Informationen, welche früher noch zusätzlich als eigene Dokumente parallel zur Zeichnung mittransportiert werden mussten. In der additiven Fertigung genügen der Datensatz und ein Einzeiler, was damit zu tun ist. Die Abwicklung von Angebot und Nachfrage über einen eigenen Onlineshop befördert die Verlagerung der Prozesse von der physischen auf die digitale Ebene. Durch die veränderten Technologien und die geänderten Abläufe sind die Lieferzeiten – z. B. beim Lasersintern im Vergleich zum Vakuumabguss – erheblich kürzer. Die Losgrößen werden kleiner und die Variation der Bauteile größer, es gibt also eine Entwicklung in Richtung „ein Stück in Serie“; als Folge wird ein Rückgang im Bereich Formenbau und ein Zuwachs bei den additiven Verfahren erwartet.

Negative Auswirkungen der Substitution konventioneller Verfahren auf das Personal konnten wir nicht feststellen. Wie bereits ausgeführt, hat bei den befragten Unternehmen keine komplette Substitution konventioneller Fertigungsschritte durch additive Fertigungsschritte stattgefunden. Deshalb wird additive Fertigung überwiegend als Ergänzung der konventionellen Fertigung und als Erweiterung des Firmenprofils wahrgenommen, sie wurde in die bestehende Fertigungskette integriert und begründet bisher bei keinem der Unternehmen die völlige Streichung eines Arbeitsplatzes oder gar einer Abteilung, sondern eine Ergänzung und neue Einsatzmöglichkeiten für vorhandenes Personal.

⁴⁵ Als Modelleinrichtung bezeichnet man in der Metallgießerei ein Werkstück, welches die Gussflüssigkeit aufnimmt und dem Gussteil die endgültige Form gibt.

Manchmal geht die Initiative sogar von den Mitarbeitern aus, so war es in einem Unternehmen eine Industriemeisterin Metall, die sich schon immer für die additive Fertigung interessiert hatte und die von sich aus motiviert war, in diesem Bereich zu arbeiten. Allerdings müssen sich diese Mitarbeiter natürlich auch aufgrund ihrer fachlichen Kompetenzen für den Einsatz in der additiven Fertigung eignen. In einem anderen der befragten Unternehmen wird deshalb ein Mitarbeiter mit einer technischen Ausbildung zum Schlosser und Elektriker als Helfer in der additiven Fertigung eingesetzt. Die Kompetenzen, welche dieser Mitarbeiter besitzen muss, sind Zeichnungslesen und er muss in der Lage sein, 3D-Daten zu integrieren – d. h. in den Drucker laden zu können –, also 3D-Druck auch zu verstehen.

Bezüglich der Prognose weiterer Substitutionseffekte möchten sich die meisten Befragten nicht festlegen. Ein Unternehmen wagte die Voraussicht, dass sich die Anteile von konventioneller und additiver Fertigung auf lange Sicht austauschen werden:

„Heute spielt der 3D-Druck eine Nebenrolle und wenn wir dreißig Jahre weitersehen, dann ist es genau umgekehrt, dann dominiert möglicherweise der 3D-Druck und die subtraktive Fertigung stellt die Ergänzung dar“.

Ein Interviewpartner berichtet von einem Produkt, welches früher konventionell „aus dem Vollen gefräst wurde“. Heute werden diese Teile gleichzeitig andernorts mit 3D-Druckern hergestellt. Aufgrund der guten Konjunktur sind jedoch noch (?) keine Verdrängungseffekte sichtbar.

Viele Teile werden so umkonstruiert, dass sie gar nicht mehr klassisch herstellbar sind. Das heißt, es wächst parallel ein Markt mit additiv hergestellten Teilen. Es gibt aber auch Beschränkungen für die additive Fertigung. So verwendet ein Unternehmen in der konventionellen Produktion ein Material, welches für den industriellen Einsatz extrem verschleißfeste Eigenschaften besitzt, welches sich aber – zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt – noch nicht in 3D-Druckern verarbeiten lässt.

Die Verbreitung der additiven Fertigung hängt davon ab, wie sich in Zukunft die Produktionsgeschwindigkeiten der Anlagen ändern werden. Ein Unternehmen räumt deshalb ein: Sollte sich im Laserschmelzbereich eine erhebliche Beschleunigung des Prozesses ergeben, so müsste man sich unbedingt damit auseinandersetzen. „Aber die Kapazität der schnellsten, größten Anlage, die es im Moment gibt, reicht für unser Spektrum nicht aus.“ Ein anderes Unternehmen macht seine Schwerpunktsetzung von der zukünftigen Entwicklung durch die Nachfrage des Marktes abhängig. Aufgrund des vielfältigen Produktangebotes des Unternehmens wird die Richtung dadurch bestimmt, welches Segment in

Zukunft einen größeren Profit bringt, nicht rentable Bereiche würden eingestellt.

Auf die Frage, wann sie den als sinnvoll erachteten maximalen Ausbau der additiven Fertigung im eigenen Unternehmen erreicht haben würden, antwortete lediglich ein Unternehmen. Unter der Annahme, dass es alle paar Jahre zu einer Verdopplung der Prozessgeschwindigkeit dieser Drucker kommen wird, könnte in einem Fünfjahreszeitraum eine Region erreicht sein, in welcher der 3D-Druck in der betreffenden Branche wirtschaftlich wird. Es wird eine Entwicklung erwartet, welche parallel zu der Entwicklung der damaligen Computer-Tintenstrahldrucker verläuft. „Dann wird das die konventionellen Verfahren ablösen. Das geht aber stufenweise.“

7.3 Entscheidungskriterien für den Einsatz additiver Fertigungsverfahren

Die Frage nach dem Einsatz additiver Fertigungsverfahren wurde von den Interviewpartnern in zweierlei Weise interpretiert, einmal grundsätzlich, bezogen auf additive Fertigung allgemein, z. B. auch, welche Kriterien für ihre Einführung sprechen und zweitens – beim parallelen Vorhandensein klassischer und additiver Verfahren – welches Verfahren man einsetzt, um einen bestimmten, aktuellen Auftrag abzuwickeln, den man selbst oder ein Kunde mit spezifischen Eigenschaften in einer bestimmten Zeit benötigt.

Man kann die Entscheidungskriterien grob einteilen nach

- technischen Aspekten wie Material, genereller Machbarkeit sowie Realisierbarkeit der Geometrie und Konstruktion – insbesondere im Hinblick auf die Frage, was lässt sich mit konventionellen Verfahren nicht oder schlecht realisieren bzw. was ist mit additiver Fertigung einfacher zu erreichen? –,
- Personal- und Organisationsfragen einschließlich der Qualifikationen vorhandenen Personals bzw. Möglichkeiten der Qualifizierung oder der externen Personalgewinnung und nach der Betriebsorganisation – was sowohl technische als auch personalspezifische Aspekte bedeuten kann –,
- rechtlichen Aspekten wie Produkthaftung, Gewährleistung und IP-Schutz (Schutz des geistigen Eigentums).

Einer der Interviewpartner drückte es so aus:

„Die Anforderungen an das Material sind die erste Fragestellung und erst dann, wenn Material, Stückzahl und Geometrie geklärt sind, kommt das Thema Kosten“.

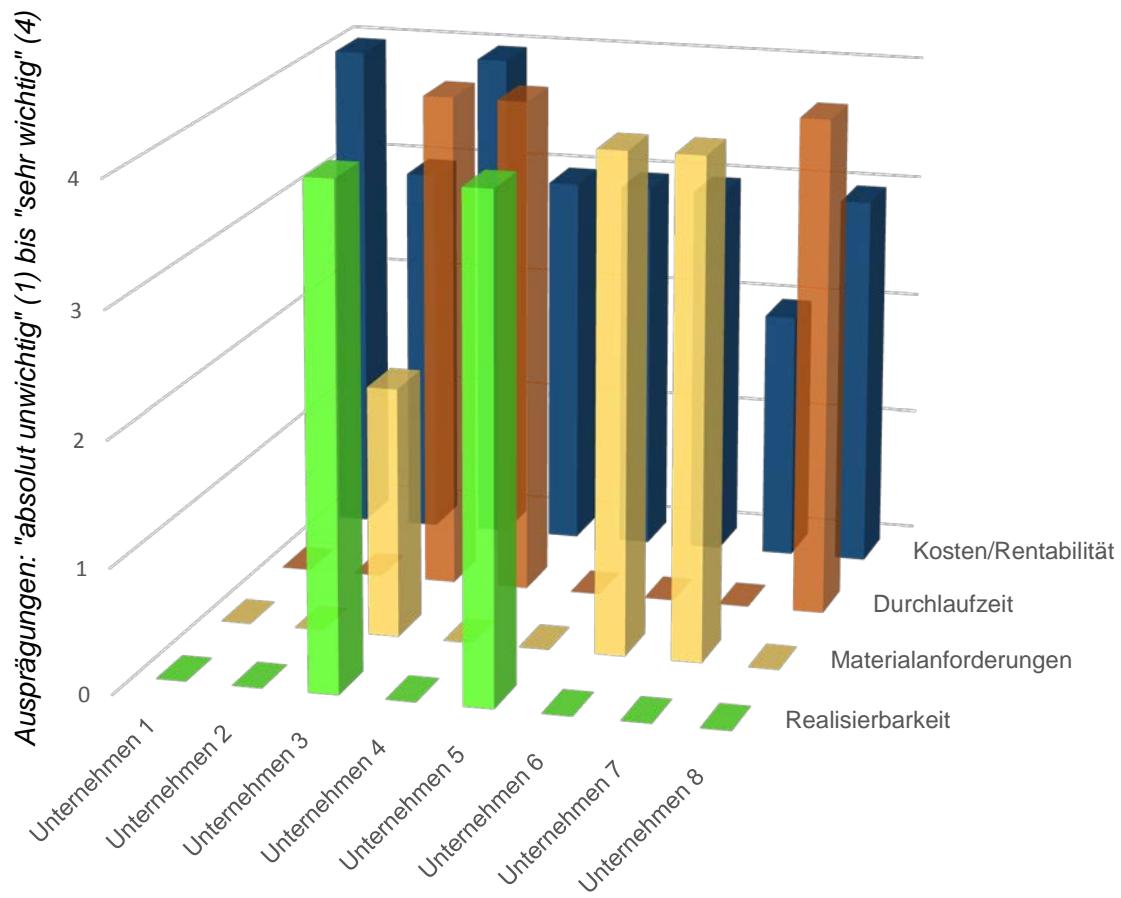
Die Entscheidung für ein additives Fertigungsverfahren muss im Vergleich zu den konventionellen Fertigungsverfahren abgewogen werden, unter Berücksichtigung der Komplexität, der Anzahl der zu fertigenden Teile und der verfügbaren Zeit. Die werkzeuglose Fertigung erlaubt eine erhebliche Verkürzung der Fertigungszeit, weshalb sich auch die Begriffe Rapid Prototyping, Rapid Tooling bzw. allgemein Rapid Technologien für die additive Fertigung früher verbreitet haben.

Die Kosten können der limitierende Faktor sein. Sie treten aber dann in den Hintergrund, wenn das gewünschte Produkt mit konventionellen Verfahren nicht realisierbar ist, aufgrund seiner Geometrie bzw. Komplexität oder weil eine Frist unbedingt eingehalten werden muss und eine konventionelle Fertigung in dieser Zeit nicht umgesetzt werden kann.

Im Interviewleitfaden waren vier Entscheidungskriterien vorgegeben, die anderen Kriterien haben die Gesprächspartner von sich aus genannt. Die folgenden beiden Diagramme zeigen, welche Relevanz die Befragten den jeweiligen Kriterien beimessen, wenn es um die Entscheidung zwischen einer Fertigung mit konventionellen Verfahren oder additiven Verfahren geht. Die dreidimensionale Darstellung erlaubt, die Daten aus zwei Richtungen zu betrachten: Einmal aus der Perspektive eines einzelnen Unternehmens, d. h. welche der verschiedenen Kriterien spielen im Vergleich zueinander für das Unternehmen eine größere oder geringere Rolle bei der Entscheidung für additive Fertigungsverfahren. Zum anderen mit dem Fokus auf ein bestimmtes Kriterium, d. h. wie bewerten unterschiedliche Unternehmen ein bestimmtes Kriterium – wie z. B. Durchlaufzeit – im Vergleich zueinander.⁴⁶

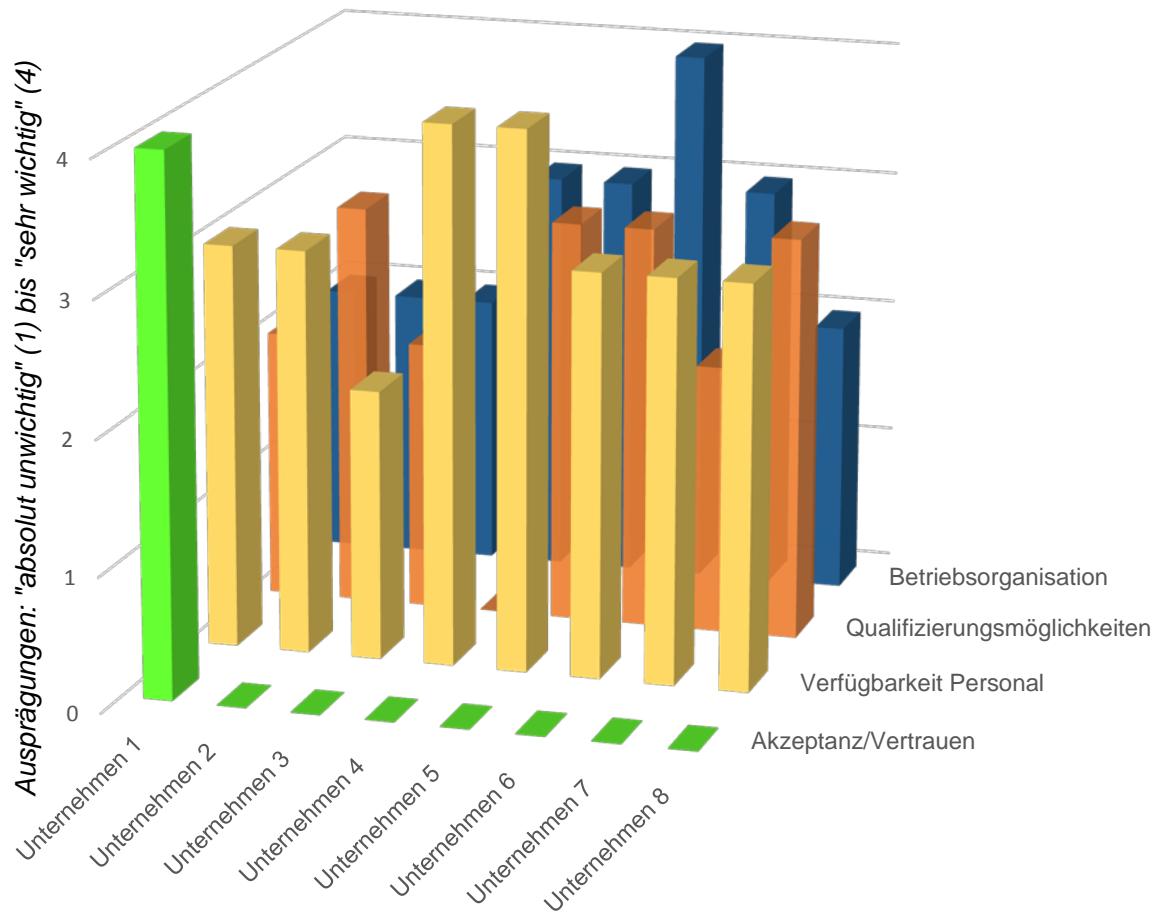
46 Dabei muss berücksichtigt werden, dass die zuerst befragten Unternehmen die von den nachfolgenden Unternehmen genannten zusätzlichen Kriterien noch nicht wissen konnten. Die einzelnen Ergebnisse können also nicht 1:1 verglichen werden, sondern spiegeln lediglich eine Tendenz wider.

Abbildung 4: Technische und finanzielle Entscheidungskriterien



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5: Personelle und organisatorische Entscheidungskriterien



Quelle: Eigene Darstellung

7.4 Tätigkeiten im Rahmen der additiven Fertigung

Bei der additiven Fertigung fallen – je nach Verfahren – zahlreiche und z. T. unterschiedliche Abläufe bzw. Arbeitsschritte an. Abhängig von den Verfahren und der konkreten Ausgestaltung der Prozesskette werden z. T. bestimmte Tätigkeiten noch manuell ausgeführt.

Ein Arbeitskreis der Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) beschäftigt sich seit 2015 mit der Automatisierung der additiven Fertigung und entwickelt eine Roadmap in die Smart Factory für Laser-Pulverbettverfahren Metall und Kunststoff, zwei der gebräuchlichsten Verfahren der additiven Fertigung. Der Arbeitskreis teilt den Fertigungsprozess in Pre-, In- und Post-Prozess ein (R. Gebhardt 2018b).⁴⁷ Um die einzelnen Abläufe differenzierter erfassen zu können, werden hier der Pre- und der Postprozess in weitere Prozessschritte unterteilt.

Der Pre-Prozess besteht aus der Vorbereitung der Daten, dem Materialhandling und der damit verbundenen Maschinenvorbereitung, der Vorbereitung des Bauprozesses mit ggf. Simulation, Anbringen von Support und Anordnen der Teile auf der Bauplattform. Der Post-Prozess beinhaltet das Entpulvern und Entfernen von Stützstrukturen unmittelbar nach dem Bauprozess, um das Teil vom Baumaterial zu trennen sowie ggf. Ofensintern, Temfern oder Infiltrieren, um dem Bauteil seine endgültige Stabilität zu verleihen. Dazu kommen weitere Bearbeitungen, um die verfahrensbedingt oft raue oder stufige Oberfläche zu glätten, anderweitig zu veredeln und zu strukturieren oder dem Objekt eine farbige Oberfläche zu verleihen.

Der Pre-Prozess: Bei der Vorbereitung auf die additive Fertigung müssen die Daten an die jeweiligen von den produzierenden Unternehmen eingesetzten additiven Fertigungsverfahren angepasst werden. CAD-Konstruktion und Scannen erfolgen oft schon beim Kunden oder extern, die additiv fertigenden Unternehmen erhalten dann von den Kunden den Datensatz von einem fertig konstruierten Teil.

Der Datensatz eines solchen fertig konstruierten Teils muss jedoch ggf. erst darauf hin analysiert werden, ob das Teil baubar ist, ob z. B. Flächenfehler vorliegen oder Wandstärken zu dünn kalkuliert sind. Unvollständige Daten der Kunden müssen aufbereitet und fehlerhafte Datensätze repariert werden. Allerdings macht man sich im Low-Budget-

⁴⁷ Der Arbeitskreis nimmt intern auch noch eine detailliertere Unterteilung vor, diese ist jedoch an technologischen Gesichtspunkten orientiert, während für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung der Akzent auf die Perspektive „Abläufe und Tätigkeiten der Beschäftigten“ gesetzt wird.

Segment nicht diese Mühe, da die dafür erforderliche hochqualifizierte Arbeit nicht kostendeckend durchführbar ist. In einem solchen Fall werden Aufträge abgewiesen, außer der Kunde besteht auf der Ausführung des Auftrags, er muss sich dann jedoch u. U. mit fehlerhaften Ergebnissen abfinden.

