

In: Wirtschaftspsychologie Heft 3-2020, hrsg. von L. Fischer, pp. 43 – 58; Lengerich: Pabst

**Günther Bergmann**

## **Industrie 4.0 – Konsequenzen für industrielle Arbeitsprozesse und Qualifizierung**

### ***Zusammenfassung***

Die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeitsprozesse in der industriellen Produktion werden in diesem Beitrag analysiert. Gemeinhin wird im gesellschaftspolitischen und im betrieblichen Kontext die Forderung nach einer umfassenden Qualifizierung unter Gesichtspunkten der Digitalisierung erhoben. Begründet wird dies mit einem zu erwartendem Abbau von einfachen manuellen Tätigkeiten. Die Forderung nach einer umfassenden Qualifizierung wird kritisch analysiert in Hinsicht darauf, für welche der zukünftigen industriellen Arbeitsprozesse unter Industrie 4.0 diese Aussage gültig ist und für welche nicht. So wird u.a. gezeigt, dass bei Montage-Assistenzsystemen für die manuelle Montage unter Industrie 4.0 für die überwiegende Anzahl der Arbeitsprozesse keine höhere Qualifikation notwendig ist, sondern im Gegenteil eine Dequalifikation in der Tätigkeit resultiert. Kritisch betrachtet wird außerdem ein Trendthema der Automatisierung: kollaborierende Roboter bzw. Cobots und deren (überschätzte) Auswirkung auf das Thema Qualifizierung.

Hinweis:

Diesen Ausführungen liegen zahlreiche konkrete Beispiele aus der Unternehmenspraxis zugrunde. Die Darstellung der Praxisbeispiele würde den Rahmen dieser Veröffentlichung sprengen. Daher ist das beigefügte **PDF Supplement** mit allen Praxisbeispielen nicht Bestandteil der Veröffentlichung.

Dieser Beitrag wurde vor Beginn der Corona-Pandemie verfasst. Die Bewältigung der Folgen der Pandemie wird - nach übereinstimmender Prognose der Industrieverbände - einen weiteren Digitalisierungsschub auslösen, dessen betriebliche Umsetzung in der Fläche für die Jahre 2022/23 zu erwarten ist. Entsprechend werden sich entgegen den hier genannten Prognosen deutlich negativere Beschäftigungseffekte ergeben, deren Ausmaß derzeit noch nicht abgeschätzt werden kann.

Schlüsselwörter: Industrie 4.0, Produktionstechnologie, Qualifizierung

### **Smart factory – Consequences for Industrial Work and Qualification Requirements**

#### ***Abstract***

Consequences of smart factory applications in industrial production are analyzed and a systematization of technological strategies is outlined. Qualification is generally seen as the primacy challenge in preparing the workforce for the digital change. It is shown, however, that one of the technological strategies including system-guided assembly assistance systems - with or without Cobots - do not lead to higher qualification requirements. On the contrary, this technological strategy leads to deskilling (dequalification) in human working processes. These findings are questioning the demand of higher qualification requirements for all manufacturing workers. Nevertheless, for a small number of manufacturing workers - the process operators - there is a strong demand for technology-specific higher qualifications. The impact of collaborating robots (Cobots) on qualification is critically examined.

## 1. Forschungsmethodische Vorbemerkung

Industrie 4.0 (engl. Smart Factory) meint eine durchgängige Vernetzung und digitale Steuerung aller Prozesse in einer industriellen Produktion. Derzeit und auch in absehbarer Zukunft wird eine „durchgängige Vernetzung aller Prozesse“ in den meisten Produktionsunternehmen noch keine Realität sein. In der Vision eines Industrial Internet of Things geht man von einer durchgängigen Vernetzung aller Systeme aus, vom Kunden (der Kunde konfiguriert sein Produkt selbst) über die Produktion bis zur Auslieferung und Rechnungsstellung. Hierfür existieren heute nur sehr wenige Beispiele; dies wird noch für einen längeren Zeitraum eine Vision bleiben. Von Industrie 4.0 Anwendungen spricht man auch, wenn nur einzelne Produktionssegmente vernetzt und hochautomatisiert ablaufen. Dies ist insbesondere in einigen mittelständischen Industrieunternehmen zu beobachten, bei der häufig nur einzelne, isolierte Produktionsprozesse vollständig automatisiert werden (vgl. Bauernhansl, 2016), allerdings teilweise auch in der Automobilindustrie. In der Fläche der produzierenden Industrie sind heute Industrie 4.0 Anwendungen noch mit der Lupe zu suchen. Empirische Untersuchungen von Arbeitsprozessen in zufällig ausgewählten Unternehmen mit ebenso zufälligen Befragungen von Mitarbeitern, wie sie häufig bei arbeitssoziologischen Untersuchungen unter dem Stichwort „Digitalisierung“ zu finden sind, führen daher nicht weiter.

