

# Ansprüche an industrielle Facharbeit im Zeitalter von Industrie 4.0

RALPH DREHER (UNIVERSITÄT SIEGEN), BRIGITTE KOLIANDER (PÄDAGOGISCHE HOCHSCHULE NIEDERÖSTERREICH)

## Abstract

Was sollen – unter dem Eindruck des aktuellen disruptiven Wandels der Arbeitswelt durch die ständig wachsende digitale Vernetzung und die Weiterentwicklung künstlicher Intelligenz – Bildungsziel, Inhalte und Methoden zukünftiger beruflicher Bildung sein? Diese umfassende Fragestellung wurde in einem ersten Schritt auf eine Feststellung der Ansprüche und der daraus ableitbaren Implikationen reduziert. In dieser Studie wurde über eine vergleichende Literaturanalyse in einem ersten Schritt eine Vorstellung davon, was Industrie 4.0 charakterisiert, entwickelt. In einem zweiten Schritt wurden dann Konzeptbeispiele dazu verwendet, erste Szenarien für Industriearbeit im digitalisierten Kontext abzuleiten. Es wurde so ein Gesamtszenario zu zukünftigen Arbeitsbereichen von Facharbeiterinnen und Facharbeitern entworfen. Das auf diesen Szenarien insgesamt basierende Modell von Facharbeit wird vorgestellt. Abschließend werden Implikationen für die Ausbildung abgeleitet.

## 1 Problemstellung

Berufsbildung steht unter der ständigen Herausforderung, die zukünftigen Ansprüche der Arbeitswelt zu antizipieren und die jungen Menschen mit Kompetenzen auszustatten, die sie befähigen, diesen Ansprüchen gerecht zu werden. „Gerecht werden“ meint hierbei nicht nur das spezifische Handling in der Anwendung (als Ausbildungsinhalt), sondern auch die Befähigung zur Mitgestaltung und gesellschaftlichen Kontrolle (KMK 2021, S. 10).

Die Veränderungen durch ständig wachsende digitale Vernetzung und die Weiterentwicklung künstlicher Intelligenz führen aktuell zu einem Wandel der Arbeitswelt, vergleichbar mit den bisher erfolgten industriellen Revolutionen. Bislang war diese Industrieentwicklung davon gekennzeichnet, dass Arbeit, die Körperlichkeit erfordert, nicht mehr von Menschen, sondern von Maschinen durchgeführt wird. Dafür entstehen den Menschen neue Aufgaben, deren Bewältigung Voraussetzung für ein weiteres Fortkommen im Bereich der Arbeitswelt, aber darüber hinaus für die lokale und globale Entwicklung sein wird. In diesem Beitrag werden mögliche Szenarien einer Arbeitswelt 4.0 vorgestellt. Dabei wird insbesondere die industrielle Facharbeit in den Blick genommen. Es werden in den Szenarien Ansprüche an die Facharbeiter-

innen und Facharbeiter formuliert. Daraus werden Implikationen für die Berufsbildung abgeleitet.

## 2 Methodisches Vorgehen

Es wurde ein mehrstufiges Vorgehen zur Erfassung dessen, was Industrie 4.0 bewirken soll und aktuell kann, entwickelt. Als Grundproblem stellte sich dar: Es gibt zwar vielfältige Ideen dafür, wie sich die Produktionsbedingungen *potenziell* verändern werden, doch es fehlt bislang an einer relevanten Zahl von konkreten Umsetzungen für empirische Studien. Daher wurde in dieser Studie in einem ersten Schritt über eine vergleichende Literaturanalyse eine Begrifflichkeit dafür, was Industrie 4.0 seitens der Protagonistinnen und Protagonisten charakterisiert, entwickelt. Diese wurde ergänzt mit Aussagen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus innovativen mittelständischen Betrieben. In einem zweiten Schritt wurden Konzeptbeispiele aus der Fachliteratur dazu verwendet, erste Szenarien für Industriearbeit im digitalisierten Kontext abzuleiten. Auch hier wurde abgeglichen mit Erhebungen in innovativen mittelständischen Betrieben, die ihre Produktionsbedingungen hier anpassen (wollen). Es wurde so ein Gesamtszenario dessen geschaffen, was die zukünftigen Arbeitsbereiche von Facharbeiterinnen und Facharbeitern perspektivisch prägen wird.