Zusätzlich zur Vorbereitung der Daten sind auch die Anlagen fit zu machen. Für die Fertigungsvorbereitung ist händisches Eingreifen vonnöten, die Maschinen müssen gereinigt und z. T. von Hand befüllt werden. Pulver muss gesiebt und im Rahmen der Qualitätssicherung geprüft werden. Dann muss die Maschine für das Bauteil konfiguriert werden und es müssen verschiedene Parameter eingestellt werden. Bei allen diesen Abläufen fallen manuelle Tätigkeiten an.

Die endgültige Vorbereitung des Bauprozesses, z. B. mit der Anordnung der Teile auf der Bauplattform bzw. im Bauraum läuft bei einigen der Unternehmen teilautomatisiert ab.⁴⁸ Es gibt zwar inzwischen Simulationsprogramme, die den Bau selber simulieren, Probleme und Herausforderungen anzeigen und darauf basierend kann man die Stützstruktur und die Parameter entsprechend anpassen. Bei den befragten Unternehmen wurden allerdings überwiegend noch keine Simulationsprogramme eingesetzt. Die Teile werden auf der Bauplattform angeordnet. Außerdem müssen je nach Verfahren Supports angebracht, alle Konstellationen überprüft und von Hand angepasst werden.

Der In-Prozess läuft zwar automatisch ab, er muss aber – maschinenabhängig – überwacht und kontrolliert werden. Auch wenn ein Eingreifen in der Regel nicht erforderlich ist, können Störungen auftreten oder das Material kann ausgehen. Dann muss eingegriffen werden, Pulver nachgefüllt oder die Störung behoben werden.

Gerade der Postprozess ist besonders oft mit manuellen Abläufen verbunden, die im Prinzip auch ohne detaillierte Kenntnisse über die Technologien der additiven Verfahren sowie ohne spezifische Kompetenzen in der Anlagenbedienung – wie sie bei manchen Anlagen für die Steuerung des In-Prozesses erforderlich sind – ausgeführt werden können. In diesem Sinne können diese Tätigkeiten als Einfacharbeit betrachtet werden. Allerdings sind dafür manuelle Fertigkeiten gefragt. Welche Tätigkeiten im Einzelnen anfallen, ist stark verfahrensabhängig.

Während bei FDM⁴⁹ die Entfernung von Stützstrukturen bereits voll automatisiert ablaufen kann, geschieht das Entpulvern und Entfernen

48 Die Anordnung der Teile auf der Bauplattform erfolgt softwaregestützt am Monitor bzw. Display. Ob diese Vorbereitungen an externen Rechnern oder an Displays direkt an der Anlage getroffen werden, hängt von der jeweiligen Konstruktion und Vernetzung der einzelnen Maschinen sowie der eingesetzten Softwareprogramme ab.

49 Fused Deposition Modelling und die Abkürzung FDM sind eigentlich geschützte Marken der Firma Stratasys und werden häufig als Gattungsbegriff gebraucht. Alternati-

von Stützstrukturen bei den anderen Verfahren zumeist noch teilautomatisch oder manuell. Das Auspacken aus dem Pulverkuchen kann noch nicht zu 100 Prozent automatisch abgewickelt werden. Auch bei den Verfahren, welche wie die Stereolithographie nach dem Prinzip der bad-basierten Photopolymerisation ablaufen, müssen Stützstrukturen entfernt und die Bauteile komplett gereinigt werden. Bezogen auf den Anteil manueller Abläufe kann dies das Aufwendigste an dem ganzen Prozess sein. Bei der Fertigung mit Metallpulver fallen u. U. noch Wärmebehandlungen an. Dafür müssen die Teile aber zunächst von der Bauplattform abgesägt und gereinigt werden.

Bei den zweistufigen Verfahren, bei welchen dem In-Prozess der additiven Fertigung noch eine Wärmebehandlung – z. B. ein Ofensintern oder ein spannungsarm-Glühen zur Erhöhung der endgültigen Stabilität – nachgeschaltet ist, müssen die Teile manuell in den Ofen getan werden und die Zeit sowie die Temperaturkurven manuell programmiert oder vorprogrammierte Temperaturkurven zumindest ausgewählt werden. Infiltrieren der ansonsten oft noch porösen Objekte ist eine andere Möglichkeit, um Teilen – insbesondere aus Kunststoff – Festigkeit zu verleihen oder ihre Oberfläche zu schließen.

Die Nachbearbeitung ist größtenteils mit händischen Prozessen verbunden. Dazu gehört z. B. die Bearbeitung mit schnelldrehenden handgeführten elektrischen Multifunktionswerkzeugen⁵⁰ oder das Strahlen (z. B. mit Glasperlen oder Sand). Weitere genutzte Verfahren sind das Gleitschleifen, Läppen und Tumblen, wobei die Anlagen händig beladen werden müssen. Ziel dieser Verfahren ist das Polieren der Oberfläche. Imprägnierung wurde von einem Unternehmen eingesetzt, um ein Teil sicher dicht zu bekommen, ein anderes Unternehmen hat Teile lackiert.

Neben dem Entladen der Maschinen und Entpacken der Bauteile gibt es Tätigkeiten für Geringqualifizierte in der additiven Fertigung, die nicht unmittelbar im Rahmen des Produktionsprozesses anfallen, aber dennoch erledigt werden müssen. Dazu gehören insbesondere Tätigkeiten im Rahmen der Logistik wie Verpacken, Versandfertigmachen und Lieferscheine erstellen. Bei Lieferungen in das Ausland ist zusätzlich noch eine Zollanmeldung erforderlich. Das Betreiben eines Shopsystems scheint jedoch einen Mehraufwand zu bedeuten, insbesondere wenn mehrere Akteure in einen einzelnen Auftrag involviert sind. Kommissio-

ve Bezeichnungen sind deshalb Fused Layer Modelling/Manufacturing (FLM) oder auch Fused Filament Fabrication (FFF), auf deutsch: Schmelzschichtung, vgl. Wikipedia-Artikel „Fused Deposition Modeling“ (Wikipedia 2019b), vgl. auch A. Gebhardt 2016, S. 259 ff..

⁵⁰ Zum Beispiel Dremel oder Proxxon.

nieren ist dann keine Tätigkeit, die aus Sicht eines Unternehmens noch für Geringqualifizierte infrage käme.

Als weiteres Tätigkeitsfeld, welches man auf den ersten Blick für Geringqualifizierte als geeignet hält, sind Verrichtungen im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung. Das Messen produzierter Teile auf Abweichungen und Verzug mit Hilfe von Messtechnik wie Scanner und Messmaschine – Einrichten und Auswertung erfolgen manuell – ist keine Tätigkeit, welche Geringqualifizierte ohne Weiteres ausüben könnten. Es wird aber nicht ausgeschlossen, dass man entsprechende Mitarbeiter u. U. anlernen könnte. Zu den Aufgaben der Qualitätssicherung im Rahmen der Materiallogistik gehört auch die Eingangsprüfung gelieferter Metallpulver – genauso wie das Monitoring in der Maschine – welches z. T. mithilfe von Infrarotlicht erfolgen kann.

7.5 Ausbildung für die additive Fertigung

Übergänge in Betrieben von Beschäftigten aus der konventionellen in die additive Fertigung haben wir wenige vorgefunden, allerdings werden in manchen Unternehmen – in denen beide Kategorien von Verfahren parallel betrieben werden – Beschäftigte sowohl in der konventionellen Fertigung als auch im Zusammenhang mit additiven Fertigungsverfahren eingesetzt. Das bedeutet nicht notwendigerweise, dass sie selbst additive Fertigungsanlagen bedienen, sondern kann auch heißen, dass sie mit der Weiterverarbeitung von additiv hergestellten Teilen befasst sind und Nachbearbeitungen vornehmen oder die Teile veredeln.

Die grundlegendste Art, an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit additiver Fertigung zu kommen, ist die Ausbildung von eigenem Personal in Berufen, welche bereits additive Fertigungsverfahren beinhalten. Wie bereits erwähnt, ist additive Fertigung seit mehreren Jahren in einige Ausbildungsordnungen bzw. Rahmenpläne eingegangen, wie z. B. Produktdesigner/-in, technische/-r Modellbauer/-in, Gießereimechaniker/-in, Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, Graveur/-in, Metallbildner/-in und 2018 wurden die industriellen Metallberufe Anlagenmechaniker/-in, Industriemechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in, Werkzeugmechaniker/-in, Zerspanungsmechaniker/-in und der Beruf des Mechatronikers/der Mechatronikerin modernisiert. Allerdings gab es in den befragten Unternehmen noch keine Ausbildungsverträge mit der Zusatzqualifikation Additive Fertigungsverfahren, auch wenn Absichten in dieser Richtung geäußert wurden.

Da in dieser Studie Unternehmen aus den Branchen Modellbau und Guss zu Worte kommen, hätten im Prinzip also Auszubildende zum/zur

technischen Modellbauer/-in, technischen Produktdesigner/-in oder Gießereimechaniker/-in im Laufe ihrer Ausbildung die Möglichkeit gehabt haben sollen, additive Fertigungsverfahren kennenzulernen oder zumindest davon zu hören.^{51,52}

Vier der acht Unternehmen haben bereits in der Vergangenheit in Berufen ausgebildet, welche Inhalte zur additiven Fertigung enthalten, und zwar Gießereimechaniker, technische Modellbauer und technische Produktdesigner, auch wenn dies bei einem Unternehmen schon einige Zeit zurückliegt. Einer der Interviewpartner hat in Zweifel gezogen, ob die Auszubildenden – trotz der Verankerung der additiven Fertigungsverfahren in Ausbildungsordnung und Rahmenplänen – tatsächlich in Schule oder Betrieb mit additiven Fertigungsverfahren in Berührung gekommen sind.

Nach Ansicht eines Gießereiunternehmens ist allerdings eine grundsätzliche Berücksichtigung von Ausbildungsinhalten für additive Fertigung im Rahmen der anfallenden Tätigkeiten für die Gießerei nicht erforderlich. Leute aus dem Modellbau haben von Haus aus räumliches Verständnis und handwerkliche Fähigkeiten.⁵³ Auch im Rahmen der Qualitätssicherung mit Messmaschinen werden gerne gelernte Modellbauer eingesetzt. Diese sind mit Bildschirmarbeit, Konstruktion und mit dem Laden der Geometriedaten in die 3D-Drucker vertraut.

Zum Zeitpunkt der Befragung führten sechs Unternehmen keine „normalen“ dualen Berufsausbildungen durch.

Eines der beiden aktuell ausbildenden Unternehmen hatte Auszubildende zum technischen Modellbauer und zum technischen Produktdesigner, wobei es eine duale Ausbildung zum/zur technischen Produktdesigner/-in mit einem Verbundstudium in Kunststofftechnik oder Wirtschaftsingenieurwesen anbietet. Außerdem vermittelte dieses Unternehmen regelmäßig auch seinen Auszubildenden zum Werkzeugmechaniker Kenntnisse über 3D-Druck, obwohl solche Inhalte in deren Curriculum bis dahin noch nicht – z. B. als Zusatzqualifikation – enthalten waren.

51 In den anderen Unternehmen kam additive Fertigung in den Berufsausbildungen noch nicht vor. Dies könnte sich nun ändern, da seit ihrer Modernisierung in 2018 auch für die Berufsausbildungen der industriellen Metallberufe und des Mechatronikers/der Mechatronikerin additive Fertigungsverfahren zumindest als Zusatzqualifikation vereinbart werden können.

52 Für Unternehmen anderer Branchen gab es außer dem technischen Produktdesigner/der technischen Produktdesignerin – und der weitgehend vernachlässigten Ausbildung zum Produktionstechnologen/zur Produktionstechnologin – praktisch keine adäquaten Berufsausbildungen, in denen additive Fertigung behandelt werden würde. Dies könnte sich nun ändern, da seit der Modernisierung der industriellen Metallberufe additive Fertigungsverfahren zumindest als Zusatzqualifikation vereinbart werden können (s. o., Kapitel 6.1).

53 Gießereien beschäftigen Technische Modellbauer der Fachrichtung „Gießerei“.

Das andere aktuell ausbildende Unternehmen beschäftigt Auszubildende zum Industriemechaniker und Zerspanungsmechaniker. Diese Auszubildenden sind allerdings im Bereich der konventionellen Fertigung – und nicht im AM – tätig, mit ihnen waren auch noch keine Ausbildungsverträge mit Zusatzqualifikationen wie den additiven Fertigungsverfahren vereinbart worden. Allerdings plant das Unternehmen, in Zukunft Auszubildenden diese Möglichkeit anzubieten, es möchte darüber hinaus einen 3D-Führerschein einführen und arbeitet bei der Entwicklung eines 3D-Druck-Lehrganges mit einem Bildungsträger zusammen. Außerdem stellt es Überlegungen an, Scannen zur Erfassung von Volumenmodellen für die additive Fertigung als Ausbildungsinhalt zu etablieren.

Eines der aktuell nicht ausbildenden Unternehmen – welches durch Ausgliederung aus einem konventionell fertigenden Unternehmen entstanden ist – gewährt jedoch Auszubildenden aus dem Mutterunternehmen Praktikumszeiten im AM, um additive Fertigungsverfahren kennenzulernen; dabei stößt additive Fertigung auf großes Interesse.

Ein Unternehmen, welches im Bereich Entwicklung und Engineering tätig ist, ist zwar kein Ausbildungsbetrieb, beschäftigt jedoch einen Studenten einer Berufsakademie, der dort einen Studienabschluss voraussichtlich als Techniker, Diplom-Ingenieur bzw. Master erwerben wird.⁵⁴ Das Unternehmen geht davon aus, dass additive Fertigungsverfahren auch im Rahmen des Studiums zumindest erwähnt werden.

In einem anderen der aktuell nicht ausbildenden Unternehmen – welches durch Ausgliederung aus einem konventionell fertigenden Unternehmen entstanden ist – durchlaufen Auszubildende aus dem Mutterunternehmen Praktikumszeiten im AM, um additive Fertigungsverfahren kennenzulernen; dabei stößt AM auf großes Interesse.

Ein weiteres Unternehmen, welches ebenfalls aktuell nicht ausbildet, erwägt, jemanden für die Produktion einzustellen und selbst zu schulen, da ein geeigneter Ausbildungsberuf für die additive Fertigung fehlen würde. Diese neu einzustellende Person sollte im Prinzip den gesamten Prozess der additiven Fertigung lernen – vom CAD-Programmieren über die Bedienung der Maschinen bis zur Werkstoffkunde, also eine Schulung zum Allrounder durchlaufen.

54 Die Aussage des Interviewpartners spiegelt – aufgrund seiner langjährigen Erfahrungen – eine allgemeine Darstellung des Qualifikationsniveaus wider, weshalb hier der nicht mehr übliche Abschluss „Diplom-Ingenieur“ genannt wird. An Berufsakademien nach Baden-Württembergischen Vorbild bestand grundsätzlich die Möglichkeit, auch einen Abschluss als Techniker zu erwerben (Kirchgessner 2008). Darüber hinaus ist die Bezeichnung „Berufsakademie“ nicht geschützt, so dass sich z. B. auch Fortbildungseinrichtungen „Berufsakademie“ nennen können (ebenda).

„Er müsste Folgendes lernen: CAD-Konstruktion, zumindest lesen und verstehen können – er muss nicht der perfekte Konstrukteur werden –, er müsste einen CAD-Datensatz lesen können und sagen können: passt/passt nicht; er müsste sich Werkstoffkunde über das verwendete Material aneignen und den gesamten Druckprozess, die ganze Prozessbetreuung und die Maschinendaten lernen.“

Diese Herangehensweise an das Problem kann man als Reaktion auf die Tatsache erklären, dass es noch keinen Ausbildungsberuf speziell für die additive Fertigung gibt und der Einsatz eines der bisherig verfügbaren Ausbildungsberufe als weniger geeignet für die eigenen speziellen Anforderungen erachtet wird.

Ein Unternehmen, welches in der konventionellen Fertigung eine große Anzahl von Auszubildenden hat, nennt die geringe Größe der ausgelagerten additiven Einheit als Grund, dass dort keine Auszubildenden beschäftigt werden. Außerdem sei die Einbindung von Auszubildenden aus Zeitgründen gescheitert und an der Schwierigkeit, zu bestimmen, „was die Leute wissen müssen“. Sollte es in Zukunft doch gelingen, in dem additiv fertigenden Betrieb einen Ausbildungsort einzurichten, so käme dafür eine Ausbildung zum CNC-Zerspanungsmechaniker in Betracht.

Es stellt sich die Frage, welche Kenntnisse und Fertigkeiten für die additive Fertigung als wichtig erachtet werden, um als Inhalt einer Ausbildung aufgenommen zu werden. Da die Unternehmen „Learning by doing“ und „Unterstützung durch erfahrene Mitarbeiter“ als die am meisten praktizierten Formen der Vermittlung von Kenntnissen für die additive Fertigung einsetzen, erscheint es konsequent, dass die Konstruktion von Stützstrukturen von einem der Unternehmen als nicht notwendiger Inhalt einer Ausbildung betrachtet wird, sondern als ein Gefühl, welches Mitarbeiter/-innen entwickeln müssten.

Die Reaktion auf die Qualifizierungsfrage ist unterschiedlich und es darf angenommen werden, dass sie von den eingesetzten additiven Verfahren bzw. der jeweiligen Weiterverarbeitung der additiv erzeugten Teile abhängt. Während in einigen Unternehmen der Trend zu höher qualifizierten Mitarbeitern geht, gibt es auch Unternehmen, welche versuchen, mit Mitarbeitern auf niedriger Qualifikationsstufe und entsprechenden Bemühungen zum Anlernen der erforderlichen Kompetenzen eine gute Handhabung der Prozesse zu erreichen.⁵⁵

55 So geht ein Unternehmen mit überwiegend konventioneller Fertigung davon aus, dass nicht mehr die branchenspezifische Ausbildung erforderlich ist, sondern dass die betriebsinterne Weiterbildung auf der Grundlage einer Ausbildung zum Schlosser oder zum Zerspanungsmechaniker genügt, um die Mitarbeiter in die Lage zu versetzen, die Anforderungen im Prozess der Arbeit erfüllen zu können: Die branchenspezifischen Spezialkenntnisse würden dann zusätzlich in der betrieblichen Ausbildung vermittelt, sie seien aber nicht Gegenstand der Abschlussprüfung.

7.6 Berufe in der additiven Fertigung in den befragten Unternehmen

Da es bislang keinen eigenen Ausbildungsberuf für die additive Fertigung gibt, setzen manche Unternehmen auf solche Weiterbildungsabschlüsse wie z. B. die „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren“ nach DVS Richtlinie – in Fachrichtung Metall oder Kunststoff –, um Ihre Mitarbeiter für die additive Fertigung fit zu machen (siehe auch Kapitel 7.12).