Bei Industrie 4.0 handelt es sich jedoch keineswegs um eine Zukunftsvision, die nicht schon in der Realität angekommen wäre. Hier sind insbesondere einzelne Unternehmen zu identifizieren, bei denen Industrie 4.0 Anwendungen in einer relevanten Größenordnung bereits umgesetzt wurden. Eine weitere Informationsquelle sind diejenigen Unternehmen (Trumpf, Sick, B&R, ABB, Siemens, Bosch Rexrodt, Mitsubishi Electronic, Schunk, Phoenix Contact, Rittal und andere), die Anlagen für eine digitalisierte Produktion herstellen und auch in ihrer eigenen Fertigung anwenden. Außerdem sind Recherchen bei Tagungen und Messen der Automatisierungstechnik (z.B. der Automatica in München) angeraten, um sich ein Bild von den Auswirkungen auf (negative) Beschäftigungseffekte und Arbeitsprozesse zu machen. Was hier vorgestellt wird, findet sich in wenigen Jahren in der Fläche der Produktion wieder. Organisationspsychologen und Personalentwickler sollten sich mit diesen unterschiedlichen Technologien tiefer gehend auseinandersetzen, um die Auswirkungen auf Arbeitsprozesse und Qualifizierung differenziert beurteilen zu können.

Zugleich findet man auf dem Markt der Anlagen- und Maschinenhersteller, in technischen Online-Zeitschriften und auch in wissenschaftlich orientierten Sammelwerken ein buntes Durcheinander von Automatisierungstechnologien unter Industrie 4.0. Der folgende Beitrag zielt daher auf eine Systematisierung unterschiedlicher Technologien unter Industrie 4.0, die dazu geeignet ist, aus Fallanalysen eine systematische Analyse zu generieren. Eine Vielzahl von Beispielen (hier noch keine Fallanalysen) veranschaulicht diese Systematisierung. Ebenso deuten sich differentielle Konsequenzen zum Thema Qualifizierung an (Polarisierungshypothese). Hierfür können heute noch keine quantitativen empirischen Daten erhoben werden. Andererseits wäre es unpassend, auf die Umsetzung in der Fläche zu warten, um erst dann empirisch arbeiten zu können. Für einige z.T. hochaktuelle Themen existieren noch keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen; die Quellen der genannten Beispiele stammen aus Firmenveröffentlichungen, Presseveröffentlichungen sowie aus technischen Online-Zeitschriften.

## 2. Industrie 4.0 in der Produktion

Der in Deutschland geprägte Begriff „Industrie 4.0“ meint eine weithin geteilte Einschätzung, dass es sich bei den gegenwärtig beginnenden Veränderungen in den industriellen Produktionsprozessen um

eine 4. Industrielle Revolution handelt (vgl. Bauernhansl, 2017; Plattform Industrie 4.0, 2019; Andelfinger & Hänisch, 2017). Das bedeutet, dass von disruptiven Entwicklungen auszugehen ist, die sich wesentlich von den schrittweisen und kontinuierlichen Veränderungsprozessen in den letzten 20 Jahren unterscheiden. Der „Kontinuierliche Verbesserungsprozess“ (KVP), Kaizen und ähnliche Verfahrensweisen in Produktion und Qualitätsmanagement stehen für diese nicht-disruptiven Entwicklungen der früheren Jahre. Disruptiv bedeutet, dass sich großflächig und technologiegetrieben Arbeitsprozesse in der industriellen Produktion fundamental verändern. Dies hat massive Konsequenzen für die Beschäftigungs- und Qualifikationsstruktur in den Betrieben.