## 3 Ein Modell für Industrie 4.0

Zu den Auswirkungen der fortschreitenden Digitalisierung und digitalen Vernetzung auf die zukünftigen Arbeitsbereiche von Facharbeiterinnen und Facharbeitern werden in der Literatur unterschiedliche Szenarien und Ideen formuliert.

In einem ersten Schritt wurden auf Basis der Literatur Begrifflichkeiten dafür entwickelt, was Industrie 4.0 charakterisiert. Es wurde folgende Bereiche herausgearbeitet:

- Auswirkungen von Digitalisierung
- Implikationen von Digitalisierung

Einen Überblick über die in der Literatur formulierten Charakteristika gibt Tabelle 1. Die Quellen sind in dieser Tabelle aus Platzgründen als Nummern angegeben, die Liste der Autorinnen und Autoren findet sich am Ende der Tabelle.

**Tabelle 1:** Was bedeutet „Industrie 4.0“? (nach Dreher 2019, S. 187)

Frage	Ergebnisse	Quellen
Was soll Digitalisierung bewirken?	Bedarfsanpassung der Produktion	1, 2, 3, 4, 5, 7
	Mehr Effizienz in der Wertschöpfungskette	2, 4, 5, 7, 9, 10
	Automatisierte Entscheidungsfindung	1, 3, 4, 6, 7, 9, 10

(Fortsetzung Tabelle 1)

Frage	Ergebnisse	Quellen
Welchen Implikationen folgt Digitalisierung?	Steigerung der (globalen) Wettbewerbsfähigkeit Vorausschauende Markts-/Bedarfsanalyse (Big-Data-Analyse) Flexible Formen von Arbeit/Arbeitszeitmodelle Interoperabilität/Schnittstellenstandardisierung	2, 4, 5, 12 3, 4 2, 3, 4, 7 1, 2, 4, 5
1 Hermann/Petek/Otto 2015 2 Bitcom e. V. 2015 3 Spath 2013 4 Kagermann/Wahlster/Helbig 2013 5 Keese 2017 6 Kaßbaum/Ressel/Schrinkel 2015 7 Windelband 2014 8 Pfeiffer 2016 9 Tenberg/Pittich 2017 10 Dengler/Matthes 2018 11 Blohm 2017 12 Rödder 2015 13 Fratzscher 2017 14 Atkinson 2016 15 Piketty 2016		

Der Bereich, der in fast allen Publikationen genannt wird, betrifft die automatisierte Entscheidungsfindung. Dieser Bereich, verbunden mit der Bedarfsanpassung in der Produktion bis hin zu Einzelstücken nach Kundenwunsch, scheint eines der Merkmale zu sein, an denen die Veränderung zur bisher bereits erfolgten Automatisierung am stärksten spürbar wird. Zugleich zeigt sich hier eine erhebliche Differenz zu den vorherigen Entwicklungen von Industriearbeit. Nicht die alleinige Rücknahme körperlicher Arbeit bzw. deren Grenzüberwindung durch immer schneller arbeitende Produktionsmaschinen steht im Vordergrund, sondern der eigentliche Kern von Facharbeit, zugleich der Begründungsrahmen für den Bildungsanspruch innerhalb von beruflicher Facharbeit (siehe ergänzend Blankertz 1982, S. 141): Das selbsttätige Entscheiden über Arbeitsabläufe und Auftragsbewältigung soll nunmehr automatisiert werden. Dies bedeutet zugleich: Es erfolgt eine Substitution dessen, was als Experten- oder „Herrschafts“-Wissen bislang die Identifikation mit Facharbeit prägte (Brugger/Regber 2017, S. 201 ff.).

Die Erkenntnisse aus diesem Literaturvergleich wurden in einem Facharbeiter-Experten-Workshop (im Jahr 2019) mit vier innovativen Betrieben diskutiert. Hier wurden die Fragestellungen dann zu folgenden Bereichen gestellt:

- Definition von Digitalisierung in Betrieben
- Betriebe als Anwender von Digitalisierung
- Betriebe als Produzenten von Digitalisierung

Tabelle 2 zeigt im Überblick, welche Antworten hier gegeben wurden.