In ihren eigentlichen Ausbildungsberufen waren lediglich Modell- und Formenbauer sowie technische Produktdesigner tätig. Außerdem beschäftigt eines der befragten Unternehmen einen Zahntechniker in der additiven Fertigung. Zahntechniker lernen zumindest in ihrer Ausbildung additive Fertigungsverfahren kennen. Sie nehmen nämlich im Rahmen der Ausbildung an einer Überbetrieblichen Lehrlingsunterweisung (ÜLU) ZAHN4/11 (Heinz-Piest-Institut 2011) teil, in welcher Kenntnisse in CAD und CAM einschließlich 3D-Druck vermittelt werden.⁵⁶ Der Mitarbeiter mit Ausbildung zum Zahntechniker wird demnach zwar nicht in seinem eigentlichen Beruf „als Zahntechniker“ eingesetzt, er kann aber auf Kenntnisse zurückgreifen, welche er in seiner Ausbildung erworben hat. Ein weiteres Beispiel für die Verwertungsmöglichkeit von in der Berufsausbildung erworbenen Kenntnissen ist ein Mitarbeiter mit einer Ausbildung zum Energieanlagenelektroniker. Dieser ist aufgrund seiner Vorbildung in der Lage, auch solche Störungen am 3D-Drucker selbst zu beheben, für die ansonsten das Hinzuziehen eines Servicetechnikers des Anlagenherstellers erforderlich wäre.

Die anderen Beschäftigten waren – bezogen auf ihre formalen Berufsabschlüsse – im Hinblick auf die additive Fertigung mehr oder weniger fachfremd eingesetzt, wie die unten folgende Tabelle 5 zeigt. Allerdings verbergen sich hinter den allgemeinen Berufsbezeichnungen oft Menschen, welche sich z. B. in ihrem Studium bereits intensiv mit additiven Fertigungsverfahren befasst haben und aufgrund dessen entsprechende Spezialkenntnisse in den Betrieb einbringen können.

Einer der im Interview genannten Maschinenbauingenieure hatte sich in seinem Studium der Fertigungstechnik an der Universität Duisburg-Essen auf additive Fertigung fokussiert. Ein Werkstoffingenieur hat sich in seiner Bachelorarbeit mit dem Vergleich verschiedener Pulver im Additive Manufacturing befasst, wobei es sich bei seinem Abschluss nicht um einen fachspezifischen Abschluss in der additiven Fertigung im en-

⁵⁶ Wie VDZI-Präsident Uwe Breuer mit Genugtuung feststellt, wurden die ÜLUs „weitgehend als obligatorisch eingestuft“ (Breuer 2013, S. 3), die meisten Auszubildenden im Zahntechnikerhandwerk dürften also auch in den Genuss der entsprechenden Kenntnisse gelangen.

geren Sinne handelt. Neben den bereits genannten Berufen waren im 3D-Druck Industrie- und Werkzeugmechaniker beschäftigt sowie Betriebswirte und Kaufleute involviert.⁵⁷ Die folgende Tabelle gibt die Befragungsergebnisse im Detail wieder:

Tabelle 5: Beruflicher Hintergrund der Beschäftigten im 3D-Druck

Maschinenbauingenieure mit Schwerpunkt Konstruktion/Design, Wirtschaftsingenieure Konstruktion und Design, -Produktionstechnik, Betriebswirte, Diplomkaufleute, Industriemechaniker (Zerspaner, CNC-Bearbeitung, Konstruktion) evtl. als Techniker, Werkzeugmacher, Werkstoffingenieure, MA of Science/ Engineering
teilweise artfremd, auch Ungelernte, hauptsächlich aus dem Metallbereich, bei dem ausgegliederten, additiv fertigenden Betrieb auch eine Friseurin wegen handwerklicher Fertigkeiten (Ausschlaggebend war die Vertrautheit mit dem Mischen und Mixen im Friseurhandwerk, was eine wichtige Kompetenz für das Infiltrieren darstellt)
technische Modellbauer und Gießereiingenieure
Dipl.-Ing. mit der Aufgabe, die Parameter einzustellen, keine Beschäftigung Geringqualifizierter wegen zu geringen Anteils
Konstrukteure, Maschinenbauingenieur, Vertriebler, Kaufleute (keine einfachen gewerblichen Berufe wie z. B. Werkzeugmechaniker)
vom Fußbodenleger bis zum Elektrotechniker mit Technikerausbildung, (würde aktuell Personal benötigt werden, so würde man nach Mechatronikern suchen), das Unternehmen beschäftigt z. B. CNC-Zerspanungsmechaniker (Drehen und Fräsen), höher Qualifizierte aus dem Bereich Fahrzeuggbau/Kfz/Motorenentechnik sind stark vertreten, Mitarbeiter mit Studium in Fertigungstechnik, in der Entwicklungsabteilung sind Ingenieure aus den Bereichen Materialwissenschaft/Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik tätig, ein Mitarbeiter mit Metallberufsausbildung arbeitet im Bereich Messtechnik
Modellbauer, Formenbauer und Ingenieure, Produktdesigner, klassischer Maschinenbau, Kunststoff..., Zahntechniker, ein Mitarbeiter ohne Berufsabschluss in der Regel Modellbauer/Modelltischler, Energieanlagenelektroniker, Industriemechaniker, Maschinenbauingenieure

Quelle: Eigene Darstellung

⁵⁷ In unserer Studie von 2014 „Generative Fertigung in Deutschland“ hatten wir schon die Hörgeräteherstellung mit Stereolithographie untersucht und waren dabei auf Friseurinnen, Zahntechniker/-innen und Elektroniker/-innen gestoßen (Dobischat et al. 2015).

7.7 Aufgeschlossenheit von Beschäftigten gegenüber additiver Fertigung

Da in der Literatur Geringqualifizierten vielfach geringes Interesse an Weiterbildung nachgesagt wird bzw. ihre geringe Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen als Grund für ihre mangelnde Qualifikation genannt wird, haben wir die Unternehmen danach gefragt, welche Reaktionen sie erhalten haben, wenn sie Mitarbeiter nach ihrem Interesse an der additiven Fertigung fragten bzw. wie diese auf die Aufforderung reagiert hätten, im Bereich AM zu arbeiten. Weil einige der Unternehmen keine Geringqualifizierten beschäftigen und demzufolge auch keine Übergänge von Geringqualifizierten in die additive Fertigung stattgefunden haben, liegen auch nur wenige Antworten zu dieser Frage vor.

Lediglich von drei Unternehmen gibt es Aussagen zu dieser Frage, wobei zwei Unternehmen interne selbstständige Bewerbungen auf den Arbeitsplatz in der additiven Fertigung erhalten haben und bei einem Unternehmen die Arbeitsplätze im AM nach Hinweis der Betriebsleitung freiwillig eingenommen wurden und die anfängliche Skepsis einer zunehmenden Begeisterung gewichen ist.⁵⁸ Es musste auch kein Druck ausgeübt werden, aus Sicht der meisten Unternehmen macht einzig die freiwillige Bereitschaft tatsächlich Sinn. Jemanden zu zwingen sei kontraproduktiv. Eines der Unternehmen, welches Leiharbeiter beschäftigt, gewährt diesen bei entsprechender Motivation die Möglichkeit der Übernahme in einen festen Vertrag. Auch die Bereitschaft, mit einem Putzroboter⁵⁹ an der Nachbearbeitung der Gussstücke zu arbeiten, ging von einem Beschäftigten selbst aus.

Ein anderes Unternehmen stellt fest, dass Mitarbeiter der additiven Fertigung gegenüber aufgeschlossen sind, da es sich um ein interessantes und auch ein zukunftsweisendes Feld handeln würde. Deshalb ist

58 Um höherqualifizierte Tätigkeiten in der additiven Fertigung ausüben zu können, sind Vorkenntnisse erforderlich, die eine Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen sinnvoll und notwendig erscheinen lassen. Nach der Neigung der Unternehmen zu urteilen, Learning on the Job als eine der bevorzugten Formen der Schulung für AM zu betrachten, werden zur Vorbereitung auf geringer qualifizierte Tätigkeiten in der additiven Fertigung keine besonderen externen Schulungen in Anspruch genommen.

Deshalb kann man aus der Bereitschaft der Beschäftigten, in der additiven Fertigung zu arbeiten, nicht schließen, dass diese Beschäftigten auch eine besondere Bereitschaft zur Teilnahme an Weiterbildungen haben müssten.

59 Als „Gussputzen“ oder kurz „Putzen“ wird in der Gießerei die Nachbearbeitung der Gussstücke bezeichnet, also sämtliche Arbeiten am Werkstück, die nach dem Erstarren und vor dem Versand der Produkte liegen. Dazu zählt insbesondere das Entformen, Abtrennen von Anschnitt und Speisern, das Entsandnen (bei Formen aus Sand), Entgraten sowie die Wärmebehandlung (vgl. www.de.wikipedia.org/wiki/Gussputzen). Spezielle „Putzroboter“ genannte Maschinen für Gießereien sind seit den 1990er Jahren bekannt (siehe z. B. Isele 1993).

auch das Interesse entsprechend groß und es gibt Eigeninitiative der Beschäftigten, mit additiver Fertigung arbeiten zu dürfen.

7.8 Ungelernte und Branchenfremde in der additiven Fertigung

Vier der acht befragten Unternehmen gaben an, aktuell ungelernte oder branchenfremde Personen in der additiven Fertigung einzusetzen. Diese werden in der Regel beim Auspacken der Bauteile aus dem Pulverkuchen und für die Bauteilreinigung eingesetzt. In einem der Unternehmen war es ein ehemaliger Lagerist – ein Logistik-Mitarbeiter – mit Fingerspitzen-/Feingefühl, derzeit wird dazu ein Mitarbeiter aus der Produktion halbtags für die Bauteilreinigung eingesetzt; dieser ist – bezogen auf das Tätigkeitspektrum des Unternehmens – ungelernt. In einem weiteren Unternehmen ist es ein Mitarbeiter ohne formalen Berufsabschluss und in dem dritten Unternehmen eine angelernte Friseurin. Ein Unternehmen, welches grundsätzlich keine ungelernten Personen einsetzt, beschäftigt eine ausgebildete Malerin im AM.

Ein Unternehmen sieht aufgrund von Beschränkungen im Personalbereich im Moment keine Möglichkeiten zur Beschäftigung Geringqualifizierter, beschäftigt allerdings einen branchenfremden, ausgebildeten ehemaligen Fußbodenleger, der allerdings schon 10 Jahre in der Industrie gearbeitet hatte. Für ein weiteres Unternehmen ist es zwar vorstellbar, auch ungelernte Personen einzusetzen, solange aber der Anteil der mit AM erstellten Produkte für eine Serienproduktion zu gering ist, besteht keine Möglichkeit, eine ungelernte Person mit dem Starten des Programms, Herausnehmen des Produktes und mit dem Verpacken auszulasten.

Kompetenzen, welche die Geringqualifizierten für ihren Einsatz mitbringen müssten, wären Teamfähigkeit, handwerkliche Begabung, manuelle Fähigkeiten wie Fingerfertigkeit, ein Geschick für Modellbau, gute Augen, räumliches Verständnis und Geduld.

Aber welche Übergänge von Geringqualifizierten in die additive Fertigung wären vorstellbar? Maschinenvor- und Nachbereitung könnte man anlernen, d. h. die Bearbeitung von Teilen, das Entfernen von Stützstrukturen. Gewisse Bereiche in der Logistik wie Wareneingang/Warenausgang, Materiallogistik im Betrieb und Ähnliches wären ebenfalls gut denkbare Einsatzgebiete für Geringqualifizierte. Wichtig seien das Interesse, die Motivation und die handwerklichen Fähigkeiten, auch die Soft Skills. Übergangsweise könnte man Geringqualifizierte „mit den

Leuten mitlaufen lassen“, welche derzeit die Maschinen bedienen, also Qualifizierung durch „Learning by doing“.

Ein Unternehmen könnte sich einen sukzessiven Übergang von einfacheren Tätigkeiten zu immer komplexeren Prozessen vorstellen: „Zuerst Raus-Pulen, dann Strahlen, Infiltrieren, dann vielleicht Maschinen saugen – also Vorbereiten für den nächsten Prozess, stufenweise und in kleinen Schritten.“ Auch für ein anderes Unternehmen wäre ein solcher Aufbau an Kompetenzen denkbar: Die Maschine starten, entladen, (Teile aus dem Pulverkuchen) ausgraben, aufgrund ihrer Größe geteilte Teile nach entsprechenden Vorgaben zusammensetzen zu einem großen Teil. Was möglich ist, hängt von der Technologie ab. Mit Ausnahme von einem Unternehmen – welches angibt, dass es mehr die Konstrukteure und Ingenieure benötigt, da die Arbeit komplex sei – sagen alle anderen, dass sie noch einfache Tätigkeiten im Rahmen von AM haben.

7.9 Folgen von Serienfertigung und Automatisierung für Geringqualifizierte

Um die Neigung der Unternehmen zur Automatisierung besser einschätzen zu können, haben wir nach der Einstellung gegenüber dem Einsatz von Menschen im Vergleich zur Automatisierung von Maschinen und Anlagen gefragt. Unsere Interviewpartner haben der Einstufung des Menschen als Störfaktor überwiegend widersprochen. Aus Gründen der Prozessstabilität, Sicherheit und Qualität gebe es zwar Bestrebungen in Richtung Automatisierung, ohne den Menschen würde es aber auch nicht gehen. Der eigentliche 3D-Druckvorgang wäre zwar hoch automatisiert, alles davor und danach wäre aber sehr archaisch.

Der Mensch ist kein Störfaktor, sondern sehr wichtig für den Prozess. „Ohne Mensch geht Automatisierung nicht. [...] Nur durch die Akzeptanz des Menschen ist Automatisierung möglich.“ Das heißt, dass der Mitarbeiter dem unterstützenden Roboter gegenüber positiv eingestellt sein muss. Die körperliche Belastung geht durch die Automatisierung zurück. Im Bereich Entwicklung mit seinem hohen manuellen Aufwand mache eine Roboterlösung derzeit auch keinen Sinn.

Die Antwort auf die Frage, ob der Mensch ein Kostenfaktor sei, fällt nicht so eindeutig aus. Ziel von Automatisierung sei die Effizienzsteigerung, um mit dem gleichen Personal höheren Output zu erzielen. Das K.-o.-Kriterium für AM sind die Kosten.

Solange aber AM noch nicht ganz in der Serienfertigung angekommen ist, dürfte der Mensch im Vergleich zu einem Roboter auch nicht zu teuer sein. Ein Interviewpartner fasst es so zusammen: „Vom Prinzip her

kuckt man immer, wo kann ich Effizienzen generieren, Kosten, Arbeitsabläufe und Zeit zu optimieren, es geht immer in Richtung Zeit, Geld, und die Qualität muss nachher stimmen.“

Die Möglichkeiten und Auswirkungen der Automatisierung werden differenziert bewertet. Zumindest derzeit werden die Möglichkeiten für den Einsatz als begrenzt angesehen, das Verfahren sei zu komplex. Ein Roboter würde sich erst bei ganz straffer Serienfertigung lohnen, wo es wenig Material- und Teilewechsel gibt, wo das Teilespektrum nicht zu groß ist. Ein anderes Unternehmen pflichtet dem bei und schätzt die Möglichkeiten der Automatisierung bei dieser „Ein-Stück-Fertigung“ als sehr begrenzt ein. Man könne zwar über Optimierungen im Bereich der Chargen nachdenken, aufgrund der physisch kleinen Volumenströme lohne sich aber keine Automatisierung. Außerdem sollte man sich auch für die Serienaufträge die Flexibilität der „Ein-Stück-Fertigung“ nicht nehmen lassen. Zwei andere Unternehmen gehen mehr auf den Prozessketten-Aspekt ein: Die Übergabepunkte bildeten das Risiko bei digitalen Prozessketten. In der Vergangenheit habe man den Druck als technisches Problem gesehen und kümmere sich erst jetzt um die vor- und nachgelagerten Prozesse. In der automatisierten Prozesskette gibt es andere Tätigkeiten aber auch nicht weniger.

Ein Unternehmen aus der Gießereibranche nennt Arbeitsschutz als Grund für Automatisierung, beispielsweise den Einsatz von Robotern zur Reduzierung des Unfallrisikos beim Absägen von Speise(r)systemen. In der additiven Fertigung gäbe es aber im Moment keinen Grund, anzu-setzen. Und wenn man einen Roboter zur Nachbearbeitung eines Gussteiles einsetzt, ist das davon unabhängig, ob die Form vorher additiv oder konventionell gefertigt wurde. Wenn man 1000 Sandformen am Tag machen würde und entsprechend viele Nachbearbeitungen erfor-derlich wären, gäbe es Gründe, diesen Prozess zu automatisieren, „aber davon sind wir noch 20 Jahre entfernt“.

Ein anderes Unternehmen nennt ebenfalls Arbeitsschutz, mangelnde Ergonomie als Grund für die Automatisierung, beispielsweise wegen der unangenehmen Arbeit mit dem feinen Pulver. Das Unternehmen plant, den Ausgrabprozess zu automatisieren. Außerdem wird untersucht, Simulations- und Konstruktionssoftware zu nutzen, um Zeit, Material und Kosten zu reduzieren. Ein Ziel besteht darin, aus „Stand-Alone-Anlagen“ richtige Prozessketten aufzubauen. Schließlich schaffe Automatisierung Spielräume von Mitarbeitern für andere Tätigkeiten und damit für die Abwicklung von mehr Aufträgen.

7.10 Personalsuche für den Einsatz in der additiven Fertigung

Die Unternehmen haben für unterschiedliche Prozessschritte in der additiven Fertigung entsprechend unterschiedliches Personal gesucht, für Konstruktion/Design, für Projektplanung und Arbeitsvorbereitung, für das Packen von Baujobs für die Anlage, die Maschinenbedienung, das komplette Post-Processing, die Nachbearbeitung und den Vertrieb. Gesucht wurden nach Berufen wie Maschinenbauingenieuren, Technikern, Personen aus dem IT-Bereich oder Gesellen aus Zerspanungsberufen.

Die gesuchten Profile umfassten: technische Ausbildung, Vorerfahrung/praktische Erfahrung in der additiven Fertigung, dreidimensionales Vorstellungsvermögen und Umgang mit CAD, Leute mit Händchen für die Nachbearbeitung durch manuelle Fähigkeiten. In Bezug auf Soft Skills waren Zuverlässigkeit, Sensibilität, Teamfähigkeit und Motivation gefragt. Ein Unternehmen hatte zur Firmengründung fast alle zu besetzenden Stellen ausgeschrieben. Die Gießereien und ein Unternehmen aus dem Bereich Automotive haben ihr Personal intern aus dem bestehenden, bekannten Mitarbeiterstamm rekrutiert, für sie hat sich eine externe Suche erübrigt, die Leute sind dann in den Bereich der additiven Fertigung hineingewachsen.

Unternehmen mit interner Rekrutierung hatten ohnehin keine Schwierigkeiten, geeignete Mitarbeiter für die additive Fertigung zu finden. Zum Teil wird über bekannte Kontakte rekrutiert, aufgrund der Attraktivität der additiven Fertigung sei es relativ leicht, neue Mitarbeiter anzulocken. Ein Unternehmen hat aber auch eine hohe Anzahl an Initiativbewerbungen erhalten, aus dem eigenen Bundesland, aber auch darüber hinaus. Als Beschränkung wird wahrgenommen, dass keine Ausbildungsberufe direkt für die additive Fertigung existieren, dass es wenige gibt, die mit den Tätigkeiten vertraut und gute Leute rar sind.