Kernstück des Begriffs Industrie 4.0 ist die umfassende und echtzeitnahe digitale Vernetzung der Strukturen und Prozesse mit der physischen Welt der Werkzeuge und Produkte, also ein cyberphysisches System (CPS) (vgl. Fraunhofer IPA, 2014; Steven, 2019). Daher ist der allgemein gebräuchliche Begriff der „Digitalisierung“ streng genommen unzutreffend. Denn Digitalisierung kennzeichnete bereits die 3. Industrielle Revolution, als über Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) teilautomatisierte Montageprozesse in der Linienfertigung (CIM) implementiert wurden (vgl. Schallow, Hengstebeck & Deuse, 2018). Interessant ist, dass diese 3. Industrielle Revolution in den 80iger Jahren ohne große öffentliche Resonanz ablief. Es kam seiner Zeit kaum zu Beschäftigungsverlusten, da der Produktivitätsgewinn von einer Ausweitung des Produktionsumfangs begleitet war. „Digitalisierung“ in großflächigem Einsatz in der Produktion kennen wir also bereits seit den 80iger Jahren. Die Digitalisierung, an deren Schwelle wir heute stehen, bedeutet Konnektivität der Produktionssysteme, und digitale Steuerung bedeutet Datenaustausch von Produkten und Maschinen.

Mit dem Begriff „Automatisierung“ verhält es sich ähnlich. Auch dies ist kein neues Phänomen, z.B. sind programmierbare Schweißroboter in der Automobilindustrie seit mehr als 25 Jahren im Einsatz. Vor allem sollte man sich von der Vorstellung trennen, dass Automatisierung unter Industrie 4.0 gleichbedeutend mit dem Bild der „mensenleeren Fabrik“ wäre (vgl. Gerdenitsch & Korunka, 2019). Gleichwohl gibt es die Fabrik ohne menschliche Arbeitskraft - annähernd - bereits heute. Aber auch Systeme der manuellen Montage in Montageinseln sind über Montage-Assistenzsysteme umfassend vernetzt (mit oder ohne Cobots, kollaborierende Roboter) und damit eine Anwendung von Industrie 4.0.

Die Vorteile und die einzelnen Komponenten moderner Montagesysteme unter Industrie 4.0 werden aus Sicht eines Anbieters von Automatisierungstechnik anschaulich beschrieben (Bernhard Müller, Sick AG, 2020): „Der Vorteil einer modernen Montage liegt in der Produktvarianz: Intelligente Sensorlösungen helfen dabei, kundenindividuelle Produkte in hoher Qualität zu produzieren und zugleich die Effizienz der Fertigung hinsichtlich Zeitaufwand und Kosten zu steigern. Kamerabasierte Sensoren müssen zur Erkennung verschiedenster Montageteile flexibel programmierbar sein. Dabei können Deep Learning-Algorithmen und KI die Genauigkeit nochmals erhöhen. Dazu gehört aber auch eine intelligente Greiftechnik (von Robotern) innerhalb der Montagezelle, um die Teile trotz hoher Varianz korrekt zuzuordnen. Zuletzt sollte die Montage nicht in einer starren Fertigungskette stehen, sondern Teil eines modularisierten Fertigungskonzeptes sein. Autonome Produktions- und Montagemodule sind hier individuell vernetzt und geben Teile mittels wege-autonomer fahrerloser Transportsysteme weiter. So kann in einer Fertigung eine sehr hohe Produktvarianz und somit echter Kundennutzen erreicht werden.“ Es sollte hinreichend deutlich sein, warum von einer 4. Industriellen Revolution gesprochen wird.

Negative und positive Beschäftigungseffekte in der Folge von Industrie 4.0 bzw. Digitalisierung wurden in zahlreichen Studien prognostiziert, die an anderer Stelle kritisch analysiert wurden (vgl. Bergmann, 2020a). Die Bandbreite reicht von Beschäftigungsverlusten von ca. 3/4 der Beschäftigten in der industriellen Fertigung bis hin zu Prognosen von eher moderaten Beschäftigungsverlusten im Saldo, kompensiert durch Beschäftigungsgewinne im Bereich Digitalisierung, also zusätzlich aufzubauende neue Stellen. In einer neueren Studie von 2019 (Wolter et al., 2019) gehen die Autoren von einem Plus von 200.000 Arbeitsplätzen bis 2030 aus. Die Autoren veränderten die Projektion unter der Annahme, dass die Umsetzung von Wirtschaft 4.0 deutlich längere Zeit in Anspruch nehmen wird, als bisher zugrunde gelegt. Erst bis zum Jahr 2035 sehen sie einen negativen Saldo, einen Verlust von rund 600.000 Arbeitsplätzen. Eine durchaus erhebliche und gesellschaftlich relevante Größenordnung. Weiterhin wurden die Beschäftigungseffekte im Jahr 2018 mit dem Jahr 2030 verglichen. „In der digitalisierten Welt wird es im Jahr 2030 einerseits 2.542.000 Arbeitsplätze, die 2018 noch vorhanden sind, nicht mehr geben. Andererseits werden im Wirtschaft-4.0-Szenario ebenfalls 2.768.000 Arbeitsplätze entstanden sein, die 2018 noch nicht existieren.“ (Wolter et al., 2019, S. 8).