**Tabelle 2:** Was bedeutet „Industrie 4.0“ für die Betriebe? (nach Dreher 2019, S. 188)

Fragen	Ergebnisse	Quellen
Was wird unter Digitalisierung verstanden?	Selbstständige Produktionsplanung Automatisierte Parametrierung AR/AV-gestützte Arbeitsprozesse	C A, D A, D

(Fortsetzung Tabelle 2)

Fragen	Ergebnisse	Quellen
Wo bezeichnen Sie sich als Anwender von Digitalisierung?	Produktionsplanung OEM-Eingriff auf Typvorgabe/ Produktionsmenge	C C, D
Wo bezeichnen Sie sich als Produzent von Digitalisierung?	Big-Data-Analyse mit Parametervertrieb Verkettung von Anlagen zu Produktionslinien	A D
Betrieb A: Anlagenbauer mit Big-Data-Angebot Betrieb B: Massenproduzent für metallische Kleinteile Betrieb C: Serienmontage von Kleinbaugruppen Betrieb D: Anlagenbauer für vernetzte Großanlagen		

Hier finden sich wieder die automatisierten Entscheidungen (ggf. über die automatisierte Parametrierung) und auch die flexiblere Erfüllung spezifischer Kundenwünsche, in diesem Fall über die Vorgaben des OEM (Erstausrüster, Original Equipment Manufacturer). Einer der Betriebe sieht sich als Teil eines größeren Wertschöpfungsnetzwerks, kann mit seinen Maschinen sehr individuelle Vorgaben erfüllen und wird im folgenden Modell (Abbildung 1) als Teil einer Shared Factory dargestellt. Das hier ausgearbeitete Bild von Industrie 4.0 zeigt die digitale Verknüpfung von Kundinnen und Kunden, Dienstleistern, größeren Produktionsbetrieben, Zulieferbetrieben und spezialisierten Kleinbetrieben (Abbildung 1).