Die Wege der Personalsuche sind vielfältig, ein Unternehmen drückt es so aus: Man kann keinen Weg priorisieren, es ist Zufall, man hat jemanden kennengelernt und gefragt: „Ist das nicht etwas für dich?“ Die Suchdauern sind für die interne Rekrutierung zu vernachlässigen, aber auch bei den anderen Unternehmen haben sie längstens ca. drei Monate beansprucht.

Tabelle 6: Wege der Personalsuche und Suchdauer

Wege der Personalsuche	Suchdauer in Monaten
interne Besetzung: Wir haben diskutiert, die Leute ausgesucht und gefragt, ob sie das machen wollen	0
interne Besetzung, persönliches Engagement des Ingenieurs bei der Auswahl der Anlage	0
interne Rekrutierung aus vorhandenem Personal	0
Mund-zu-Mund-Propaganda, Stellenausschreibung	1
Recruiting Center des Mutterunternehmens und Netzwerk/ persönliche Kontakte	unter 2
Agentur für Arbeit	2
Kooperation mit Hochschulen, Image-Aufbau generell, Präsentation auf Messen und Berufsmessen	2
Mundpropaganda, Online (von der eigenen Homepage bis zur Online-Plattform)	ca. 3

Quelle: Eigene Darstellung

7.11 Einbeziehung der Mitarbeiter/-innen bei der Einführung von additiver Fertigung

Lediglich drei der befragten acht Unternehmen haben einen Betriebsrat, andere Formen der Mitarbeitervertretung wurden nicht genannt. Das Vorhandensein einer Mitarbeitervertretung hat bei der Einführung von AM offensichtlich keine Rolle gespielt: In der überwiegenden Mehrheit fanden keine nennenswerten Abstimmungsprozesse zwischen Unternehmensleitungen und Mitarbeitern statt. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass sich die Unternehmen selbst in der Gründungsphase befanden, noch relativ klein waren, so dass das Führungspersonal aus mehr Personen bestand als die Gruppe der Mitarbeiter.

Die Beschäftigten, welche überhaupt von der Einführung additiver Fertigungsverfahren betroffen waren, zeigten keinen Widerstand, sondern eher großes Interesse, mit den neuen Technologien zu arbeiten. Außerdem besteht offensichtlich die Einsicht bei den Entscheidern, dass es keinen Sinn macht, Mitarbeiter durch Druck in ungeliebte Arbeitsbereiche zu zwingen.

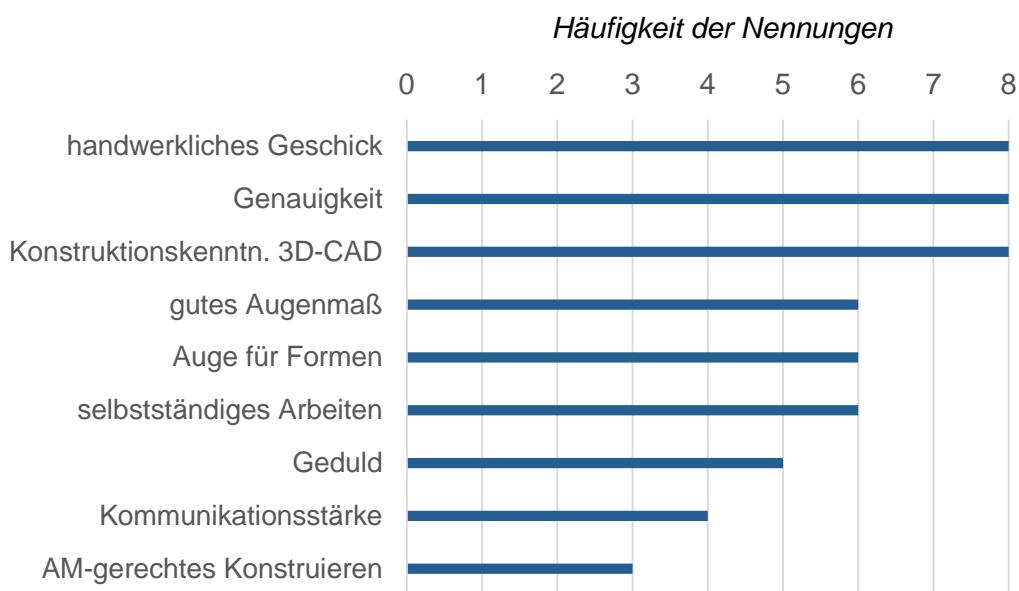
Aufgrund der Komplexität der Entscheidungen, die z. B. zwischen Make or buy oder bei der Auswahl eines bestimmten additiven Fertigungsverfahrens getroffen werden müssen, der Abhängigkeit von be-

stimmten Kunden und den spezifischen Möglichkeiten – aber auch Einschränkungen der einzelnen Verfahren –, ist eher nicht damit zu rechnen, dass die Unternehmensleitung die Arbeitnehmervertretung in die Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Verfahren einbezieht.

Allerdings hat der Betriebsrat Mitwirkungsrechte, vorneweg die allgemeinen Aufgaben des Betriebsrates nach § 80 BetrVG. Steinberger verweist außerdem auf die Monitoring- und Controllingaufgaben, welche die Arbeitnehmervertretung bei der Durchführung von Normen ausüben kann, die zugunsten der Beschäftigten gelten (Marschall/Steinberger 2015, S. 9–10). Da im Zusammenhang mit bestimmten additiven Fertigungsverfahren gesundheitliche Gefahren auf die Beschäftigten zu kommen können (Beisser/Hohenberger 2017), wäre es ein dankbares Betätigungsfeld des Betriebsrates, bei der Einführung von AM auch diese Aspekte im Auge zu behalten, die Kolleginnen und Kollegen zu informieren und seine Mitwirkungsrechte auszuüben.

7.12 Kompetenzen und Arten der Qualifizierung für die additive Fertigung

Abbildung 6: Erwünschte Kompetenzen für die additive Fertigung



Quelle: Eigene Darstellung

Die weniger häufige Nennung von AM-gerechtem Konstruieren – im Vergleich zu den stark nachgefragten Konstruktionskenntnissen in 3D-CAD – lässt sich dadurch erklären, dass die Daten von „Kunden“ (intern/extern) oder anderen Unternehmenseinheiten geliefert werden und dass es Software gibt, welche Fehler mehr oder weniger automatisch bereinigt. Die Betonung der allgemeinen Konstruktionskenntnisse in 3D-CAD spiegelt jedoch wider, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein ausgeprägtes Verständnis für die Komplexität und ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen für die additiv zu erstellenden Bauteile haben sollten. Genauigkeit wird sowohl für die Arbeit am Bildschirm als auch an der Fertigungsanlage und damit an den Teilen selbst gefordert.

Es wird die Kenntnis folgender Verfahren gewünscht:

- klassische Metallbearbeitung
- Pulerverfahren
- FDM
- LCM
- Nachbehandlungsverfahren: Strahlen, CNC-Fräsen
- Lasersintern
- Modellbau, Drehen und Fräsen

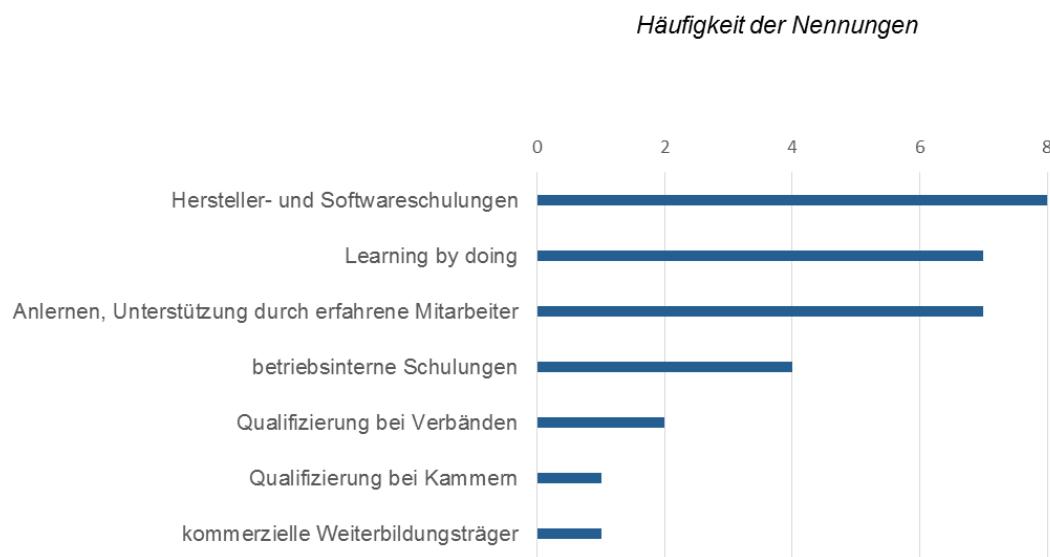
Als sonstige Kompetenzen wurden von den Befragten genannt:

- Werkstoffkunde, Teamfähigkeit, Flexibilität
- Verständnis für Komplexität, Prozessdenken, Flexibilität
- technisches Verständnis, wie Teile „gebaut“ werden, Funktionsverständnis
- Motivation, innerer Antrieb

Die am meisten genutzten Arten der Qualifizierung waren Schulungen der Anlagenhersteller- und Softwareschulungen sowie – in geringem Abstand – Learning by doing sowie Anlernen und Unterstützung durch erfahrene Mitarbeiter. Betriebsinterne Schulungen wurden von vier Unternehmen genannt. Die Qualifizierungsangebote von Verbänden wurden nur von zwei Unternehmen, Qualifizierungen von Kammern nur von einem Unternehmen in Anspruch genommen. Laut ersten Angaben der Interviewpartner bei der leitfadengestützten Befragung hatte keines der Unternehmen Qualifizierungsmaßnahmen kommerzieller Anbieter genutzt. Beim genaueren telefonischen Nachfragen ergab sich jedoch, dass zumindest eines der Unternehmen Weiterbildungen in Anspruch genommen hat, die in der Regel von kommerziellen Anbietern durchgeführt werden. Dazu gehört zum Beispiel die Fortbildungsmaßnahme „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren – Fachrichtung Metall nach der Richtlinie DVS 3602-1“, welche etwa von der LZH Laser Akademie

GmbH Hannover angeboten wird. Auch das 4-Tages-Seminar „Bionic Design for Additive Manufacturing“, das die Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT (vormals LZN Laserzentrum Nord GmbH) und der Softwarehersteller Altair offerieren, wurde von einem Mitarbeiter eines interviewten Unternehmens besucht. Man könnte dieses Angebot zwar auch unter „Softwareschulungen“ subsummieren, allerdings gehen die behandelten Themen über eine reine Softwareschulung hinaus. Außerdem wurde der Lehrgang „Fachingenieur Additive Fertigung VDI“ genannt.

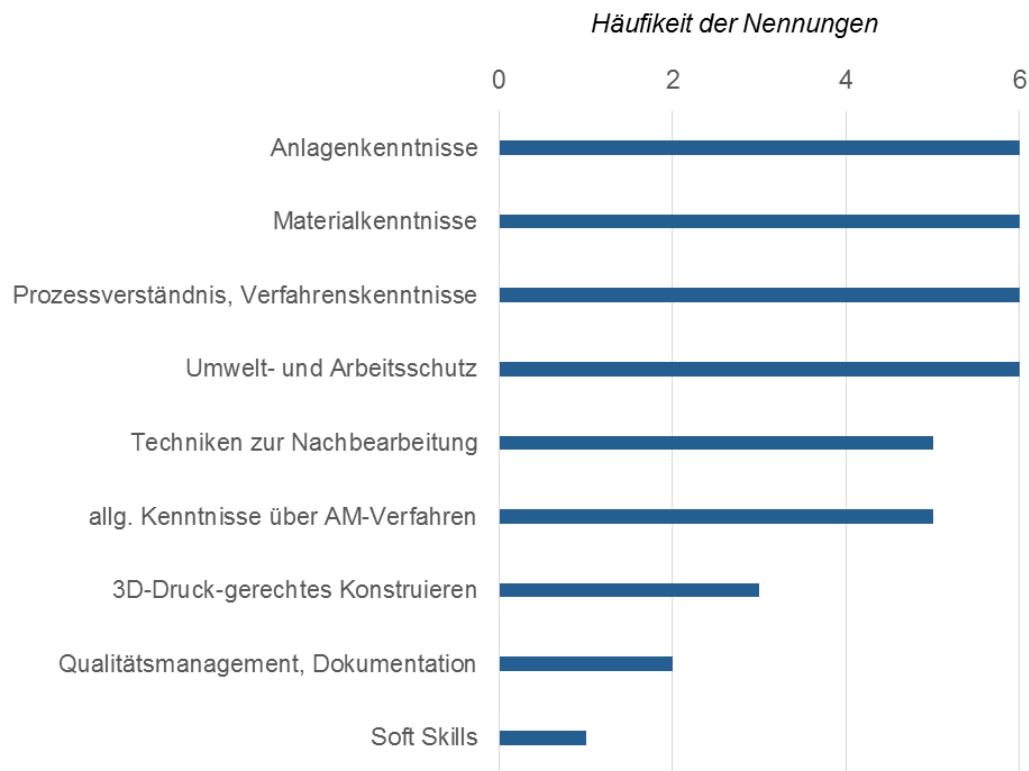
Abbildung 7: Genutzte Arten der Qualifizierung



Quelle: Eigene Darstellung

Als sonstige genutzte Formen zur Qualifizierung wurden genannt: Vorträge, Messebesuche, ein „3D-Führerschein“. Die Unternehmen nehmen aber nicht nur Weiterbildungsangebote von anderen in Anspruch, sondern bieten – z. B. im Rahmen des Qualifizierungsangebotes einer Hochschule – selbst Praktika im 3D-Druck an. Eines der Unternehmen war auch an der Entwicklung der ersten europäischen Gewährleistungsmarke im 3D-Druck vom Verband 3DDruck und dem Kunststoff-Institut Lüdenscheid beteiligt, mit welcher Qualitätsstandards für einen Basislehrgang zur Ausbildung von Fachkräften in der additiven Fertigung definiert wurden (Verband 3DDruck 2019).

Abbildung 8: In Weiterbildungen vermittelte Kenntnisse in additiver Fertigung



Quelle: Eigene Darstellung

Allgemeine Kenntnisse, die nicht explizit benannt werden, werden außerhalb von Weiterbildungsmaßnahmen im Rahmen der normalen Arbeit vermittelt. Der Prozess, die Jobvorbereitung, der Job selber, die Maschine rüsten, abrüsten und teilweise Nachbehandlungsverfahren sind Kern der Ausbildung am Standort.

Lediglich ein Unternehmen lässt Soft Skills extra schulen und nutzt dazu die Akademie für Personaltraining des Mutterunternehmens. Andere Unternehmen vermitteln Soft Skills nebenbei, ohne extra Schulung.

Qualitätsmanagement (QM) wird als absolut wichtig eingeschätzt, manchmal bringen Mitarbeiter entsprechende Kenntnisse aber schon mit. Ein Unternehmen betont, dass bezüglich QM eine Umstellung in der Mentalität vom Modellbau zum 3D-Druck erforderlich ist:

„Im Modellbau fanden keine Wiederholungen statt, beim 3D-Druck ist Wiederholbarkeit wichtig. Das Ein-Stück-Denken passt nicht mehr mit 3D-Serie zusammen“.

Auch das Erstellen einer Dokumentation für die Nachbearbeitung – eine wichtige Aufgabe im Rahmen des QM – wird in einer Kombination aus Learning by doing und Schulung vermittelt.

7.13 Schulungsmöglichkeiten für Geringqualifizierte

Bis auf ein Unternehmen sagen alle Unternehmen, dass sie im Betrieb einfache Tätigkeiten haben. Welche Möglichkeiten sehen die Unternehmen für den Einsatz von Geringqualifizierten in der additiven Fertigung konkret?

Die Einschätzungen von einfachen, für Geringqualifizierte geeigneten Tätigkeiten in der additiven Fertigung werden auch von der Definition von „geringqualifiziert“ abhängig gemacht. Eines der Unternehmen hält „wirklich Geringqualifizierte“ für Tätigkeiten an der Maschine für nicht geeignet. Dabei muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass sich die Anforderungen an das Bedienpersonal je nach Anlage und Voreinstellungen durch den Betreiber wie auch abhängig von der Qualität des Materials, der Komplexität der Geometrie und der Qualitätsanforderungen an die produzierten Teile stark unterscheiden können. Außerdem könnte die Einweisung durch erfahrenes Personal die Einsatzmöglichkeiten von Geringqualifizierten stark beeinflussen. Es könnte auch eine Rolle spielen, ob es sich um Aufträge handelt, die bereits eingespielt sind und bei denen keine besonderen manuellen oder kognitiv besonders anspruchsvollen Bedienereingriffe mehr erforderlich sind. Deshalb kommen für zwei Unternehmen diese Tätigkeiten für Geringqualifizierte in Frage:

- Maschine starten⁶⁰, vorbereiten, rüsten, vorhandene Geometrie einladen, Bauplattform herausholen, säubern; ausleeren, den Prozess neu starten, also alles, was nicht unbedingt mit Konstruktion zu tun hat
- Maschinenstart, mit einem gewissen Training In-Prozess-Beobachtung, das Setup, das Entladen der Maschine, das Ausgraben der Teile, das Post-Processing der Teile und das Zusammenfügen von Objekten, die für den Druckprozess geteilt wurden, z. B. durch Verkleben

60 Damit ist nicht unbedingt das Vornehmen von Einstellungen und Programmieren der Anlage gemeint, vgl. unten.

Als weitere Tätigkeiten und Bereiche wurden genannt:

- Materialmanagement, Materialhandling, z. B. Sieben
- Saubermachen
- Wartungsarbeiten
- Überwachung
- Entstützen, Entpulvern
- Reinigung, aber abhängig von der Bauteilkomplexität
- Auspacken, Strahlen, Färben, Maschine saubermachen
- Nacharbeit (nach Einweisung in die anspruchsvolleren Arbeiten)
- Logistik: Zählen, Wiegen, Verpacken
- hängt von der Definition von geringqualifiziert ab: Tätigkeiten an der Maschine sind für wirklich Geringqualifizierte nicht geeignet

Wie bewerten die befragten Unternehmen die Möglichkeit, Geringqualifizierte für die additive Fertigung zu qualifizieren? Eines der Unternehmen sieht die Voraussetzungen hierfür gegeben:

„Additive Fertigung bietet auf jeden Fall die Möglichkeit, mit wenig Wissen schon mal in Brot und Lohn zu kommen, sprich Auspacken und Handlangertätigkeiten. Mit einem gewissen Interesse und Geschick kann man sich weiter qualifizieren, bis zu einer Stelle, wo Handarbeit endet“.

Leute an den Rechner zu setzen um den Baujob zu packen, würde aber erheblich mehr Qualifikation erfordern, dann sei man schon auf der Ebene Konstrukteur, Produktdesigner. Auch ein anderes Unternehmen schließt den Einsatz von Geringqualifizierten in der AV-Programmierung⁶¹, im Projektmanagement oder für den Vertrieb aus. Zum Packen⁶² könnte man vielleicht einen „abgebrochenen Ingenieurstudenten“ hinbekommen.