Bei der Prognose der Beschäftigungszugewinne gehen die Autoren von einer – aus dem Jahr 2018 fortgeschriebenen – kontinuierlich positiven Wirtschaftsentwicklung aus, einer recht optimistischen Annahme, die schon Ende 2019 – also noch vor der Corona-Pandemie – mit Blick auf die Situation des Maschinenbaus und der Automobilindustrie kaum gerechtfertigt sein dürfte. Andererseits gehen diese Studie wie auch andere (OECD-Studie: Future of Work, 2018) davon aus, dass einfache und repetitive manuelle Tätigkeiten durch Digitalisierung zunehmend substituiert werden. Diese Annahme ist jedoch nur teilweise zutreffend, wie unten gezeigt wird.

### **3. Drei unterschiedliche technologische Strategien unter Industrie 4.0**

In der Praxis und in der Literatur werden sehr diverse technologische Strategien unter Industrie 4.0 zusammengefasst. Dies ist ein Grund dafür, warum die Rolle menschlicher Arbeit unter Industrie 4.0 so unterschiedlich diskutiert wird, z.B.: „Roboter erleichtern dem Menschen die Arbeit (Ergonomie)“; „Roboter nehmen dem Menschen die Arbeit weg“, „der Mensch hat in der Produktion nichts mehr zu tun – er ist auf Prozesse der Erst-Einrichtung, der Überwachung und Wartung beschränkt“, „Kollege Roboter arbeitet mit dem Menschen zusammen“. All dies ist zutreffend oder nicht zutreffend – jeweils abhängig von der technologischen Strategie unter Industrie 4.0. Dementsprechend unterscheiden sich auch die Qualifizierungsnotwendigkeiten. Im Folgenden wird eine Systematisierung der unterschiedlichen technologischen Strategien unter Industrie 4.0 vorgeschlagen (s. auch Bergmann, 2016, 2020a).

#### **(1) Cyber-physische Systeme / komplexe Vollautomatisierung**

Cyber-physische Systeme ermöglichen eine komplexe Vollautomatisierung durch umfassende Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette mit intelligenter, digitaler und dezentraler Steuerung. Maschinen und Produkte kommunizieren drahtlos miteinander, z.B. mittels RFID-Chip oder per WLAN nach dem neuen 5G-Standard.

→ **Maschine-Maschine-Interaktion**

## **(2) Digitale Vernetzung / dezentrale Steuerung**

Digitale Vernetzung und Vollautomatisierung betreffen nur einzelne Produktionssegmente. Die dezentrale Produktionssteuerung sowie Prozessoptimierung erfolgt durch Operator (z.B. Prozesssteuerung via Tablet).

→ **Mensch-Maschine-Interaktion**

## **(3) Montage-Assistenzsysteme**

Montage-Assistenzsysteme und Cobots (kollaborierende Roboter) unterstützen menschliche Arbeit mit dem Ziel fehlerfreier Montageprozesse und ergonomischer Verbesserung. Diese Assistenzsysteme sind system-geleitet und umfassend vernetzt. Damit handelt es sich um Industrie 4.0 Anwendungen in einer modularen Produktionsstruktur. Solche Montage-Assistenzsysteme arbeiten häufig mit Unterstützung durch Cobots zum Heben und exakten Positionieren von schweren Montageteilen. Werden lediglich Kleinteile montiert, sind solche Cobots meist nicht notwendig. Anders verhält es sich bei dem Thema „Mikromontage“.

→ **Mensch-Maschine-Kollaboration**

Diese drei Strategien werden in den folgenden Kapiteln näher entwickelt und hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen an Mitarbeiter in der Produktion beurteilt.

### **3.1 Cyber-physische Systeme / komplexe Vollautomatisierung (1)**

Verbreitung in der Produktionspraxis haben solche cyber-physischen Systeme bisher in der Verfahrenstechnik gefunden, also der Verarbeitung von Flüssigkeiten und Gasen. Entsprechende Anlagen ermöglichen eine Losgröße 1 und damit eine flexible oder auch individualisierte Produktion. Der Begriff Losgröße 1 bezieht sich auf die Tendenz zu kundenspezifischen und damit individualisierten Produkten oder Lösungen gegenüber der bislang dominierenden Großserienfertigung. Außerdem spricht die Verarbeitung von Gefahrstoffen für ein geschlossenes System, in dem menschliche Arbeitskraft nicht in einen laufenden Prozess eingreifen muss (vgl. Efker, 2019).