## Verknüpfung von Wertschöpfungsnetzwerken in Echtzeit

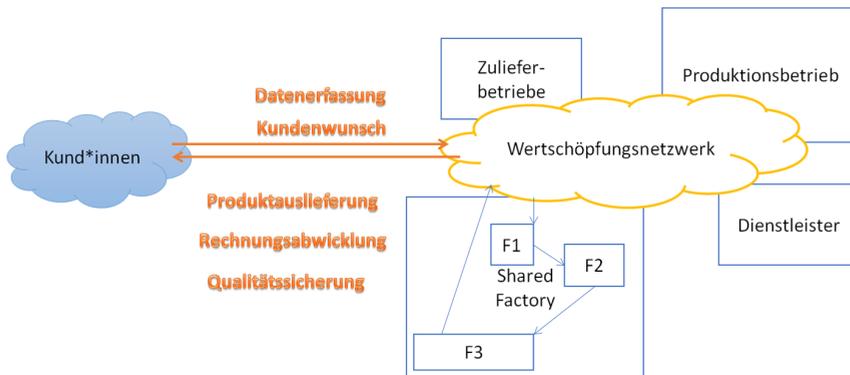


Abbildung 1: Digitale Vernetzung als Basis von Industrie 4.0

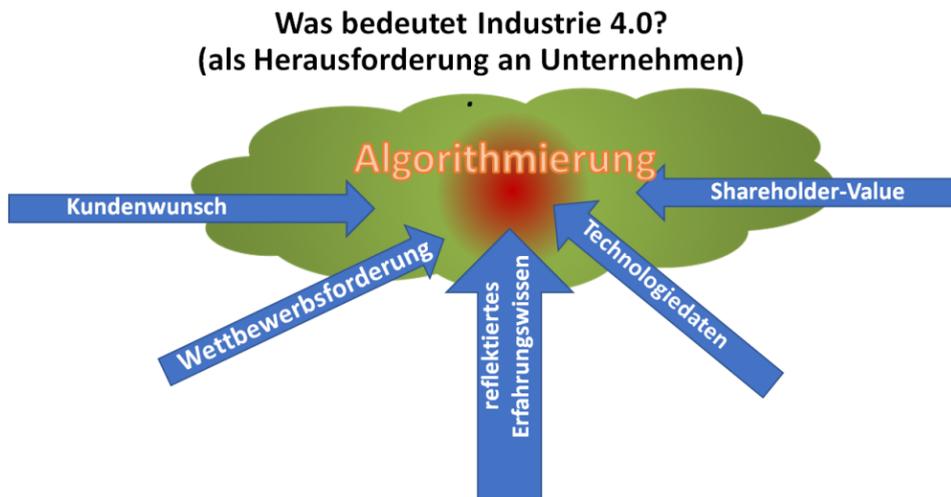
Der Kontakt zwischen Wertschöpfungsnetzwerk und Kundinnen und Kunden läuft in beide Richtungen digital vernetzt, mit Rückgriff auf schnelle Rechner und die globalen digitalen Vernetzungen: Daten über den Markt werden erfasst und analysiert. Auf

den Kundenwunsch wird flexibel reagiert. Verlässliche Algorithmen oder auch künstliche Intelligenz in Form lernender Maschinen übernehmen Planung, Angebotserstellung und Kontrolle der Produktion.

Das Wertschöpfungsnetzwerk kann auch teilweise aus einzelnen spezialisierten Betrieben F1, F2, F3, in Form einer „Shared Factory“ bestehen. Der OEM gibt Teilaufträge im digital verbundenen Netzwerk an spezialisierte Kleinunternehmen weiter. Diese Betriebe beherrschen die technischen Details eines Herstellungsschritts, können auf diesbezügliche Kundenwünsche flexibel reagieren und diesen Schritt günstig anbieten.

Das fertige Produkt, flexibel nach dem Kundenwunsch gestaltet, wird ausgeliefert und entsprechend dem vereinbarten Angebot erfolgt die Rechnungsabwicklung auch wieder digital und von Maschinen gesteuert.

In Erweiterung zur Automatisierung von Produktionsabläufen werden nunmehr automatisierte Entscheidungen als Rationalisierungspotenzial identifiziert. Für produzierende Unternehmen ergibt sich die Herausforderung, mit dem digitalen Fortschritt mitzugehen. Sie sollen auf mehreren Ebenen ihr Vorgehen in Algorithmen übersetzen, sodass Maschinen die Tätigkeiten übernehmen können. Dies betrifft nicht nur die Produktion selbst, wie Abbildung 2 beispielhaft darlegt.



**Abbildung 2:** Bereiche der Substituierbarkeit durch Algorithmen

Mit dem Blick auf diese Entwicklung stellt sich die Frage nach den Auswirkungen der weitergehenden Digitalisierung auf die Facharbeit. Wo werden die heute in Ausbildung befindlichen Fachkräfte eingesetzt werden, welche Aufgaben werden wegfallen, welche dazukommen?

## 4 Ansprüche an Facharbeit

Als erste Folgerung aus dem bisher Dargelegten kann erwartet werden, dass die Menschen im Bereich der Facharbeit in Zukunft auch an der Algorithmierung durch Verbalisierung ihres Erfahrungswissens mitarbeiten werden:

- durch Analysieren der Umwelt über (Sensor-)Daten
- durch Aufnehmen von Erfahrungen durch Networking
- durch Beschreiben von gewünschten Zuständen über Zusammenhänge
- durch Gestalten von Prozessen durch Prozeduren

Als weiteren Überblick zur Frage, was diese Entwicklungen für die zukünftige Facharbeit bedeuten könnten, zeigt Tabelle 3 eine Zusammenstellung aus der Literatur zu folgenden Bereichen:

- Veränderungen der Qualifikationsanforderungen
- Bedeutung für das Lernen
- Bedeutung für die Arbeitsmarktfähigkeit
- Bedeutung der Digitalisierung für das Zusammenleben