Geringqualifizierte Mitarbeiter werden in Abhängigkeit ihres Potenzials eingesetzt, entscheidend sei aber der persönliche Wunsch/Wille zur Weiterentwicklung. Die Einsatzmöglichkeiten und damit auch die Sinnhaftigkeit zur Qualifizierung wird in Abhängigkeit vom Grad der Komplexität des additiven Verfahrens gesehen. Durch vernünftige, interne Schulungen und Weiterbildung gäbe es Möglichkeiten, allerdings müs-

61 Programmerstellung (z. B. für eine CNC-Maschine) nicht an der Maschine direkt, sondern an einem Bildschirmarbeitsplatz in maschinen- und steuerungsunabhängiger Form. (AV-Programmierung, NC, in: Metalltechnik Lexikon, www.metalltechnik-lexikon.de/av-programmierung-nc/)

62 Damit ist die Programmierung des 3D-Druckers zur Anordnung der Teile untereinander und ihre räumliche Ausrichtung auf der Bauplatzform gemeint. Die Ausrichtung im Raum spielt in der additiven Fertigung eine große Rolle, da die Anisotropie richtungsabhängig unterschiedliche Festigkeiten der in Schichten gedruckten Teile bedeutet und durch geschickte Ausrichtung z. B. Stufen vermieden oder minimiert werden können.

sen Lernbereitschaft/Motivation vorhanden sein. Ein anderes Unternehmen pflichtet dem bei und beschreibt die Möglichkeiten zur Qualifizierung von Geringqualifizierten als gut, „weil man die Leute direkt am Objekt qualifizieren kann“:

„Man kann am Drucker, am Bauteil, am Material qualifizieren, direkt am Verfahren qualifizieren, da alles verhältnismäßig neu ist, bestehen gute Qualifizierungsmöglichkeiten“.

Diese Möglichkeit zu nutzen, ist ausgesprochen sinnvoll, denn die einzelnen additiven Verfahren unterscheiden sich z. T. gravierend: Jemand der ein Verfahren versteht, kann noch lange nicht eine Maschine bedienen, welche nach einem anderen additiven Verfahren arbeitet.

7.14 Auswirkungen additiver Fertigung auf die Betriebsorganisation

Aufgrund der z. T. langen Produktionszeiten der einzelnen Baujobs bei additiver Fertigung kann man mit Auswirkungen auf die Arbeitszeiten rechnen, es stellt sich jedoch zusätzlich die Frage, inwiefern sich auch Auswirkungen auf die Hierarchie im Unternehmen ergeben, welche schließlich einen Einfluss bzw. eine Neubewertung der Polarisierungsthese im Rahmen der Diskussion um die Auswirkungen der Digitalisierung ergeben würden.

Tabelle 7: Besondere Arbeitszeiten in der additiven Fertigung

Unternehmen	besondere Taktung wegen langer Maschinenlaufzeiten	Schichtarbeit	Rufbereitschaft	Wochenendarbeit
U 1				
U 2				
U 3				
U 4				
U 5				
U 6				
U 7				
U 8				

Quelle: Eigene Darstellung

Die relativ langen Bauzeiten in der additiven Fertigung, welche die Anlagen für große Objekte benötigen, reichen z. T. von mehreren Stunden bis zu einigen wenigen Tagen. Das führt dazu, dass Baujobs nicht innerhalb der regulären Arbeitszeiten abgewickelt werden können oder dass kurz vor dem Wochenende gestartete Baujobs bis in den Samstag oder Sonntag hinein andauern.

Lediglich bei zwei Unternehmen hat dies keine Auswirkungen auf die Arbeitszeiten und wird auch in absehbarer Zukunft keine Auswirkungen haben. Das eine dieser Unternehmen arbeitet mit additiv gefertigten Teilen, welche es über einen Dienstleister bzw. Vermittler bezieht, das andere Unternehmen kann aufgrund von Vereinbarungen mit der Mitarbeitervertretung die regulär üblichen Arbeitszeiten nicht überschreiten bzw. nicht flexibel handhaben.⁶³

Die anderen sechs Unternehmen praktizieren bereits besondere Arbeitszeiten oder schließen diese für die Zukunft nicht aus. In Abhängigkeit von der Auftragslage rechnet man z. B. mit Rufbereitschaft oder mit Wochenendarbeit bei Termindruck.

„Der Bauprozess muss u. U. in einem bestimmten Takt erfolgen, denn wenn der Bauprozess geendet hat, hat man nur ein gewisses Zeitfenster zur Nacharbeit der Form, um eine vernünftige Qualität zu bekommen“.

Deshalb wäre es manchmal sinnvoll, den Bauprozess am Sonntag zu starten, um am Montag unmittelbar mit der Nacharbeit beginnen zu können. Die Zeiten werden auch vom Unternehmen zusätzlich bezahlt.⁶⁴ Ein zweites Unternehmen, welches sonst einschichtig, im Bereich Maschinenbedienung aber zweischichtig arbeitet, lässt Mitarbeiter am Wochenende im Betrieb nachsehen, ob noch Material aufgefüllt werden muss, ob ein Job erfolgreich beendet wurde oder „gecrasht“ ist und noch einmal angesetzt werden muss.

Auch bei einem anderen Unternehmen erfordert es der Fertigungsprozess manchmal, dass Mitarbeiter am Wochenende öfters kommen müssen, um einen neuen Baujob zu starten:

63 Das andere Extrem wären fragmentierte Arbeitszeiten, wie sie im Hotel- und Gaststättengewerbe auftreten, von denen aber einer der Befragten hofft, dass sie in der additiven Fertigung nicht vorkommen werden. Da additive Fertigungsverfahren auf absehbare Zeit nicht isoliert, sondern immer in Kombination mit konventionellen Fertigungsverfahren auftreten und Kompetenzen wie Genauigkeit und Geduld in der Branche hoch bewertet werden, ist mit einer solchen Entwicklung eher nicht zu rechnen.

64 Ähnliche Vereinbarungen zwischen Unternehmen und Beschäftigten sind in der Druckindustrie bereits seit langem üblich, die Zuschläge z. B. für Samstags-, Sonntags- und Nachtarbeit sind im Manteltarifvertrag geregelt (vgl. www.print.de/thema/tarifvertrag-druckindustrie/).

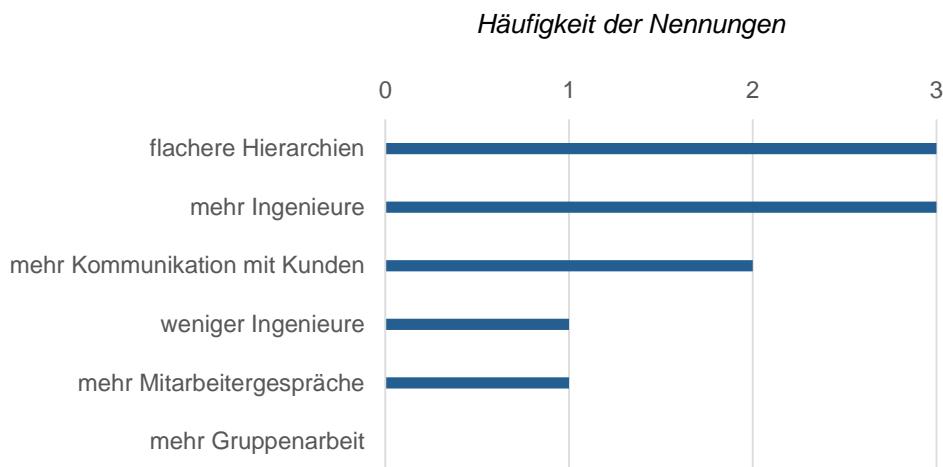
„Das hängt mit der Anlagenauslastung zusammen, mit der Ausbringmenge und der Terminsituation. Es gibt auch Phasen, wo wir unter der Woche einen Tag auslassen und dann von Freitag bis Montagmorgen bauen, sodass wir montagmorgens mit Auspacken beginnen können. Das bedingt, dass die Kollegen samstags oder sonntags oder an beiden Tagen in den Betrieb kommen“.

Aufgrund der hohen Kosten für die Anlagen von z. T. mehreren 100.000 Euro bis zu einem Millionenbetrag⁶⁵, haben die Unternehmen ein großes Interesse, die Maschinen besser auszulasten. Es stellt sich die Frage, in welchem Rahmen einvernehmliche Regelungen zwischen den Arbeitnehmervertretungen und den Geschäftsleitungen vereinbart werden können, welche ökonomisch sinnvoll, für die Beschäftigten akzeptabel und damit für beide Seiten vertretbar sind.

Die Auswertung der Interviews hat im Hinblick auf die Veränderung der Betriebsorganisation zumindest im Hinblick auf die Hierarchie im Unternehmen keine eindeutigen Ergebnisse gezeigt. Teilweise widersprechen sich die Aussagen – z. B. im Hinblick auf den Einsatz von Ingenieuren. Was die verschiedenen Stufen der Hierarchien anbelangt, wird von drei Unternehmen eher mit einer Einebnung der Unterschiede gerechnet, allerdings haben sich die restlichen Unternehmen an dieser Stelle einer Bewertung enthalten.

65 Die Kosten professioneller Anlagen für den industriellen Einsatz betragen für die folgenden Maschinen deutscher und österreichischer Hersteller: Arburg Freeformer 140.000 €, BigRap ONE.2 36.000 €, Concept Laser M2 449.000–599.000 €, Envisiontec Advantage 10.000 \$, EOS M400 1,25 Mio. €, Lithoz CeraFab 7500 220.000 €, Trumpf TruLaser 400.000–750.000 €, Angaben aus Wohlers Report 2015 (Wohlers/Caffrey 2015, S. 66–94). Vgl. zu den Anschaffungskosten von Anlagen zum 3D-Druck (Umweltbundesamt 2018, S. 15).

Abbildung 9: Auswirkungen additiver Fertigung auf Hierarchien und Organisation



Quelle: Eigene Darstellung, Mehrfachnennungen möglich

Nur zwei Unternehmen gehen von einer besonderen, neuen Organisationsform durch die additive Fertigung aus. Ein Unternehmen hält die Polarisierung mit einer Ausdünnung der mittleren Qualifikationsstufe für nicht ausgeschlossen. Ob relativ mehr oder weniger Ingenieure eingesetzt werden, wird davon abhängig gemacht, ob man die volle Prozesskette abdeckt. Dies führt im Vergleich zur konventionellen Industrie eher zu einer Erhöhung der Anzahl an Ingenieuren.

Aufgrund der dynamischen Entwicklung der additiven Fertigung nimmt ein anderes Unternehmen an, dass AM über kurz oder lang ein eigener Zweig – wie etwa Werkzeugbau oder Karosseriebau – wird, mit strukturellen oder organisatorischen Folgen. Auch Ad hoc Entscheidungen könnten zunehmen. Entscheidungsprozesse im Rahmen der Nachbearbeitung erfordern ggf. höhere Qualifikation, wenn z. B. eine bestimmte Technik erforderlich wird, sei dafür Fachkenntnis vonnöten.

Im Gießereibereich könnte die Verkettung im Formenbau aufgebrochen werden, da bei der additiven Fertigung weniger zusätzliche Arbeitsschritte erforderlich sind: „Ich erstelle die komplette Form, die ich dann abgießen kann.“ AM führt zu mehr Autonomie und macht das Unternehmen dadurch flexibler. Insgesamt bleibt es bei der vorhandenen Hierarchie. Aus Sicht eines Unternehmens rechnet sich AM nur, wenn Personal reduziert werden kann.

Zwei Unternehmen ziehen einen Vergleich zwischen Spritzguss und additiver Fertigung; bei der additiven Fertigung gibt es durch das Auspacken noch zusätzliche Arbeiten im Bereich einfacher Tätigkeiten, die man im Formenbau nicht hat:

„Wir haben im Formenbau keine Angelernten. Die Handarbeit an der Form ist vergleichbar mit der Handarbeit im Modellbau. Da brauche ich auf beiden Ebenen Fachkräfte mit Handgeschick. Eher erweitert AM die Hierarchie nach unten um diese ganz einfachen Tätigkeiten. Vielleicht entwickeln Hersteller die Maschinentechnik weiter, um diesen Arbeitsgang noch zu automatisieren, aber der Roboter hat nicht die Feinmotorik und Sensorik, um verklumptes Pulver und Teil zu unterscheiden“.

Das andere Unternehmen betont den Unterschied im Maß der erforderlichen Kommunikation: Bei der Herstellung eines Werkzeugs für den Spritzguss wäre die Kommunikation intensiver, da mehrere unterschiedliche Personen beteiligt seien, wie die „NC-Leute“ – d. h. die Programmierer, die Fräser, die Spritzgießer. Wenn Teile anteilig in die Werkzeuge einfließen, müssen auch die entsprechenden Mitarbeiter miteinander kommunizieren. Wenn es – statt wie in der konventionellen Produktion – in der additiven Fertigung Allrounder gäbe, welche die Maschinen bedienen und die Probleme kennen, dann könnte das zu einer flachen Struktur führen.

Ein Beitrag in der Online-Zeitschrift MaschinenMarkt unterstützt die im Rahmen dieser Studie gemachten Erfahrungen, dass es derzeit noch genügend Vorgänge und Tätigkeiten gibt, die von Geringqualifizierten ausgeübt werden können. Denn die komplexe und unterschiedliche Geometrie der Bauteile erfordert individuelles Vorgehen (Itasse/Käfer 2019):

„Nach dem Baujob kommen Bauteile, abhängig vom Verfahren, zum Entpulvern oder zur Stützstrukturentfernung. Hier kann man noch viel Handarbeit sehen. So graben bei pulverbettbasierten Kunststoffverfahren Mitarbeiter im Pulverkuchen, um die Bauteile herauszufischen. Wichtige Werkzeuge dabei sind Handfeuer und Saugrüssel“.

Allerdings gibt es inzwischen auch Anlagen zum automatisierten Entpulvern (Käfer 2019b), was insofern für die Beschäftigten den Vorteil hat, dass sie nicht mehr mit den gesundheitsschädlichen Metallpartikeln und der ebenfalls gesundheitsschädlichen Argon-Schutzatmosphäre in Berührung kommen.

8. Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Ergebnisse aus dem Projekt

Derzeit gibt es noch eine Vielzahl von Arbeitsvorgängen und Tätigkeiten, die von Geringqualifizierten ausgeübt werden können. Es kommt auf die Art der Geringqualifizierten an, für welche Tätigkeiten sie in Frage kommen. Da die Prozesse z. T. noch nicht stabil laufen bzw. viel Analyse und Einstellungsarbeit erfordern, sind es immer noch vor allem Ingenieure, welche für notwendig erachtet werden, um Bauprozesse mit den gewünschten Ergebnissen ablaufen zu lassen. Es hängt sicherlich vom Verfahren, vom Material, der Geometrie und den gewünschten Produktergebnissen ab, inwiefern diffizile Einstellungsarbeiten erforderlich sind oder nicht.

Für manche der Interviewten ist es durchaus vorstellbar, dass auch gering qualifizierte Mitarbeiter Maschinen bedienen. Es kann mit guten Gründen vermutet werden, dass es sich dabei um eingespielte Abläufe, wiederholbare Erfahrungen und Routinen auf Seiten des Personals handelt. Andere, anspruchsvolle – in den Bereich des Prototyping fallende – Bauteile erfordern dagegen die Analysefähigkeit und das Fingerspitzengefühl von qualifizierten Mitarbeitern auf Techniker-, Meister- oder Ingenieursniveau. Dies ist zumindest die Aussage einiger unserer Interviewpartner. Das muss jedoch nicht notwendigerweise so bleiben.

Es ist vorstellbar, dass mit zunehmender Kenntnis über das Verhalten des Materials in Zusammenhang mit den Verfahren oder durch den Einsatz spezieller Sensoren Unsicherheiten, die derzeit noch in den Prozessen bestehen, in Zukunft von den Maschinen automatisch abgefangen und reduziert werden, sodass die Maschinenbedienung langfristig auch von geringer qualifizierten Personal vorgenommen werden kann. Andererseits bedeutet diese Entwicklung natürlich auch die Möglichkeit, die Prozesse weiter zu automatisieren und auf Personal jedweder Qualifikationsstufe zunehmend zu verzichten.

Der Bereich, der von den meisten als auch in Zukunft vorstellbares Betätigungsgebiet für Geringqualifizierte eingeschätzt wird, ist – neben dem Entpacken und Entpulvern der Bauteile – der große Bereich der Nachbearbeitung. Inzwischen ist zwar absehbar, dass auch für diesen Bereich zunehmend automatisierte Lösungen zur Verfügung stehen (z. B. Käfer 2019b), die Einzelfertigung bietet jedoch so lange einen gewissen Schutz vor Automatisierung, solange nicht Roboter mit Hilfe Künstlicher Intelligenz in der Lage sind, sich auf ständig ändernde Produkte und Geometrien einzustellen.

Kompetenzen, welche von Personal in diesem Bereich gefordert werden, sind Geduld, Genauigkeit, räumliches Vorstellungsvermögen, ein Auge für Formen, und gute Feinmotorik. (Interviewte halten es in ihrem Bereich für nicht rationell, beim derzeitigen Grad der Einzelfertigung zu automatisieren. Die Teile sind zu individuell, um an eine automatisierte Bearbeitung zu denken.) Das heißt, dass auch Personen im Bereich der nicht primär kognitiven Kompetenzen – sondern eher mit höheren manuellen Fähigkeiten – gute Chancen in der additiven Fertigung haben, also mit eher handwerklichen Fertigkeiten. Dies gilt zumindest so lange, wie mehr Modelle und Prototypen als Serienteile erstellt werden.

Die Beschleunigung der Aufbauraten der additiven Fertigung wird mittelfristig die additive Fertigung auch für die Serienfertigung mit Metallen – z. B. im Bereich Automotive – attraktiver machen. Hatten vor wenigen Jahren Laserschmelzanlagen lediglich einen Laser und entsprechend lange Produktionszeiten für ein einzelnes Teil, so sind inzwischen Anlagen mit vier Lasern nicht unüblich. HP hat eine Anlage zur additiven Fertigung entwickelt, welche in einem Joint Venture mit Volkswagen zur Produktion von Serienteilen aus Metall eingesetzt werden soll. Durch eine Technologie, in der ein Verfahren aus dem digitalen Großformatdruck für den 3D-Druck weiterentwickelt und in Kombination mit dem Material Metall genutzt werden soll, können voraussichtlich bis jetzt nicht erreichbare Aufbaugeschwindigkeiten bei gleichzeitig hoher Komplexität und Auflösung erzielt werden. Die bisher oft gehörte Aussage: Serienteile aus Metall für den Bereich Automotive sind im 3D-Druck nicht schnell genug und nicht ökonomisch zu produzieren, wird dann überholt sein.⁶⁶

Erst die Serienproduktion ermöglicht im In-Prozess Vereinfachung und damit eine Einsatzmöglichkeit für Geringqualifizierte auch an bisher kompliziert zu bedienenden Prozessen an 3D-Druck-Anlagen. Insgesamt und besonders bezogen auf den Post-Prozess steigt die Möglichkeit zu Automatisierung. Und so wird auch für die additive Fertigung die Aussage wie für die Digitalisierung allgemein zum Tragen kommen: „dass durch die Digitalisierung zwar weiterhin viele Jobs mit geringem Anforderungsprofil entstehen“, dass diese „jedoch bei zunehmender Automatisierung und Digitalisierung auch wieder schneller“ verschwinden werden (Nyarsik 2019).