Ein allseits bekanntes und seit Jahren erprobtes Beispiel stammt aus der Druckindustrie, die Produktion von Fotobüchern, Fotokalendern u.ä. Hier handelt es sich um eine Web-to-Print Anwendung, denn der Kunde stellt selbst sein Fotobuch zusammen, dies läuft in eine vollautomatisierte Produktion einschließlich Verpackung, Versand und Rechnungsstellung. Nur noch wenige Operatoren initialisieren und überwachen diesen Prozess am Produktionsort. Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist „Time-to-Market“, also die Schnelligkeit, mit der die individualisierten Produkte den Kunden erreichen. Cyber-physische Systeme der Vollautomatisierung kennt also bereits jeder aus dem Alltag – und nutzt gerne die günstigen Preise.

Auch die „mensenleere Fabrik“ in Sinne des Wortes existiert bereits – und zwar in China. Das chinesische Unternehmen Foxconn montiert in Guiyang im Südwesten Chinas Smartphones vieler Hersteller (u.a. iPhone, Samsung) in einer „Dark Factory“. In dieser Fabrik gibt es keine Beleuchtung, da hier kein Mensch tätig ist. Ein Produktionsprozess, in dem zuvor ca. 1.500 Mitarbeiter tätig waren, wird von nur einer Person überwacht. Insgesamt: „Foxconn replaced 60,000 factory workers with robots in one factory.“ (Quelle: BBC News online, 25.05.2016). Auch in anderen Staaten der Neo-Industrialisierung, insbes. in Indien, setzt man auf eine (tendenzielle) Vollautomatisierung mit einem verstärkten Einsatz von Industrierobotern (Quellen: konstruktionspraxis.vogel.de, 24.01.2019; Daten der International Federation of Robotics, 2018). Dies ist z.B. der Fall bei Tata Motors, Indien, wo u.a. Mercedes Sprinter in Lizenz gebaut werden. Treiber hierfür ist nicht eine Einsparung an Arbeitskosten, sondern die Qualität.

Ein wichtiger Treiber für Vollautomatisierung unter Industrie 4.0 stellt die Mikrosystemtechnik dar. Bauteile, vor allem elektronische Bauteile, werden immer kleiner. Die Herstellung von kleinen Bauteilen ist eine Herausforderung für eine präzise Positionierung der Teile, die sich immer stärker in den  $\mu\text{m}$ -Bereich verlagern. Die Mikromontage ist daher der teuerste Fertigungsschritt. Für solche Mikromontage-Prozesse ist eine rein manuelle Montage zunehmend weniger geeignet (Quelle: Schamari, VDI Nachrichten online, 15.07.2019). Siemens ist in Deutschland das Großunternehmen, welches vollautomatisierte Produktionsprozesse als Geschäftsfeld vorantreibt. Nicht erstaunlich also, dass Siemens in seinem Werk in Amberg bei der Fertigung von Elektronik-Bauteilen eine solche Produktionsstrategie umsetzt und hierbei die eigene Steuerungs-Software Mindsphere sowie Edge-Computing (dezentrale Verarbeitung aller Sensor- und Messdaten an den Maschinen) und Künstliche Intelligenz einsetzt (s. **Supplement 1**).

Ein weiteres Beispiel für tendenzielle Vollautomatisierung ist der Chip-Hersteller Infineon in seinen Werken in Dresden und in Villach, Österreich (s. **Supplement 2**). In Dresden führte die Umstellung auf eine vollautomatisierte Herstellung von bestimmten Halbleitern zu einer Personaleinsparung von 75% gegenüber der vorherigen Fertigungsstruktur. Das Infineon Werk Dresden ermöglicht auch einen Blick auf die Veränderung der Arbeitstätigkeiten und der notwendigen Qualifizierungsmaßnahmen bei einem solchen Transformationsprozess. Eine Tätigkeitsanalyse erbrachte folgende Veränderungen für die Funktion „Operator“ (Heinrich, 2018):

- der Anteil körperlicher Arbeit sinkt / Wegfall einfacher Tätigkeiten
- Erhöhung der Anteile von Analyse und Entscheidung
- mehr Verantwortung und Spezialisierung
- höhere Qualifizierung der Operatoren ist notwendig

Zu berücksichtigen ist, dass dieses Profil für 25% der bisher in diesem Produktionsprozess tätigen Mitarbeiter gilt. Das Beispiel Infineon beschreibt jedoch sehr gut die Tendenz hinsichtlich der Veränderung der Arbeitstätigkeiten unter Industrie 4.0 – CPS/ Vollautomatisierung. Ein weiteres Beispiel liefert der Optoelektronik-Herstellers Sick; hier u.a. der Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur 3D-Bildererkennung (s. **Supplement 3**).