**Tabelle 3:** Wirkungen der Digitalisierung auf Qualifikation und Arbeitsmarkt (nach Dreher 2019, S. 187 f.)

Fragen	Ergebnisse	Quellen
Mit welchen Qualifikationsveränderungen ist zu rechnen?	Notwendigkeit von MINT-Qualifikationen Neue Sicherheitskultur (Datenschutz) Ganzheitliches Handeln (Planen, Organisieren, Machen, Kontrollieren)	5, 8, 9, 14 2 2, 3, 6, 7, 9, 11, 12
Was bedeutet das für das Lernen?	Anleitung durch AR/VR-Medien Denken in sozio-technischen Systemen Erhöhte Kommunikationsfähigkeit Umschwung von Erledigungsorientierung auf Wissensorientierung Zunahme mathematischer Fähigkeiten	3, 7, 11 2, 3, 7, 9, 14 6, 9 6, 7, 9, 11, 13 5
Was bedeutet das für die Arbeitsmarktfähigkeit?	Umgang mit Komplexität wird zur Grundvoraussetzung Substitution von automatisierbarer Arbeit gewollt/wird vollzogen Reduktion des Fachkräftemangels durch Digitalisierung	3, 7, 11 3, 7, 9, 10, 12, 13 2, 4, 10, 11
Was bewirkt Digitalisierung für das Zusammenleben?	Ganzheitliches, nachhaltiges Handeln als Grundprinzip Gestaltung(-swille) als permanente Anforderung Zunahme der Umverteilung (sofern kein Staatseingriff)	6, 7, 9, 11, 12 9, 14 13, 14
(Codierung vgl. Tabelle 1)		

Die zitierten Ergebnisse aus den Literaturstellen basieren mehrheitlich auf dem bereits vorgestellten Analyseergebnis, dass immer mehr auch Entscheidungen, die über Datenanalysen herbeiführbar sind, maschinell gesteuert werden. In der hier zum Vergleich herangezogenen Literatur wird deshalb davon ausgegangen, dass MINT-Qualifikationen (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) in Zukunft noch stärker gefragt sein werden, dass aber auch ganzheitliches Verständnis und Handeln und der Umgang mit komplexen Problemen gefordert sein werden. Es wird auch auf die Nutzung von AR/VR-Medien (Augmented Reality/Virtual Reality) für das Lernen hingewiesen – zugleich aber auch auf den neuen Bestandteil von Facharbeit, den dazu notwendigen Content auf der Arbeitsebene zu generieren („Reduktion des Fachkräftemangels“ in Tabelle 3). Dies findet eine weitere Ergänzung in den Aussagen in Tabelle 2, wo die Nutzung von AR/VR-Medien bei der Unterstützung von Arbeitsprozessen erwähnt wird.

Wieder soll ergänzend die Sicht aus dem Facharbeiter-Experten-Workshop dargelegt werden (Tabelle 4). Hier waren die Themen folgende:

- Bedeutung der Digitalisierung für die Personalentwicklung
- Erwartungen an die berufliche Erstausbildung
- Fortentwicklung beruflicher Bildung

**Tabelle 4:** Resultierende Anforderungen an die Berufsbildung (nach Dreher 2019, S. 188)

Fragen	Ergebnisse	Quellen
Was bedeutet Digitalisierung für die Personalentwicklung?	Problem: Praxisferne BA-Studiengänge Verstärkung dualer Studiengänge Mehr Projektorientierung in der Facharbeiter*innenausbildung	A, B, D A, B A, D
Was erwarten Sie von der beruflichen Erstausbildung?	Förderung von Selbstständigkeit und Flexibilität Umgang mit AR/VR-Medien inklusive Contenteinspeisung Theoretisierung von Facharbeitsprozessen	A, D C, D A, B, D
Welche Fortentwicklung braucht berufliche Bildung?	Mehr mathematische Grundlagen Downgrading „Universalinstandsetzer“ Fortbildung für die Auszubildenden	A, B, D A, C A, D
(Codierung vgl. Tabelle 2)		

Auch hier findet sich die Förderung von ganzheitlicher Sicht auf Prozesse durch den Wunsch nach stärkerer Projektorientierung. Ebenso zeigt sich ein Teil der in Tabelle 3 genannten MINT-Fächer durch den Wunsch nach mehr mathematischen Grundlagen. Wiederum thematisiert wird der Bereich „Umgang mit AR/AV-Medien“ inklusive der Contenteinspeisung als Teil von Facharbeit.