66 Vgl. z. B. zur Einschätzung der Entwicklung im Jahre 2016 (Becker 2016).

8.2 Ausweg: Optimierung der Matchingprozesse

Die befragten Unternehmen sehen nicht nur aktuell, sondern auch für die Zukunft Chancen zur Beschäftigung Geringqualifizierter in der additiven Fertigung. Die individuelle Nachbearbeitung von Bauteilen – insbesondere aus der Einzelfertigung, der Prototypenerstellung und des Modellbaus – wird auch in Zukunft als Nische zur Beschäftigung von Geringqualifizierten mit manuellen Fertigkeiten bestehen bleiben.

Obwohl der zu erwartende wachsende Anteil an Serienfertigung im Additive Manufacturing eine gewisse Aussicht auf eine Zunahme einfacherer Tätigkeiten eröffnet, verstärkt er gleichzeitig den Trend zur Automatisierung und wird die gewonnenen Spielräume rasch wieder vernichten.

Nach „Hersteller- und Softwareschulungen“⁶⁷ sind „Learning by doing“ und „Anlernen, Unterstützung durch erfahrene Mitarbeiter“⁶⁸ die von den befragten Unternehmen am stärksten genutzten Formen der Qualifizierung von Mitarbeitern für die additive Fertigung. Angebote von Verbänden⁶⁹, Kammern⁷⁰ und kommerziellen Weiterbildungsträgern wurden von den Unternehmen nur in geringem Maße in Anspruch genommen.

Wenn man berücksichtigt, dass für die Nachbearbeitung detaillierte Prozesskenntnisse der additiven Fertigung nicht erforderlich sind und die Unternehmen die interne, betriebliche Weiterbildung anhand der spezifischen, eigenen Bedürfnisse bevorzugen, macht es Sinn, sich stärker darauf zu konzentrieren, den Matchingprozess zwischen Unternehmen und geeignetem Personal zu optimieren. Somit ergibt sich eine wichtige Aufgabe der Arbeitsverwaltung, Unternehmen dabei zu unterstützen, unter den Geringqualifizierten geeignetes Personal mit räumlichem Vorstellungsvermögen, gestalterischen Kompetenzen, Neigung zur Akribie und mit Geduld für eine Tätigkeit in der additiven Fertigung zu identifizieren.

67 Nennungen von allen acht befragten Unternehmen.

68 Jeweils sieben Nennungen.

69 Zwei Nennungen.

70 Eine Nennung.

8.3 Resümee – Geringqualifizierte in der additiven Fertigung?

Die Frage nach den Aussichten für die Geringqualifizierten erhält erst im Lichte der Digitalisierungsdebatte und ihren prognostizierten Folgen wirkliche Brisanz. Dabei ist nicht von vornherein entschieden, dass manche der z. T. wie selbstverständlich gemachten Annahmen und unterstellten Gleichsetzungen die Realität angemessen widerspiegeln.

Angesichts der Kritik von S. Pfeiffer erscheint die Definition von Einfacharbeit als „manuelle Routinetätigkeiten“ eklatant eindimensional. Selbst wenn man den Aspekt der Handlungsautonomie noch hinzunimmt, wie er in der Darstellung von Abel, Hirsch-Kreinsen und Ittermann zum Ausdruck kommt. Auch fällt auf, dass die Diskussion einen starken industriellen Bias hat und ein wahrscheinlicher Unterschied zwischen der Arbeitsorganisation und Arbeitsverteilung in einer mehr tayloristischen Umgebung und der Arbeitsverteilung in kleinen und mittelständischen Unternehmen nicht erkennbar gewürdigt wird.

Es ist bezeichnend, dass man dementsprechend kaum Darstellungen findet, inwiefern sich die Verbreitung von Einfacharbeit nach Betriebsgrößenklassen unterscheidet.⁷¹ Auch die Zuschreibung der Anteile von Routinetätigkeiten zu bestimmten Berufen ist wenig zielführend, da sich die Tätigkeitszuschnitte an realen Arbeitsplätzen – zumindest in KMU – nicht starr an Berufsbildgrenzen orientieren, sondern Mitarbeiter diejenigen Arbeiten ausführen, welche sie am besten können und für die sie vom Betrieb in vielen Fällen auch gefördert werden. Die tatsächlichen Aufgaben können sich dann von den ursprünglich in der Ausbildung erworbenen Kompetenzen erheblich unterscheiden, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Substitutionspotenziale.

Auch der vom IAB betriebene Job-Futuromat (IAB 2019) weist ein Funktionsdefizit auf, welches zu einem pauschalisierten, wenig aussagekräftigen Ergebnis über die Substitutionspotenziale von Berufen führt. Wie aus der Literatur zum Risikomanagement bekannt ist, gehört zu einer realistischen Bewertung des mit einem Ereignis verbundenen Risikos nicht nur die Betrachtung seiner Eintrittswahrscheinlichkeit, sondern auch die Berücksichtigung der Höhe des damit verbundenen Schadens oder Nutzens, mit welchem bei Eintritt des erwarteten Ereignisses gerechnet werden muss (exemplarisch für Literatur zum Risikomanagement vgl. Gleißner 2011).

71 Eine der wenigen Ausnahmen scheint der bereits erwähnte Beitrag von Abel/Hirsch-Kreinsen/Ittermann 2009, S. 25, zu sein. Wichtig wäre hier, über aktuelle Daten aus den letzten Jahren verfügen zu können.

Bedauerlicherweise erlaubt auch der Job-Futuromat in seinem Algorithmus nur die pauschale Bewertung von Tätigkeiten als „ersetzbar“ oder „nicht ersetzbar“ ohne das Ausmaß differenziert bestimmen zu können. Der Job-Futuromat soll den Nutzern eigentlich anzeigen, wie hoch die Automatisierbarkeit eines Berufes ist. Dazu wertet er aus, wie hoch der Anteil an Tätigkeiten ist, die für diesen Beruf wesentlich sind⁷² und „die theoretisch schon heute von Computern oder computergesteuerten Maschinen ausgeführt werden könnten“ (IAB o. J.).

So ist jedoch z. B. das Ergebnis für die einzelnen Berufe der drei Fachrichtungen des Technischen Modellbauers bzw. der Technischen Modellbauerin „Gießerei“, „Karosserie und Produktion“, „Anschauung“ entmutigend: Die Berufe des Technischen Modellbauers setzen sich aus 9 bis 10 Tätigkeiten zusammen, von denen wiederum auch 9 bis 10 Tätigkeiten vollständig ersetzbar sein sollen. Die Einstellungsregler des Futuromat lassen zwar zu, dass man die Häufigkeit einzelner Tätigkeiten variiert, wenn aber der Algorithmus alle ersetzbaren Tätigkeiten als immer zu 100 Prozent ersetzbar definiert – ganz gleich, wie häufig sie vorkommen – führt dies dazu, dass der Futuromat z. B. für Technische Modellbauer/innen der Fachrichtung Karosserie und Produktion als Ergebnis immer nur eine 100-prozentige Ersetzbarkeit ausgibt.

Es wäre eine sinnvolle Modifikation, wenn der Job-Futuromat den Nutzern erlauben würde, die Ersetzbarkeit jeder einzelnen Tätigkeit selbst einzuschätzen und die Regler entsprechend einzustellen. Grundlage der eigenen Bewertungen könnten z. B. praktische betriebliche Erfahrungen, der Rat von Eltern – wenn man davon ausgeht, dass Jugendliche im Rahmen der Berufswahl den Job-Futuromat nutzen – oder Berichte von Unternehmen aus dem eigenen Unternehmensnetzwerk sein.

Differenzierte Einstellungsmöglichkeiten am Job-Futuromat könnten dadurch eine realistischere Gesamtbewertung der Ersetzbarkeit von Berufen ermöglichen. Gerade bezogen auf den Bereich des Modell- und Formenbaus mit hohem Anteil an Prototypen- und Kleinserienproduktion scheint es in der Praxis eher unrealistisch zu sein, dass KMU große Teile ihrer Prozesse in absehbarer Zukunft automatisieren könnten, wenn sie mit mehreren Kunden und kleinen, wechselnden individuellen Aufträgen arbeiten.

Auch das Projekt „Einfacharbeitsplätze pro Beschäftigung“ hat eine solche Situation und die Bedeutung einfacher Arbeit für Unternehmen beschrieben:

72 Laut Urteil von Berufsexperten, die im Auftrag der Bundesagentur für Arbeit auf Basis von Ausbildungsordnungen oder Stellenausschreibungen die wesentlichen Tätigkeiten herausgearbeitet haben (IAB o. J.).

„Typisch sind kleine und häufig wechselnde Serien und hohe manuelle Fertigkeiten: das sind die Argumente für den Erhalt dieses Typs von Arbeit. Eine Automatisierung ist technisch nicht realisierbar oder zu kostenintensiv“ (Jürgenhake/Sczesny/Wiengarten 2015, S. 17).

Wichtig ist auch ein anderer arbeitsorganisatorischer Aspekt, der sich mit der Aussage eines unserer Interviewpartner – nämlich Mitarbeiter an unterschiedlichen Arbeitsstellen einzusetzen – völlig deckt. Jürgenhake, Sczesny und Wiengarten schreiben:

„Erstaunlich hoch ist auch der Anteil an Unternehmen, die Arbeiten zu Arbeitsplätzen zusammenfassen, um die Fachkräfte im Unternehmen zu entlasten. Für mehr als vierzig Prozent (41,4 %) spielt dieser Grund eine Rolle. Dafür werden z. B. auch arbeitsorganisatorische Veränderungen bewusst durchgeführt. [...] Indem Fachkräfte von einfachen Arbeiten entlastet werden, sinkt der Bedarf an Fachkräften und der Bedarf an Anlerntätigkeiten steigt. Einige der Betriebe sehen in der Einstellung von Einfacharbeitskräften auch eine Chance, dem drohenden Fachkräftemangel entgegenzuwirken“ (Ebenda).

Auch eines der im Rahmen unserer Studie befragten Unternehmen hat erklärt, dass es ursprünglich als Leiharbeiter Beschäftigten bei entsprechender Motivation eine feste Stelle anbietet. Wie im Projekt „Einfacharbeitsplätze pro Beschäftigung“ lassen sich so Beschäftigte in produktionsunterstützenden Anlerntätigkeiten in Richtung Fachkraftniveau entwickeln und manchmal sogar eine Ausbildung nachholen (vgl. Jürgenhake/Sczesny/Wiengarten 2015, S. 17).

S. Pfeiffer übt Kritik an den „methodischen Black Boxes“ in Studien zur Ersetzbarkeit der Routinetätigkeiten⁷³ – die ja im Rahmen der Diskussion um Einfacharbeit eine wesentliche Rolle spielen: „Die Frage der prinzipiellen technologischen Ersetzbarkeit einer Tätigkeit“ erfordere „tiefgreifende empirische Kenntnisse sowohl über die jeweilige Tätigkeit als auch über die je zu verwendende Technologie und deren Reifegrad“ (Pfeiffer 2018, S. 216). Beides sei „von der Arbeitsmarktforschung alleine nicht zu bewältigen“, stattdessen wären größere Forschungsstrukturen nötig,

„die interdisziplinäre und auch qualitative Erkenntnisse aus Informatik und Ingenieurwissenschaft, aus Arbeitssoziologie und -wissenschaft sowie Techniksoziologie systematisch mit quantitativer Arbeitsmarktforschung integrieren. Der Aufwand wäre immens, die Notwendigkeit wird bislang kaum erkannt. So bleibt diese Black Box [...] weitgehend dunkel und wird allenfalls realistisch gefüllt mit groben und methodisch ungesicherten sowie nicht validierbaren Einschätzungen“ (Pfeiffer 2018, S. 216).

73 S. Pfeiffer nennt exemplarisch die Studien von Frey und Osborne 2013 sowie von Dengler und Matthes 2015.

Pfeiffer kritisiert, dass die Zuordnung der Routinehaltigkeit unbestimmt bleibt: Routine und Nicht-Routine sind „untrennbare Anteile innerhalb einzelner Tätigkeiten“, „jede Zuordnung einer Tätigkeit zu der einen oder anderen Kategorie“ stelle eine starke Vereinfachung dar (Pfeiffer 2018, S. 217, Hervorhebungen im Original).⁷⁴

Die Erfahrungen von Pfeiffer im Rahmen ihrer Erhebungen zum Arbeitsvermögen-Index (AV-Index) bei einem Formenbau-Betrieb mit 3D-Drucker ähneln stark den Beschreibungen eines von uns befragten Unternehmens:

„Nicht-Routine-Handeln ist Standard, da es sich technologisch um frühe Entwicklungsphasen und um Unikat- und Prototypenfertigung handelt. Die Tätigkeit umfasst oft echte Entwicklungsarbeit und nicht nur die Umsetzung von Kunden-spezifikationen. Die Tätigkeit ist technisch sehr umfassend, die Abläufe sind wenig standardisiert und die technologischen Anforderungen der Kunden vielfältig“ (Pfeiffer 2018, S. 229).

Wenn in einem solchen betrieblichen Kontext Wandel erfolgreich bewältigt werden muss, wäre nach Pfeiffer „eine dauerhafte Anforderung an Nicht-Routine-Handeln“ nötig (Pfeiffer 2018, S. 230). Vergleiche zwischen den AV-Werten der Befragten im Autowerk und im Formenbau würden außerdem darauf hinweisen, „dass beruflich Qualifizierte in Deutschland mehr mit Nicht-Routine-Tätigkeiten befasst sind, als dies möglicherweise für Produktionstätigkeiten in stärker polarisierten Arbeitsmärkten (wie etwa dem US-amerikanischen) ohne diese Form mittlerer Qualifikationsniveaus gilt“ (Pfeiffer 2018, S. 233).

Im Vergleich zu den prominenten Studien von Dengler/Matthes und Frey/Osborn, welche für die hier betrachteten Tätigkeiten eine potenziell praktisch vollständige technische Ersetzbarkeit attestieren, können mit dem AV-Index „diametral andere Aussagen generiert werden“ (Pfeiffer 2018, S. 234).

„Zumindest immer dann, wenn unterstellte (statt belegter) Routine als relevantes Kriterium für Ersetzbarkeit einer Tätigkeit herangezogen wird, kann der AVI die Anteile an Nicht-Routine innerhalb dieser Tätigkeit valide zeigen“ (Ebenda).

Nach der in fünf Schritten durchgeführten Validierung der betrachteten Tätigkeiten durch den Arbeitsvermögen-Index geht Pfeiffer davon aus, dass folgende These aufgestellt werden kann: Wo diese Tätigkeiten als Routine „und deswegen als Verlierer der digitalen Transformation abgestempelt werden, geschieht dies ungerechtfertigt und steht auf methodisch wackligen Füßen“ (Pfeiffer 2018, S. 234).

74 Pfeiffer verweist vergleichend auf Levy u. a. 1999.

Ergänzend zu den Erhebungen zum AV-Index von Pfeiffer ist eine Qualifikationsforschung sinnvoll, die nicht nur die einzelnen Arbeitsplätze mit ihren Abläufen und Tätigkeiten im Detail in den Blick nimmt, sondern die gesamte Prozesskette für die Produktionsorganisation betrachtet (Frenz/Heinen/Schlick 2015, S. 15). Frenz, Heinen und Schlick schlagen deshalb vor, dass „eine Qualifikationsforschung, die technologische Beschreibungskriterien [...] und kompetenzorientierte Erwartungen an die Fachkräfte vereint“, klären sollte, „welche Kompetenzen von Fachkräften für spezifische Tätigkeiten in der Produktion auch in Zukunft notwendig bzw. auch in Zukunft nicht effizient automatisierbar sind“ (Frenz/Heinen/Schlick 2015, S. 16).

Wenn aufgrund von Bedarfsanalysen, Ergebnissen aus Arbeitsplatzbeobachtungen und dem AV-Index sowie der Qualifikationsforschung die Voraussetzungen für unternehmensspezifische Weiterbildungsangebote geschaffen wurden, bleibt die Frage der tatsächlichen Umsetzungsmöglichkeiten von Qualifizierungsmaßnahmen insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen.

Wie Dobischat und Düsseldorf bereits festgestellt haben, fehlen Unternehmen dieser Größenordnung oft die erforderlichen Ressourcen: infrastrukturell, personell und organisatorisch (Dobischat/Düsseldorff 2013). Verbände und Kammern könnten in Zusammenarbeit mit lokalen Einrichtungen der Berufsbildung (z. B. Berufskollegs) sowie regionalen Hochschulen und Universitäten mit Unterstützung durch BMBF und BIBB geeignete Entwicklungs- und Unterstützungsstrukturen schaffen.

Literatur

- 3Dnatives (2018): HP Metal Jet, die neue 3D-Metalldrucktechnologie von HP. Online-Informationsportal. 3Dnatives (blog). 10. September 2018, www.3dnatives.com/de/hp-metal-jet-100920181/ (Abruf am 26.11.2019).
- 3Dnatives (2019): Rekrutierung im 3D Druck: Was sind die wichtigsten Trends? 3Dnatives (blog), 22. Mai 2019. www.3dnatives.com/de/rekrutierung-im-3d-druck-220520191/ (Abruf am 26.11.2019).
- 3Druck.com (2019): Sintern von Aluminiumlegierungen mit der Binder Jet Druckertechnologie jetzt möglich. 3Druck.com – The Independent AM Magazine, 13. September 2019, www.3druck.com/industrie/sintern-von-aluminiumlegierungen-mit-der-binder-jet-druckertechnologie-jetzt-moeglich-1685217/ (Abruf am 27.11.2019).
- Abel, Jörg/Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Ittermann, Peter (2009): Einfacharbeit in der Industrie – Status Quo und Entwicklungsperspektiven. Bd. 24/2009. Soziologisches Arbeitspapier, Nomos, www.doi.org/10.5771/9783845269245 (Abruf am 27.11.2019).
- acatech (Hrsg.) (2016): Additive Fertigung: Stellungnahme. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user_upload/Publikationen/Stellungnahmen/AdditiveFertigung_Juni_2017_1_.pdf (Abruf 27.11.2019).
- AGENT-3D e. V. (o. J.): AGENT-3D – Projektübersicht. AGENT3D – Projektübersicht, www.agent3d.de/projektuebersicht (Abruf am 27.11.2019).
- Baethge-Kinsky, Volker/Tullius, Knut (2005): Produktionsarbeit und Kompetenzentwicklung in der Automobilindustrie – was geben flexibel standardisierte Produktionssysteme für den Einsatz qualifizierter Fachkräfte her? SOFI-Mitteilungen, Nr. 33, www.sofi.uni-goettingen.de/fileadmin/Publikationen/SOFI-Mitteilungen_33_Baethge-Kinsky-Tullius-neu.pdf (Abruf am 04.12.2019).
- Bauernhansl, Thomas/Hörcher, Günter/Bressner, Markus/Röhm, Maren (2018): MANUFUTURE-DE. Ermittlung prioritärer Forschungsthemen für die nachhaltige Ausgestaltung von europäischen Forschungsprogrammen für die produzierende Industrie bis 2030. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Publikationen/Studien/Studie_Fraunhofer_ManuFuture.pdf (Abruf am 27.11.2019).