Bei Consumer Products ist die Individualisierung von Produkten ein entscheidender Treiber für eine weitgehende Vollautomatisierung (Beispiel hierfür ist bzw. war die Speedfactory von Adidas, s. **Supplement 4**). Neben vollständig automatisierten Produktionsprozessen finden sich Industrie 4.0 Anwendungen heute vor allem in produktionsnahen Teilprozessen. Eine verbreitete Anwendung sind wegeautonome fahrerlose Transportsysteme (FTS), die mittels Künstlicher Intelligenz (KI) und unterschiedlicher Sensorsysteme, auch der 3D-Bildverarbeitung, die gesamte Intralogistik in der Produktion übernehmen können. Beispiele hierfür finden sich in der Automobilindustrie, z.B. in dem neuen Audi-Werk in Brüssel für E-Modelle, in der Produktion des reinelektrischen Porsche Taycan in Stuttgart-Zuffenhausen oder in dem BMW-Werk Regensburg. Auch in den Werken, die nach der technologischen Strategie (3) „Montage-Assistenzsysteme“ aufgebaut sind, wird die Intralogistik von autonomen FTS übernommen.

#### **Im Fazit zur technologischen Strategie (1):**

Bei einer durchgängigen Digitalisierungsstrategie mittels cyber-physischer Systeme / komplexe Vollautomatisierung entfällt die überwiegende Anzahl von Arbeitstätigkeiten in der Produktion. Gegenüber den bisherigen Montageprozessen verbleiben zwischen 25% und 10% der Produktions-

mitarbeiter als Operatoren mit völlig neuen Aufgaben in der Produktion (Schätzung aufgrund der geschilderten Beispiele). Dies entspricht durchaus den Studien zu negativen Beschäftigungseffekten (ohne Beschäftigungsgewinne), wonach in der industriellen Fertigung 75% der Tätigkeiten von Substituierung betroffen sein können (Dengler & Matthes, 2015, 2018). Die verbleibenden Produktionsmitarbeiter übernehmen Aufgaben in der Initiierung von Prozessen, der Überwachung und ggf. der Störungsbeseitigung, also Tätigkeiten, die einen höheren Verantwortungsumfang und ein ausgeprägtes Prozessverständnis erfordern. Hier handelt es sich um höher qualifizierte Tätigkeiten, die eine intensive, produktionsnahe Weiterbildung und Vorbereitung voraussetzen.

Auch bei einer weitgehenden Vollautomatisierung unter Industrie 4.0 wird es weiterhin, aber in geringer Anzahl, manuelle Montageprozesse geben, die (noch) nicht wirtschaftlich automatisiert werden können. An diesen Tätigkeiten verändert sich zunächst wenig. Unter der technologischen Strategie (3) Montage-Assistenzsysteme mit/ohne Cobots zeichnet sich jedoch ein völlig anders Bild ab. Zunächst jedoch zur technologischen Strategie (2).

### 3.2 Digitale Vernetzung / dezentrale Steuerung (2)

Unter dieser technologischen Strategie ist nicht eine umfassende Automatisierung aller Prozessschritte durch Digitalisierung beabsichtigt sondern eine partielle Automatisierung einzelner Prozessschritte. Die Steuerung einzelner Prozesssegmente liegt bei Operatoren, die den nächsten Produktionsschritt über eine digitale Steuerung auslösen, ihn disponieren und auch optimieren. Für die anderen Mitarbeiter in der Produktion in nicht-automatisierten Montageprozessen ändert sich ihre Tätigkeit nicht wesentlich. Es handelt es sich um eine Industrie 4.0-Anwendung, denn der gesamte Produktionsprozess muss digital abgebildet werden, damit eine dezentrale Steuerung möglich ist. Besonders für mittelständische Unternehmen ist diese Produktionsform attraktiv, denn es ist oft unter vertretbarem Kostenaufwand nicht möglich, einen komplexen Produktionsprozess insgesamt zu automatisieren.