## 5 Szenarien und Qualifikation für die Facharbeit der Zukunft

Zum jetzigen Zeitpunkt erscheint die zukünftige Rolle des Menschen, speziell im Bereich Facharbeit, in derartigen Wertschöpfungsprozessen trotz solcher Analysen unklar. So könnte es durch Digitalisierung und den Einsatz künstlicher Intelligenz zur zunehmenden Substitution menschlicher Arbeit kommen; es könnte aber auch zu einem „Upgrading“ von Arbeit kommen, da die Maschine den Zugang zu komplexeren Arbeitsschritten und Entscheidungen begreifbarer offenlegt – mit der Chance einer Höherqualifizierung. Ebenso ist eine Polarisierung in Arbeit mit sehr hochwertigen und mit sehr niedrigschwelligen Arbeitsinhalten denkbar (Hirsch-Kreinsen/ Ittermann 2017, S. 139). Bauer, Dworschak und Zaiser (2017, S. 266 f.) unterscheiden hierbei ein Spezialisierungsszenario, in welchem der Mensch vor allem dort gefragt ist, wo unerwartete Probleme auftreten, und ein Automatisierungsszenario, in welchem der Mensch nur noch Ausführer ist, der angeleitete Schritte durchführt.

In Abbildung 1 wurde auch ein weiterer Bereich sichtbar, der als Chance für Facharbeiterinnen und Facharbeiter mit Unternehmergeist gesehen werden kann: Das Spezialwissen im Umgang mit Fertigungsprozessen kann zum Aufbau kleiner Betriebe genutzt werden, die sich digital vernetzt auf einen Bereich spezialisieren und in diesem Bereich flexibel und günstig Fertigungsschritte anbieten können. Dies kann als drittes Szenario unter „Shared Factory“ zusammengefasst werden.

In Abbildung 3 sind die verschiedenen Szenarien zusammengefasst. Sie zeigt von unten nach oben steigende Anforderungen an die Qualifikation.

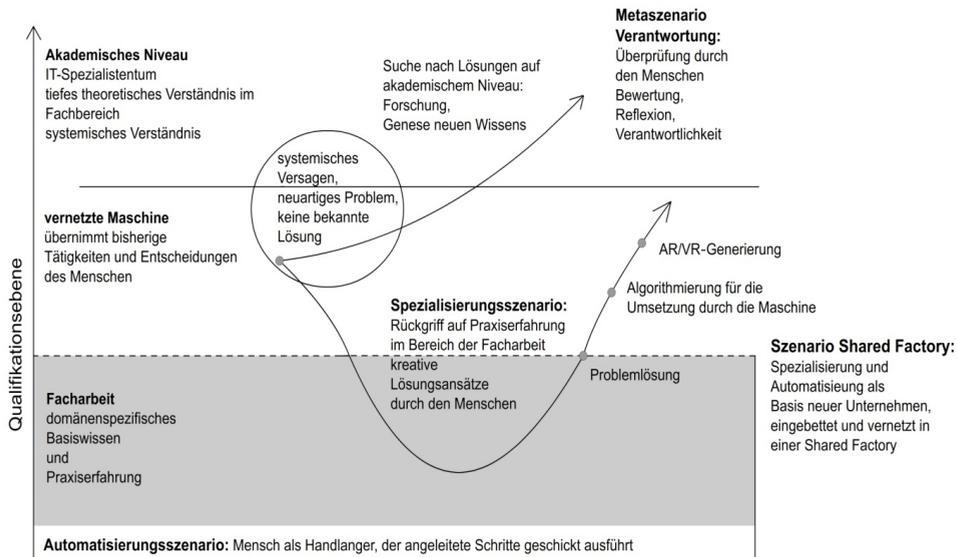


Abbildung 3: Szenarien und Qualifikation für die Facharbeit der Zukunft

Als Vorannahme geht dieses Modell davon aus, dass die vernetzte Maschine Tätigkeiten und Entscheidungen übernimmt. Sie ist dabei an Algorithmen gebunden. Vom Niveau her greift sie sowohl Aufgaben der Facharbeit als auch der Akademiker und Akademikerinnen auf. Der bisherige Qualifikationsbereich der Facharbeit ist in Grau hinterlegt.