- Becker, Sylke (2016): Revolution in der Metallbearbeitung durch Additive Manufacturing bleibt vorerst aus. VDW-Studie zu Chancen und Risiken von AM gibt Entwarnung – nur ein Prozent Substitution bestehender Verfahren. Presseinformation vom 23. Februar 2016. www.wzm.vdma.org/viewer/-/v2article/render/17065724 (Abruf am 04.12.2019).
- Beisser, Renate/Hohenberger, Ludger (2017): Emissionen aus additiven Fertigungsanlagen – 3D-Druck. In 6. St. Augustiner Expertentreff Gefahrstoffe, www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016_saet_gefahrstoffe/9-beisser-3d_fuer-veroeffentlichung.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Bertelsmann Stiftung (2018a): Jeder zweite Arbeitnehmer ohne formale Ausbildung arbeitet als Fachkraft. 25. Januar 2018, www.bertelsmann-stiftung.de/de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/pid/jeder-zweite-arbeitnehmer-ohne-formale-ausbildung-arbeitet-als-fachkraft/ (Abruf am 27.11.2019).
- Bertelsmann Stiftung (2018b): Studie – Nach wie vor große regionale Unterschiede bei der Weiterbildung. 25. September 2018, www.bertelsmann-stiftung.de/de/themen/aktuelle-meldungen/2018/september/nach-wie-vor-grosse-regionale-unterschiede-bei-der-weiterbildung/ (Abruf am 28.11.2019).
- Jürgenhake, Uwe/Sczesny, Cordula/Wiengarten, Stefanie (2015): Einfache Arbeit – ein unberücksichtigtes Potenzial. Ergebnisse einer Online-Befragung in der Region Westfälisches Ruhrgebiet. In: Beyer, Joachim/Jürgenhake, Uwe/Sczesny, Cordula/Wiengarten, Stefanie/Kohlgruber, Michael/Schröder, Antonius: Wichtiger als gedacht?! Einfacharbeitsplätze: Auslaufmodell oder Beschäftigungsperspektive. Ergebnisse des Projektes „Einfacharbeitsplätze pro Beschäftigung“ im Westfälischen Ruhrgebiet, Dortmund: Soziale Innovation GmbH, S. 14–25, www.sfs.tu-dortmund.de/downloads/brosch_einfacharbeitsplaetze.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- BIBB - Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.) (2018): Industrielle Metallberufe, Ausbildung gestalten, www.bibb.de/de/84062.php (Abruf am 27.11.2019).
- BIBB - Bundesinstitut für Berufsbildung (2019): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2019: Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung, www.bibb.de/dokumente/pdf/bibb_datenreport_2019.pdf (Abruf am 28.11.2019).

- Bilger, Frauke/Behringer, Friederike/Kuper, Harm/Schrader, Josef (Hrsg.) (2017): Weiterbildungsverhalten in Deutschland 2016. Ergebnisse des Adult Education Survey (AES), Bielefeld: wbv Media GmbH & Co. KG. www.die-bonn.de/doks/2017-weiterbildungs-forschung-01.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Bitkom Research (2018): Weiterbildung für die digitale Arbeitswelt. Eine repräsentative Untersuchung von Bitkom Research im Auftrag des VdTÜV e. V. und des Bitkom e. V. Berlin, www.vdtuev.de/dok_view?oid=726888 (Abruf am 04.12.2019).
- BMW AG (2019): Additive Fertigung: 3D-Druck in Perfektion. 2019, www.bmw.com/de/innovation/3d-druckerei.html (Abruf am 27.11.2019).
- Böckler Impuls (2019): Weiterbildung sichert den Job. Böckler Impuls, Nr. 1/2019 (Januar), www.boeckler.de/Boeckler_Impuls_2019_01_Gesamtausgabe.pdf (Abruf am 26.11.2019).
- Bosch, Gerhard (2018): Zukunft der Arbeit – Industrie 4.0 – eine Herausforderung? Zeitschrift für Gemeinschaftskunde, Geschichte und Wirtschaft 76–2018, 4. Quartal, 35. Jahrgang (2018), www.deutschlandundeuropa.de/76_18/wirtschaftspolitik.pdf (Abruf am 26.11.2019).
- Bosch, Gerhard (o. J.): Langzeitarbeitslose – Restgröße der Wissensökonomie? In Dortmunder Arbeitsmarktkonferenz 15.12.2014 Dokumentation. Stadt Dortmund, vertreten durch die Wirtschaftsförderung Dortmund, vgl. gleichnamige Präsentation auf der Münsteraner Arbeitsmarktkonferenz am 5. November 2015, Folie 10, www.iaq.uni-due.de/aktuell/vortrag/2015/20151105_BoschAMkonferenz.pdf, (Abruf am 26.11.2019).
- Breuer, Uwe (2013): Leistungsfähigkeit des Zahntechniker-Handwerks stärken und einen qualitätsorientierten Leistungswettbewerb sichern, Statement des VDZI-Präsidenten Uwe Breuer anlässlich des VDZI-Fachpressegesprächs am 23. Mai 2013 in Bremen, www.vdzi.net/news/news-einzelansicht/article/leistungsfaeigkeit-des-zahntechniker-handwerks-staerken-und-einen-qualitaetsorientierten-leistungs.html (Abruf am 26.11.2019).
- Brose, Hanns-Georg/Schulze-Böing, Matthias/Meyer, Werner (1990): Arbeit auf Zeit: Zur Karriere eines ‚neuen‘ Beschäftigungsverhältnisses, Opladen: Springer-Verlag, www.springer.com/la/book/9783810008107 (Abruf am 27.11.2019).

- Daimler (2018): NextGenAM: Mit großen Schritten in die nächste Generation des industriellen 3D-Drucks: Partnerprojekt von Premium AEROTEC, Daimler und EOS zur Entwicklung einer additiven Serienfertigung erreicht neuen Meilenstein, DAIMLER Global Media Site, 31. August 2018, www.media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/NextGenAM-Mit-grossen-Schritten-in-die-naechste-Generation-des-industriellen-3D-Drucks-Partnerprojekt-von-Premium-AEROTEC-Daimler-und-EOS-zur-Entwicklung-einer-additiven-Serienfertigung-erreicht-neuen-Meilenstein.xhtml?oid=40975902 (Abruf am 04.12.2019).
- Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2015): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland, IAB-Forschungsbericht, Nr. 11/2015, www.doku.iab.de/forschungsbericht/2015/fb1115.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2018): Substituierbarkeitspotenziale von Berufen: Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt, IAB-Kurzbericht, Nr. 4/2018, (Abruf am 26.11.2019).
- Dengler, Katharina/Matthes, Britta/Paulus, Wiebke (2014): Berufliche Tasks auf dem deutschen Arbeitsmarkt – Eine alternative Messung auf Basis einer Expertendatenbank, FDZ-Methodenreport, 12/2014 (Dezember), www.doku.iab.de/fdz/report/2014/MR_12-14.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Dettmer, Markus (2019): Deutschland im internationalen Vergleich: Schlechte Ausbildung, niedrige Löhne. Spiegel Online, 30. August 2019, Abschn. Wirtschaft, www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/arbeitsmarkt-jeder-zweite-geringqualifizierte-arbeitet-zu-niedrigloehnen-a-1284308.html (Abruf am 27.11.2019).
- Dietrich, Andreas (2019): Stärkung des Lernorts Betrieb und arbeitsplatznahes Lernen: Eine Option für die Weiterbildung nicht formal Qualifizierter? In Bildungsinnovationen für nicht formal Qualifizierte: Zielgruppengerechte Weiterbildungssettings in der Bildungspraxis, Bielefeld: wbv, www.wbv.de/fbb (Abruf am 27.11.2019).
- DIHK, Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (2018a): IHK-Leitfaden zu den Änderungen in der Prüfungsorganisation der Industriellen Metallberufe, Industriellen Elektroberufe und des Mechatronikers, Berlin, www.aachen.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/4121528/fb33330f70fb3f8d3c92e9074cdb425/ihk-leitfaden-zu-den-aenderungen-in-der-pruefungsorganisation-data.pdf (Abruf am 27.11.2019).

- DIHK-Gesellschaft für berufliche Bildung – Organisation zur Förderung der IHK-Weiterbildung mbH (2018b): Industrie 4.0 & Digitalisierung: Neuer bundeseinheitlicher Zertifikatslehrgang Fachkraft für 3D-Drucktechnologien (IHK), www.dihk-bildungs-gmbh.de/news/2018/3d-drucktechnologie/ (Abruf am 28.11.2019)
- Dispan, Jürgen (2017): Entwicklungstrends im Werkzeugmaschinenbau 2017. Kurzstudie zu Branchentrends auf Basis einer Literaturrecherche, HBS Working Paper Forschungsförderung, Nr. 029 (Januar), www.boeckler.de/pdf/p_fofoe_WP_029_2017.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Dobischat, Rolf/Düsseldorf, Karl (2013): Betriebliche Weiterbildung in Klein- und Mittelbetrieben (KMU). Forschungsstand, Problemlagen und Handlungserfordernisse. Eine Bilanz, WSI-Mitteilungen Jahrgang 66 (2013), Heft 4/2013, S. 247–254, [www.doi.org/10.5771/0342-300X-2013-4-247](https://doi.org/10.5771/0342-300X-2013-4-247) (Abruf am 17.01.2020).
- Dobischat, Rolf/Eich, Dieter/Marschall, Herbert/Thurn, Laura/Kunkel, Max/Richter, Alina (2015): 3D-Drucken in Deutschland: Entwicklungsstand, Potenziale, Herausforderungen, Auswirkungen und Perspektiven. Hans-Böckler-Stiftung Projekt-Nr. 2012-602-1, Herausgegeben von Andreas Gebhardt. Aachen: Shaker.
- Düll, Nicola (2016): Digitalisierung der Arbeitswelt – grundlegende Thesen. In: Düll, Nicola (Hrsg.): Arbeitsmarkt 2030 Digitalisierung der Arbeitswelt. Fachexpertisen zur Prognose 2016, München: Economix Research & Consulting, S. 6–21, www.ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ERC_Arbeitsmarkt2030-Prognose2016-Fachexpertisen.pdf (Abruf am 28.11.2019).
- DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (2018): DVS-Bildungsreport 2018. Düsseldorf: DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V., www.die-verbindungs-spezialisten.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/DVS_Bildungsreport_2018.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Ebner, Christian/Ehlert Martin (2018): Weiterbilden und Weiterkommen? Non-formale berufliche Weiterbildung und Arbeitsmarktmobilität in Deutschland, KZfSS Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie (2018) 70, Online publiziert: 17. Juli 2018, S. 213–235, www.link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11577-018-0518-x.pdf (Abruf am 26.11.2019)
- Eichhorst, Werner/Marx, Paul/Schmidt, Tanja/Tobsch, Verena/Wozny, Florian/Linckh, Carolin (2019): Geringqualifizierte in Deutschland, Programm Arbeit neu denken, www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Geringqualifizierte_in_Deutschland_final.pdf (Abruf am 28.11.2019).

- Feldmann, Carsten/Pumpe, Andreas (2016): 3D-Druck – Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit: Entscheidungsunterstützung für Unternehmen. 1. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Gabler. www.link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-15196-6 (Abruf am 27.11.2019).
- Feldmann, Carsten/Pumpe, Andreas (2017): A Holistic Decision Framework for 3D Printing Investments in Global Supply Chains. Transportation Research Procedia 25 (2017), S. 677–694, www.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.451 (Abruf am 27.11.2019).
- Fraunhofer IFAM – Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (o. J.): Additive Manufacturing für Einsteiger, www.qualifizierung.ifam.fraunhofer.de/de/weiterbildung-additive-manufacturing/seminarreihe-additive-manufacturing/additive-manufacturing-fuer-einsteiger.html (Abruf am 27.11.2019).
- Frenz, Martin/Heinen, Simon/Schlick, Christopher M. (2015): Industrie 4.0: Anforderungen an Fachkräfte in der Produktionstechnik. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis BWP Nr. 6/2015, S. 12–16, www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/bwp/show/7847 (Abruf am 27.11.2019).
- Frey, Carl Benedikt/Osborne, Michael A. (2013): The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (Abruf am 02.12.2019).
- Frick, Frank/Wittenbrink, Lena (2018): Deutscher Weiterbildungsatlas. www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/deutscher-weiterbildungsatlas-2/ (Abruf am 28.11.2019).
- Gartner, Hermann/Stüber, Heiko (2019): Strukturwandel am Arbeitsmarkt seit den 70er Jahren Arbeitsplatzverluste werden durch neue Arbeitsplätze immer wieder ausgeglichen, IAB-Kurzbericht. Aktuelle Analysen aus dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nr. 13/2019, www.doku.iab.de/kurzber/2019/kb1319.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Gebhardt, Andreas (2016): Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag.
- Gebhardt, Rainer (2018a): 3D-Druck setzt sich im Maschinenbau durch. 2. Juli 2018, www.vdma.org:443/v2viewer/-/v2article/render/26469625 (Abruf am 27.11.2019).

- Gebhardt, Rainer (2018b): VDMA: Detaillierte Roadmaps weisen Additive Manufacturing den Weg in die Smart Factory, 5. November 2018, www.am.vdma.org/viewer/-/v2article/render/27025768 (Abruf am 27.11.2019).
- Gesamtmetall, VDMA, ZVEI, und IG Metall (2017): Ausbildung und Qualifizierung für Industrie 4.0 – Den Wandel erfolgreich gestalten – Agiles Verfahren. Handlungsempfehlungen der Sozialpartner, www.gesamtmetall.de/sites/default/files/downloads/basispapier_agiles_verfahren_versand_17-03-28.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Gleißner, Werner (2011): Grundlagen des Risikomanagements im Unternehmen: Controlling, Unternehmensstrategie und wertorientiertes Management, 2., komplett überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen, www.doi.org/10.15358/9783800644087 (Abruf am 27.11.2019)
- Götz, Rudolf/Haydn, Franziska/Natter, Ehrenfried (2018): Neue Wege der Bildungsberatung am Arbeitsplatz – Das Erasmus+ Projekt TRIAS. AMS info, No. 421/422, www.econstor.eu/bitstream/10419/183317/1/AMS_info_421-422.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Haas, Ludwig (2018): Das kostet die Additive Fertigung. In: MM Maschinenmarkt, 30. Oktober 2018, www.maschinenmarkt.vogel.de/das-kostet-die-additive-fertigung-a-762015/ (Abruf am 27.11.2019).
- Hall, Anja/Tiemann Michael (2015): BIBB/BAuA-Erwerbstätigtenbefragung 2012 Arbeit und Beruf im Wandel, Erwerb und Verwertung beruflicher Qualifikationen. Abschlussbericht, Bonn, www.bibb.de/tools/dapro/data/documents/pdf/eb_21304.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Hartmann, Ernst/Wischmann, Steffen (2018): Technologie, Organisation, Qualifikation. In: Wischmann, Steffen/Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Berlin Heidelberg, S. 233–246. www.doi.org/10.1007/978-3-662-49266-6_17 (Abruf am 27.11.2019); www.link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-49266-6_17.pdf (Abruf am 29.11.2019).
- Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik (Hrsg.) (2011): ZAHN4/11, Unterweisungsplan für einen Lehrgang der überbetrieblichen beruflichen Bildung zur Anpassung an die technische Entwicklung im Zahntechnikerhandwerk, Zahntechniker/in (16370-00) www.hpi-hannover.de/dateien/unterweisungsplaene/ZAHN4-11.pdf (Abruf am 27.11.2019).

- Heß, Pascal/Janssen, Simon/Leber, Ute (2019): Digitalisierung und berufliche Weiterbildung: Beschäftigte, deren Tätigkeiten durch Technologien ersetzbar sind, bilden sich seltener weiter, IAB-Kurzbericht, Nr. 16/2019, www.doku.iab.de/kurzber/2019/kb1619.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- IAB – Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (o. J.): Job-Futuromat – FAQ, www.job-futuromat.iab.de/faq.html (Abruf am 27.11.2019).
- IAB – Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2019): Job-Futuromat 2019, www.job-futuromat.iab.de (Abruf am 27.11.2019).
- IG Metall Vorstand (2018): Metall-und Elektroberufe werden digital – Informationen zur Teilnovellierung der industriellen Metall- und Elektroberufe und des Berufes Mechatroniker/in. Materialien für die Berufsbildungspraxis. www.wap.igmetall.de/17656.htm (Abruf am 28.11.2019).
- IHK Akademie Schwaben (2019): Additive Fertigungsverfahren – 3D-Druck – Rapid Prototyping. IHK Akademie Schwaben, 2019, www.ihk-akademie-schwaben.de/System/template/588264 (Abruf am 27.11.2019).
- Isele, Jörg (1993): Realisierung eines Fertigungssystems zum Gussputzen mit aufgabenorientierter Programmierung. PhD Thesis, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, www.d-nb.info/931204313 (Abruf am 27.11.2019).
- Itasse, Stéphane/Käfer, Simone (2019): Postprocessing – Das kommt nach dem 3D-Druck. In: MM MaschinenMarkt, 18. Juli 2019, www.maschinenmarkt.vogel.de/das-kommt-nach-dem-3d-druck-a-847983/ (Abruf am 27.11.2019).
- Juschkat, Katharina (2018): HP will 3D-Metall-Druck massentauglich machen. In: konstruktionspraxis, 11. September 2018, www.konstruktionspraxis.vogel.de/hp-will-3d-metall-druck-massentauglich-machen-a-752731/ (Abruf am 27.11.2019).
- Käfer, Simone (2018): Im Metall-3D-Druck-Zentrum von Audi. In: MM MaschinenMarkt, 6. August 2018, www.maschinenmarkt.vogel.de/im-metall-3d-druck-zentrum-von-audi-a-739885/ (Abruf am 27.11.2019).
- Käfer, Simone (2019a): VW eröffnet 3D-Druck-Zentrum mit HP-Maschine. In: MM MaschinenMarkt, 7. Januar 2019, www.maschinenmarkt.vogel.de/vw-eroeffnet-3d-druck-zentrum-mit-hp-maschine-a-787146/ (Abruf am 27.11.2019).
- Käfer, Simone (2019b): 3D-Metalldruck – Automatisiertes Entpulvern von SLM-Bauteilen. Fachmedium. In: MM MaschinenMarkt, 5. Juni 2019, www.maschinenmarkt.vogel.de/automatisiertes-entpulvern-von-slm-bauteilen-a-835105/ (Abruf am 27.11.2019).