Außerdem ist dieser „große Wurf“ bei einem vorhandenen Maschinenpark oft nicht möglich, da insbesondere ältere Maschinen nicht mit der erforderlichen Mess-Sensorik zur Zustands- und Prozessüberwachung ausgestattet sind. Ein grundsätzliches Problem liegt nach wie vor darin, dass ein geschlossenes cyber-physisches System gemeinsame Protokolle aller involvierten Produktionssegmente und -werkzeuge erfordert. An der „gemeinsamen Sprache“ für Industrie 4.0-Anwendungen wird gegenwärtig noch gearbeitet, ein schwieriges Feld aufgrund der Konkurrenz der Automatisierungsanbieter weltweit. Möglicher Weise könnte sich der OPC UA Standard (Open Platform Communications) für Schnittstellen in der Produktion durchsetzen (von einer Arbeitsgruppe des VDMA entwickelt), mit dem auch Roboter vernetzt werden können (OPC Robotics Companion Specification). Diese Systeme laufen im Hintergrund; Produktionsmitarbeiter müssen sie weder verstehen noch damit umgehen. Daher ergeben sich hieraus keine veränderten Qualifikationsanforderungen.

Zu partieller Automatisierung mit dezentraler Steuerung finden sich vor allem in der mittelständischen Industrie einige Beispiele. Gigaset produziert als einziger Hersteller in Deutschland wieder Smartphones, dies mit dem Einsatz von Robotern bei der Mikromontage (s. **Supplement 5**). Bei dem Schaltschrank-Hersteller Rittal werden Bohren, Fräsen und Gewindeschneiden vollautomatisiert durchgeführt, wodurch die Durchlaufzeit um 30% beschleunigt werden konnte (s. **Supplement 6**). Hinsichtlich einer industriellen Serienfertigung nach der technologischen Strategie (2) finden sich nur

wenige Beispiele. Den Karosseriebau für E-Modelle im BMW-Werk Leipzig könnte man dazu zählen (s. **Supplement 7**).

### **Im Fazit zur technologischen Strategie (2):**

Digitale Vernetzung / dezentrale Steuerung – hier handelt es sich um eine Mensch-Maschine-Interaktion, wenige Operatoren steuern den Gesamtprozess oder überwachen Teilprozesse (Interaktion). Menschliche Arbeitskraft ist in manuelle Montageprozesse teilweise eingebunden, diese interagieren aber nicht mit dem System (zum Unterschied von Interaktion und Kollaboration s. das nächste Kapitel). Für die Operatoren gelten die gleichen hohen Qualifikationsanforderungen wie bei Strategie (1). Für die Mitarbeiter in der nicht-automatisierten Montage ändert sich grundsätzlich wenig. Entweder sie werden in neue Arbeitsprozesse eingelernt oder die Tätigkeiten selbst ändern sich nicht entscheidend. Einfache bzw. repetitive manuelle Tätigkeiten sind nur in einem geringen Umfang vertreten.

### **3.3 Montage-Assistenzsysteme (3)**

Die technologische Strategie (3) scheint für die industrielle Fertigung die Methode der Wahl zu sein, auch wenn sich Unternehmen in ihrer Ausrichtung erheblich unterscheiden. Kernbestandteil dieser technologischen Strategie sind manuelle Montage-Arbeitsplätze mit Montage-Assistenzsystemen, welche in die gesamte Produktionssteuerung integriert sind (U-Form Montageinseln oder verkettete Montage nach dem One-Piece-Flow-Prinzip; vgl. Lotter & Müller, 2018, S. 101). Der Pionier einer modularen Produktion mit Montage-Assistenzsystemen in Europa ist SEW Eurodrive mit seinem Werk in Graben-Neudorf – und dies bereits seit der Umgestaltung der Produktion im Jahr 2013. Getriebe und gewerbliche Elektromotoren werden hier produziert. Die Grundprinzipien der technologischen Strategie lassen sich an diesem Praxisbeispiel gut veranschaulichen (vgl. Soder, 2017; SEW Eurodrive, 2019). Alle Werkstücke sind mit RFID-Chips ausgestattet; fahrerlose Transportsysteme steuern selbständig die nächste freie Montagestation an; der Monteur wird über ein Display für den nächsten Montageschritt angeleitet; Roboter übernehmen als mobile Handling-Assistenten das Positionieren und Weiterleiten schwerer Werkstücke. Anstelle der früheren Montagelinien wurde das Werk komplett umgestaltet in eine modular aufgebaute Fertigung mit manuellen Fertigungsinseln (ausführliche Darstellung in **Supplement 8**).