Das „Automatisierungsszenario“ zeigt ein Downgrading der Facharbeit. Der Mensch wird zum Handlanger reduziert, der geschickt angeleitete Handlungen durchführt. Dies könnten durchaus anspruchsvollere Handlungen als bisher im Bereich der Facharbeit üblich sein, da die Maschine das Wissen darüber hat und beim genauen Durchführen begleitet.

Das „Spezialisierungsszenario“ hingegen zeigt ein Upgrading der Facharbeit: Es deutet die Bedeutung von Erfahrungswissen beim Finden neuer Lösungen an. Die Facharbeiterinnen und Facharbeiter bringen bei neuartigen Problemen ihr Erfahrungswissen ein, finden kreative Lösungen, sind Teil der Entwicklung neuer Algorithmen und Teil von AR/VR-Generierung.

Ein drittes Szenario deutet sich auch an. Was bei Untersuchungen in den Betrieben auch schon gefunden wurde, sind Facharbeiterinnen und Facharbeiter, die sich mit ihrem Wissen und ihrer Erfahrung, auch in der Bedienung von Spezialmaschinen, selbstständig machen und in eine „Shared Factory“ einordnen. Sie können flexibel auf Kundenwünsche reagieren und günstig gewisse Fertigungsschritte anbieten.

In der Abbildung wurde ein viertes Szenario eingefügt: Das „Metaszenario Verantwortung“. Auch wenn Menschen Fehler machen können, gehen wir davon aus (und sehen das durchaus als Setzung), dass die Verantwortung nicht der Maschine überlassen werden kann. Letztverantwortlich für Entscheidungen und die Evaluation der getroffenen Entscheidungen sollen Menschen sein. Dies betrifft nicht nur einzelne ausgewählte Personen, sondern, verteilt auf die jeweiligen Zuständigkeitsbereiche, viele Menschen. Solche Verantwortungsübernahme kann und soll auch die Ebene der Facharbeit betreffen.

## 6 Implementationen für die Berufsbildung

Ausgehend von diesem Modell kann für die Berufsbildung ein Bild gezeichnet werden, das auf die Gefahren einer Unterqualifizierung (mit dem dann einsetzenden Effekt einer Polarisation) hinweist und die wesentlichen Herausforderungen nochmals benennt (Abbildung 4).

Der Digitalisierung gerecht werdende berufliche Bildungskonzepte sollen gemäß den hier vorgestellten Ergebnissen darauf fokussiert werden, inhaltlich die Fragen der Beherrschbarkeit und der Offenlegung von Erfahrungswissen in den Mittelpunkt zu stellen. Der Beitrag zur Algorithmierung fördert das Upgrading der Facharbeit in Richtung Spezialisierung. Dies kann über eine mathematische Erweiterung in der Ausbildung zum Facharbeiter und zur Facharbeiterin erfolgen.

## Was bedeutet Industrie 4.0? (für die Berufsbildung)

Ausgehend von der Polarisierungsthese (Hirsch-Kreinsen 2019):



Abbildung 4: Mögliche Bildungskonzepte

Parallel dazu müsste akademische Bildung sich strukturell für die Idee der beruflichen Bildung aus dem Konkreten heraus öffnen. In Österreich gibt es mit den Höheren Technischen Lehranstalten bereits eine Ausbildung, die den hybriden Charakter zwischen Theorie auf akademischem Niveau und Praxis auf dem Niveau der Facharbeit einnimmt und damit auch mit dem Blick auf Industrie 4.0 zukunftsfähig erscheint. Allerdings sollte in jedem Bildungskonzept das „Metaszenario Verantwortung“ als Anregung dafür genommen werden, dass Ausbildung und Bildung den Menschen zu einem verantwortungsvollen Handeln auch in Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Fragestellungen befähigen sollte – da so erst eine Fokussierung auf das Bildungsziel der Gestaltungsfähigkeit der und des Einzelnen für die Gesellschaft möglich wird.