- Käfer, Simone (2019c): HP Metal Jet druckt für VWs Elektroauto ID.3. In: MM MaschinenMarkt, 14. November 2019, www.maschinenmarkt.vogel.de/hp-metal-jet-druckt-fuer-vws-elektroauto-id3-a-883437/ (Abruf am 27.11.2019).
- Kalenbach, Thomas (2018): 3D-Druck: Gefahr oder Zukunft der Kunststoffbranche? In: K-ZEITUNG (blog), 31. Januar 2018, www.k-zeitung.de/3d-druck-gefahr-oder-zukunft-der-kunststoffbranche/ (Abruf am 27.11.2019).
- Kirchgessner, Kilian (2008): Berufsausbildung: Berufsakademien machen Karriere. In: Die Zeit, 9. Oktober 2008, www.zeit.de/2008/42/C-Berufsakademie (Abruf am 27.11.2019).
- Klahn, Christoph/Meboldt, Mirko (2018): Wann sich der Einsatz von 3D-Druck lohnt. In: konstruktionspraxis, 9. Juli 2018, www.konstruktionspraxis.vogel.de/wann-sich-der-einsatz-von-3d-druck-lohnt-a-730918/ (Abruf am 27.11.2019).
- Klein, Rosemarie/Reutter, Gerhard (2016): Geringqualifizierte – Der DIE-Wissensbaustein für die Praxis, www.die-bonn.de/wb/2016-geringqualifizierte-01.pdf (Abruf am 25.11.2019).
- Klein, Rosemarie/Reutter, Gerhard (o. J.): Geringqualifizierte. Projektseite des DIE, wb-web, www.wb-web.de/wissen/lehren-lernen/geringqualifizierte.html (Abruf am 25.11.2019).
- Klein, Rosemarie/Reutter, Gerhard/Zisenis, Dieter (2017): Erfolgsindikatoren für die Implementierung von Bildungsmaßnahmen für formal gering qualifizierte Beschäftigte und Arbeitssuchende. In: Matthes, Britta/Severing, Eckart (Hrsg.) (2017): Berufsbildung für Geringqualifizierte – Barrieren und Erträge, Bonn, S. 85–93, www.agbfn.de/dokumente/pdf/AGBPN-21_Klein_Reutter_Zisenis.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Kruppe, Thomas/Baumann, Martina (2019): Weiterbildungsbeteiligung, formale Qualifikation, Kompetenzausstattung und Persönlichkeitsmerkmale. IAB-Forschungsbericht 01/2019, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, www.iab.de/185/section.aspx/Publikation/k190107301 (Abruf am 26.11.2019).
- Kruppe, Thomas/Osiander, Christopher (2017): Weiterbildungsabsicht von Arbeitslosen und Kompetenzen formal Geringqualifizierter. In: Möller, Joachim/Walwei, Ulrich (Hrsg.) (2017): Arbeitsmarkt kompakt: Analysen, Daten, Fakten, IAB-Bibliothek 363, W. Bertelsmann Verlag, S. 151–152, www.amk.iab.de/ (Abruf am 26.11.2019).

- Kultusministerkonferenz (2011): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Technischer Produktdesigner/Technische Produktdesignerin, www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/TechnischerProduktdesigner11-05-27-E.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Kunststoff-Institut Lüdenscheid (2019): Seminar Basiswissen additive Fertigung. Grundlagen der Bauteilfertigung im 3D-Druck, 2019, www.kunststoff-institut-luedenscheid.de/wp-content/uploads/2019/04/sem_Basiswissen_additive_Fertigung_020_128.pdf (Abruf am 04.12.2019).
- Kuwan, Helmut/Bilger, Frauke/Gnahs, Dieter/Seidel, Sabine (2006): Berichtssystem Weiterbildung IX. Integrierter Gesamtbericht zur Weiterbildungssituation in Deutschland. Berlin: BMBF, www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Sozialwissenschaften/BF/Lehre/SoSe2008/KK/berichtssystem_weiterbildung_neun.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Langefeld, Bernhard/Moehrle, Markus/Balzer, Christoph/Schildbach, Peter (2018): Advancements in Metal 3D Printing, www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/Roland_Berger_Adhesive_Manufacturing.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- LZH Laser Akademie GmbH (2019): Fachkraft für additive Fertigungsverfahren nach Richtlinie DVS® 3602-1, 2019, www.lzh-laser-akademie.de/fachkraft-additive-fertigung.html (Abruf am 27.11.2019).
- Malanowski, Norbert/Unger, Helga/Dobischat, Rolf (2018): Erprobung des modellhaften Weiterbildungskonzeptes ‚Digitalisierung‘. Projekt-Endbericht, Projekt Nr. 102/17 BMWi, Düsseldorf: VDI Technologiezentrum GmbH, www.vditz.de/fileadmin/media/publications/pdf/Weiterbildungskonzept_Digitalisierung_C1.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Marschall, Herbert (2016): Personal für die Additive Fertigung: Kompetenzen, Berufe, Aus- Und Weiterbildung. Reihe essentials, Wiesbaden: Springer Vieweg
- Marschall, Herbert/Steinberger, Viktor (2015): Einstieg in die dritte Dimension. 3D-Druck verändert die Arbeitswelt. Computer und Arbeit, Nr. 3/2015, S. 4–10.
- Matthes, Britta/Dauth, Wolfgang/Dengler, Katharina/Gartner, Hermann/Zika, Gerd (2019): Digitalisierung der Arbeitswelt: Bisherige Veränderungen und Folgen für Arbeitsmarkt, Ausbildung und Qualifizierung, IAB-Stellungnahme, Nr. 11/2019, www.doku.iab.de/stellungnahme/2019/sn1119.pdf (Abruf am 27.11.2019).

- Meinecke, Christopher/Tropf, Teresa Maria (2018): Mehr als jedes vierte Industrieunternehmen setzt auf 3D-Druck. Bitkom, 13. Juni 2018. www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mehr-als-jedes-vierte-Industrieunternehmen-setzt-auf-3D-Druck.html (Abruf am 27.11.2019).
- Munsch, Maximilian/Wycisk, Eric/Schmidt-Lehr, Matthias (2017): Additive Manufacturing – Make or Buy? Ampower Insights, Vol. 1, October 2017, www.am-power.de/insights/kosten-additive-fertigung-make-or-buy/ (Abruf am 27.11.2019).
- Nachwuchsstiftung Maschinenbau (2019): Jahresbericht 2018 Exzellenzinitiative Berufliche Bildung. Bielefeld. www.docplayer.org/139927522-Jahresbericht-exzellenzinitiative-berufliche-bildung.html (Abruf am 27.11.2019).
- Nyarsik, Hedviga (2019): Roboter sind doch keine Jobkiller, n-tv.de, 17. Juli 2019, www.n-tv.de/wirtschaft/Roboter-sind-doch-keine-Jobkiller-article21151257.html (Abruf am 27.11.2019).
- Petersen, A. Willi/Wehmeyer, Carsten (2003): Aufgedeckt: IT-Arbeitsprozesse und Ausbildung in der Betriebspraxis. Teilprojekt 2: Betriebliche Fallstudien. Flensburg: biat Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik, Universität Flensburg, www.uni-flensburg.de/fileadmin/content/institute/biat/dokumente/projekte/bibb-it-studie/biat-bibb-it-t2-fallstudien-01-2004.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Pfeiffer, Iris (2019): Bildungsinnovationen für nicht formal Qualifizierte – eine Einführung. In: Goth, Günther G./Kretschmer, Susanne/Pfeiffer, Iris (Hrsg.): Bildungsinnovationen für nicht formal Qualifizierte. Zielgruppengerechte Weiterbildungssettings in der Bildungspraxis, Bielefeld: wbv, S. 5–12, www.wbv.de/fbb (Abruf am 27.11.2019).
- Pfeiffer, Sabine (2008): Montage, Wissen und Erfahrung. Warum ‚einfache‘ Arbeit auch Wissensarbeit ist, warum Erfahrung in flexibler Montage so wichtig ist – und was das alles bildungspolitisch bedeutet. In: Adami, Wilfried/Lang, Christa/Pfeiffer, Sabine/Rehberg, Frank (Hrsg.): Montage braucht Erfahrung. Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage, München und Mering: Rainer Hampp Verlag, (Abruf am 27.11.2019).
- Pfeiffer, Sabine (2018): Die Quantifizierung von Nicht-Routine. Arbeit 2018; 27 (3): S. 213–237, www.degruyter.com/downloadpdf/i/arbeit.2018.27.issue-3/arbeit-2018-0018/arbeit-2018-0018.pdf (Abruf am 27.11.2019).

- Pfeiffer, Sabine/Lee, Horan/Zirnig, Christopher/Suphan, Anne (2016): Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025, Frankfurt: VDMA Bildung, www.vdma.org/documents/105628/13417295/VDMA%20Studie%20Industrie%204.0%20-%20Qualifizierung%202025.pdf/bbfe37d6-f738-4558-b2b7-1b01a04d166c (Abruf am 27.11.2019).
- Postinett, Axel (2018): Ab 2020 in Serie: HP will mit Metall-3D-Druckern die Produktion in Unternehmen revolutionieren, Handelsblatt, 10. September 2018, www.handelsblatt.com/unternehmen/it-medien/ab-2020-in-serie-hp-will-mit-metall-3d-druckern-die-produktion-in-unternehmen-revolutionieren/23034942.html (Abruf am 27.11.2019).
- Radig, Guido F. R. (2014): Berufsbild ,Verfahrens-Mechaniker additive Fertigung' – 3Druck.com. 3Druck.com – The Independent AM Magazine, 1. Dezember 2014, www.3druck.com/gastbeitraege/berufsbild-verfahrensmechaniker-additive-fertigung-5927075/ (Abruf am 27.11.2019).
- Schmid, Raphael (o. J.): Design-Richtlinien Additive Manufacturing, inspire AG, irpd – institute for rapid product development
- Schöpper-Grabe, Sigrid/Vahlhaus, Isabel (2019): Grundbildung und Weiterbildung für Geringqualifizierte. IW-Trends 1/2019, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln: Medien GmbH, www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/IW-Trends/PDF/2019/IW-Trends_2019-01-03_Grundbildung_Geringqualifizierte.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Seyda, Susanne/Wallossek, Luisa/Zibrowius, Michael (2018a): Einfacharbeit in Deutschland. IW-Trends 2/2018, Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/IW-Trends/PDF/2018/IW-Trends_2018-02-03_Einfacharbeit_in_Deutschland_01.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Seyda, Susanne/Wallossek, Luisa/Zibrowius, Michael (2018b): Keine Ausbildung – keine Weiterbildung? Einflussfaktoren auf die Weiterbildungsbeteiligung von An- und Ungelernten. IW-Analysen 122, Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/IW-Analysen/PDF/2018/Analyse_122_Keine_Ausbildung_Weiterbildung.pdf (Abruf am 26.11.2019).
- Statistisches Bundesamt (2018a): Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in Unternehmen – 2018, Qualitätsbericht, www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Unternehmen/ikt-unternehmen-2018.pdf?blob=publicationFile&v=4 (Abruf am 27.11.2019).

- Statistisches Bundesamt (2018b): Industrie 4.0: Roboter in 16 % der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe. Pressemitteilungen. Statistisches Bundesamt, 3. Dezember 2018, www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/12/PD18_470_52911.html (Abruf am 27.11.2019).
- Statistisches Bundesamt (2019): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). Statistisches Bundesamt. 2019, www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html (Abruf am 27.11.2019).
- Steck, Ralf (2018): Wohlers Report: Additive Technologien mit Metall starten 2017 durch. EngineeringSpot, 28. März 2018, www.engineeringspot.de/2018/03/wohlers-report-additive-technologien-mit-metall-starten-2017-durch/ (Abruf am 27.11.2019).
- Stettes, Oliver (2019): Keine Angst vor Robotern – eine Aktualisierung. Beschäftigungseffekte der Digitalisierung – Befunde des Arbeitsmarktmonitoring des IW. IW-Report 17/2019, Köln: Institut der Deutschen Wirtschaft e. V., www.iwkoeln.de/studien/iw-reports/beitrag/oliver-stettes-keine-angst-vor-robotern-eine-aktualisierung.html (Abruf am 27.11.2019).
- Syska, Andreas (2016): Meine größte Sorge: dass die Fabrik der Zukunft mit der Digitalisierung des Alten gleichgesetzt wird. In: Industry of Things, 20.08.2016, www.industry-of-things.de/meine-groesste-sorge-dass-die-fabrik-der-zukunft-mit-der-digitalisierung-des-alten-gleichgesetzt-wird-a-547228/ (Abruf am 27.11.2019).
- TH Köln, Pressemitteilung (2017): 3D-Druck ohne Stützstrukturen – TH Köln, 3. Mai 2017, www.th-koeln.de/mam/downloads/deutsch/hochschule/aktuell/pm/2017/pm_34_2017_mehrachsiger_3d-druck_innovationstage_mittelstand.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- Tönissen, Stefan/Graw, Myron (2016): VDW-Studie 'Additive Manufacturing'. Chancen und Risiken aus dem Blickwinkel der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie. Präsentation gehalten auf der METAV, 23.02.2016, www.docplayer.org/59844733-2-zeile-24pt-additive-manufacturing-chancen-und-risiken-aus-dem-blickwinkel-der-deutschen-werkzeugmaschinenindustrie-metav.html (Abruf am 27.11.2019).
- n-tv.de (2018): Geringqualifizierte bilden sich selten weiter. Sinkende Tendenz. n-tv.de, 25. September 2018, www.n-tv.de/wirtschaft/Geringqualifizierte-bilden-sich-selten-weiter-article20638951.html (Abruf am 27.11.2019).

- Umweltbundesamt (2018): Die Zukunft im Blick: 3D-Druck Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen, Dessau-Roßlau:
Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_3d_barrierefrei_180619.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2018a): Firmenvertreter definieren ‚Digitale Bauteilakte‘, 11. Januar 2018, www.ibv.vdma.org/fa/viewer/-/v2article/render/23606569 (Abruf am 27.11.2019).
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2018b): Wir sollten Additive Manufacturing nicht nur als ein Standalone-Verfahren betrachten, Pressemitteilung 6. Juli 2018, www.am.vdma.org:443/viewer/-/v2article/render/26499249 (Abruf am 27.11.2019).
- Verband 3DDruck (2019): Verband 3D Druck: Gewährleistungsmarke setzt Standards in der Ausbildung im 3D-Druck, 12. Juni 2019. www.verband3ddruck.berlin/blog/pressemeldungen/gewaehrleistungs_marke-setzt-standards-in-der-ausbildung-im-3d-druck/ (Abruf am 27.11.2019).
- Volkswagen AG (o. J.): Eilige Drucksache. 3D-Druck weltweit, www.volkswagenag.com/de/news/stories/2017/10/rush-printing-jobs.html (Abruf am 04.12.2019).
- Warnhoff, Kathleen/Krzywdzinski, Martin (2018): Digitalisierung spaltet. Gering qualifizierte Beschäftigte haben weniger Zugang zu Weiterbildung, WZB-Mitteilungen, Heft 162, Dezember 2018, www.bibliothek.wzb.eu/artikel/2018/f-21712.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- WBS Training AG (2016): Job Report Technische Berufe. WBS Training AG, www.wbstraining.de/fileadmin/user_upload/media-center/pdf/fortbildung-wbs-jobreport-technische-berufe-2016.pdf (Abruf am 27.11.2019).
- KIT – Karlsruher Institut für Technologie (2018): Best Paper Award für KitkAdd. CIRP zeichnet Veröffentlichung zur Kombination von etablierten mit additiven Fertigungsverfahren in einer Prozesskette aus, letzte Änderung: 26.07.2018, www.wbk.kit.edu/3309.php (Abruf am 27.11.2019).
- Wikipedia (2019a): 3D-Druck. In: Wikipedia, www.de.wikipedia.org/wiki/3D-Druck#Klassifizierung_der_Fertigungsverfahren (Abruf am 27.11.2019).
- Wikipedia (2019b): Fused Deposition Modeling. 2019b. In: Wikipedia, www.de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fused_Deposition_Modeling&oldid=193208088 (Abruf am 28.11.2019).

- Wohlers, Terry T./Caffrey, Tim (2015): Wohlers report 2015: 3D printing and additive manufacturing state of the industry annual worldwide progress report. Fort Collins, Colo: Wohlers Associates.
- Wood, Wendy/Tam, Leona/Witt, Melissa Guerrero (2005): Changing Circumstances, Disrupting Habits, *Journal of Personality and Social Psychology* 88 (6), S. 918–933. www.doi.org/10.1037/0022-3514.88.6.918 (Abruf am 27.11.2019).
- Wotschack, Philip (2017): Unter welchen Bedingungen bilden Betriebe an- und ungelernte Beschäftigte weiter? *Zeitschrift für Soziologie*, Band 46, Heft 5, online erschienen: 06.10.2017, S. 362–380, www.doi.org/10.1515/zfsoz-2017-1020 (Abruf am 04.12.2019).
- Zeller, Beate (2005): Anforderungstrends im Bereich einfacher Tätigkeiten aus betrieblicher Perspektive. In: Hoffmann, Thomas (2005), Schriftenreihe: Fachinformation, Einfache Arbeit für gering Qualifizierte. Material und Handlungshilfen (RKW-Nr. 1495), Eschborn: RKW-Verlag, S. 58–61, www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/einfache_arbeit_rkw_materialien.pdf (Abruf am 04.12.2019).
- Zeller, Beate/Richter, Rolf/Dauser, Dominique (2004): Kompetenzen für einfache Arbeit. In: Dauser, Dominique/Richter, Rolf/Zeller, Beate (2004): Zukunft der einfachen Arbeit. Von der Hilfstätigkeit zur Prozessdienstleistung, f-bb-Reihe: Wirtschaft und Bildung, Band 31, 2004, Bielefeld: Bertelsmann, S. 51–60.
- Zieler, Jan (2018): Ford und das Berliner Softwareunternehmen trinckle automatisieren Designprozess für 3D-gedruckte Werkzeuge und Fertigungsmittel. 3D-grenzenlos Magazin – Deutschlands Website zum 3D-Druck! (blog), 14. November 2018, www.3d-grenzenlos.de/magazin/kurznachrichten/ford-trinckle-kooperation-bei-3d-druck-design-27454923/ (Abruf am 27.11.2019).
- Zika, Gerd/Schneemann, Christian (2019): Methodische Erläuterungen zur BMAS-Prognose ‚Digitalisierte Arbeitswelt‘. Forschungsbericht 526/1M, www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/Forschungsberichte/Forschungsberichte-Arbeitsmarkt/fb526-1m-methodische-erlaeuterungen-zur-bmas-prognose-digitalisierte-arbeitswelt.html (Abruf am 28.11.2019)
- Zika, Gerd/Schneemann, Christian/Grossman, Anett/Kalinowski, Michael/Maier, Tobias/Mönnig, Anke/Parton, Frederik/Winnige, Stefan/Wolter, Marc Ingo (2019): BMAS-Prognose Digitalisierte Arbeitswelt. IAB-Forschungsbericht 5/2019, www.doku.iab.de/forschungsbericht/2019/fb0519.pdf (Abruf am 28.11.2019).

Ausgehend von der Diskussion um Geringqualifizierte, Beschäftigte mit Routine-tätigkeiten und an Einfacharbeitsplätzen wurden in leitfadengestützten Gesprächen mit betrieblichen Experten Aussichten für Geringqualifizierte in der additiven Fertigung eruiert. Zentrale Fragen waren Tätigkeitspekturen, Kompetenzanforderungen, Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten, Personalgewinnung, Betriebsorganisation und Arbeitszeiten. Gravierende Auswirkungen auf die Beschäftigung sind bei 3-Druck in durchgehend automatisierter Massenproduktion zu erwarten. In Einzelfertigung, der Herstellung von Modellen, Prototypen und Kleinserien können jedoch Nischen für Geringqualifizierte fortexistieren.