## Literaturverzeichnis

- Atkinson, Anthony B. (2018): Ungleichheit. Was wir dagegen tun können. Stuttgart.
- Bauer, Wilhelm/Dworschak, Bernd/Zaiser, Helmut (2017): Weiterbildung und Kompetenzentwicklung für die Industrie 4.0. In: Vogel-Heuser, Birgit/Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Band 1. Berlin, Heidelberg, S. 125–138.
- Bitkom e. V. (2015): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Berlin-Mitte.
- Blankertz, Herwig (1982): Die Geschichte der Pädagogik: Von der Aufklärung bis zur Gegenwart. Wetzlar.
- Blom, Philipp (2017): Was auf dem Spiel steht. München.

- Brugger, Simon/Regber, Holger (2017): Ein Produktionssystem im Wandel. In: Spöttl, Georg, Windelband, Lars (Hrsg.): *Industrie 4.0. Risiken und Chancen in der Berufsbildung*. Bielefeld, S. 201–224.
- Dengler, Katharina/Matthes, Britta (2018): Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. In: IAB-Kurzbericht, 4/2018, S. 1–12.
- Dreher, Ralph (2019): Lehramt Berufskolleg weiterentwickeln: Möglichkeiten der Entwicklung von Lehrer:innenpersönlichkeit zwischen Verschlinkung und Kompatibilität. In: Kalisch, Claudia/Kaiser, Franz (Hrsg.): *Bildung beruflicher Lehrkräfte. Wege in die pädagogische Königsklasse*. Bielefeld, S. 59–61.
- Fratzscher, Marcel. (2017): *Verteilungskampf. Warum Deutschland immer ungleicher wird*. München.
- Hermann, Mario/Pentek, Tobias/Otto, Boris (2015): *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Working Paper 01/2015. Dortmund.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Ittermann, Peter (2017): Drei Thesen zu Arbeit und Qualifikation in Industrie 4.0. In: Spöttl, Georg/Windelband, Lars. (Hrsg.) *Industrie 4.0. Risiken und Chancen in der Berufsbildung*. Bielefeld, S. 131–151.
- Kagermann, Henning/Wahlster, Wolfgang/Helbig, Johannes (2013): *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Frankfurt a. M.
- Kaßbaum, Bernd/Ressel Thomas/Schrinkel, Hanna (2015): *Berufsbildung 4.0. Ein bildungspolitischer Kompass für die Gestaltung der digitalen Arbeitswelt*. Entwurf 140815. Frankfurt/Main.
- Keese, Christoph (2017): *Silicon Germany. Wie wir die digitale Transformation schaffen*. München.
- KMK (2021): *Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe*. Berlin.
- Piketty, Thomas (2016): *Das Kapital im 21. Jahrhundert*. Aus dem Französischen von Ilse Utz und Stefan Lorenzer. München.
- Pfeiffer, Sabine (2015): *Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung*. Wien. Online: [http://epub.oew.ac.at/ita/ita-manuscript/ita\\_15\\_03.pdf](http://epub.oew.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf) (16.09.2021).
- Rödder, Andreas (2015): *Eine kurze Geschichte der Gegenwart*. München.
- Spath, Dieter (Hrsg.) (2013): *Studie Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart.
- Tenberg, Ralf/Pittich, Daniel (2017): *Ausbildung 4.0 oder nur 1.2.? Analyse eines technisch-betrieblichen Wandels und dessen Implikation für die technische Berufsausbildung*. In: *Journal of Technical Education*, 5(1), S. 27–46.
- Windelband, Lars (2014): *Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“*. In: *Journal of Technical Education*, 2(2), S. 138–160.

## **Autor und Autorin**

*Univ.-Prof. Dr. Ralph Dreher*

Fakultät IV/Department Elektrotechnik und Informatik, Lehrstuhl Technikdidaktik am Berufskolleg (TVD – Technical Vocational Didactics), Universität Siegen

*Dipl. Ing. Dr. Brigitte Koliander*

Zentrum für Berufspädagogik, Leitung des IMST Themenprogramms „Kompetent durch praktische Arbeit“, Pädagogische Hochschule Niederösterreich