Treiber dieser Entwicklung war die Beherrschung der Variantenvielfalt bei einer gesicherten Qualität. Außerdem konnte bereits in der ersten Ausbaustufe der neuen Fertigungsstruktur bei SEW Eurodrive ein Produktivitätsgewinn von ca. 20% erzielt werden, ebenso eine deutliche Verkürzung der Lieferzeiten. In dieser Fertigungsstruktur verändern sich die Arbeitsprozesse für alle Produktionsmitarbeiter erheblich. Die Montage erfolgt system-geleitet (über Display gesteuert), um die Qualität zu sichern und Ausschuss zu minimieren. Hierfür ist keine Facharbeiterqualifikation notwendig; man kann von einer Dequalifikation in der Tätigkeit sprechen. Bei einem modularen Montagesystem – im Unterschied zur Fließbandfertigung – gibt der Monteur selbst das Werkstück für den nächsten Produktionsschritt frei. Nur in dieser Hinsicht nimmt die „Autonomie“ des Werkers zu. Außerdem sind die Montageinseln ergonomisch optimiert, was einen unbestreitbaren Vorteil solcher modularer Strukturen darstellt.

Die Beherrschung der Variantenvielfalt aufgrund von kunden-spezifischen Lösungen oder Individualisierung von Produkten ist in der klassischen Linienfertigung immer weniger zu gewährleisten. Dies ist der zentrale Grund für die aktuell starke Positionierung einer modernen Fertigungsstruktur als



modulare, flexible Fabrik – in Abkehr von der starren Linienfertigung (u.a. am Fraunhofer-Institut IPA in Stuttgart, vgl. „ARENA 2036“, Kärcher et al., 2019). Dies gilt auch und gerade als Empfehlung für die Automobilindustrie (vgl. Bauernhansl, 2018, vgl. Tagung „1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilindustrie – Produzieren ohne Band und Takt“, Bauernhansl & Fechter, Fraunhofer IPA, 2019). In einer solchen modular aufgebauten Produktion können manuelle Montageprozesse mit automatisierten Prozessen verbunden werden. Das Postulat eines cyber-physischen Systems mit umfassender Vernetzung aller Produktionssegmente widerspricht dem keineswegs. Im Gegenteil, die durchgängige digitale Steuerung ermöglicht erst einen solchen flexiblen Produktionsprozess. Daher sind alle Assoziationen an die „Inselfertigung“ oder „Boxenfertigung“ der 90iger Jahre in der Automobilindustrie unzutreffend.

Ein weiteres Beispiel für die technologische Strategie (3) bietet der Automatisierungsausrüster B&R in Eggelsberg, Österreich. In der „smarten Fabrik“ werden kollaborative Roboter (Cobots) für Handling-Aufgaben eingesetzt, alle Montage-Arbeitsplätze sind mit einer Pick-by-light Technik ausgestattet (Anzeige der jeweiligen Materialbox durch Lichtsignal). Bezeichnend ist der Hinweis in einer PR-Veröffentlichung des Unternehmens hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen an Produktionsmitarbeiter. „Durch das moderne Arbeitsplatzsystem können die Mitarbeiter nach kurzer Einschulung jeden PC zusammenbauen und das bei bis zu 250 Milliarden unterschiedlicher Konfigurationsmöglichkeiten“ (Schwankner, B&R Kundenmagazin, 2019). Es ist naheliegend, hier von einem Dequalifikationspotenzial in der Tätigkeit zu sprechen, auch wenn das Produkt selbst ein Hightech-Produkt darstellt.

Ebenso fragwürdig sind die euphemistischen Formulierungen wie „Mensch und Maschine arbeiten Hand in Hand“ oder „Kollege Roboter“. Merkmal der technologischen Strategie der Montage-Assistenzsysteme ist die digitale Steuerung aller Prozesse, also sowohl der menschlichen Arbeitskraft als auch des Roboters. Daher sprechen wir hier von Mensch-Maschine-Kollaboration und nicht von Kooperation oder gar von Interaktion und Zusammenarbeit. Denn diese Form von „Zusammenarbeit“ ist grundsätzlich system-geleitet. Mensch und Maschine bzw. Cobot arbeiten nebeneinander, aber keineswegs „zusammen“ – in der Form, dass der Mensch über Entscheidungsspielräume oder eine eigene Verantwortung für den Fertigungsprozess verfügen würde. Es gibt genauso wenige Spielräume für menschliche Arbeitskraft wie bei der traditionellen Linienfertigung – allerdings mit einem wesentlichen Unterschied, die Tätigkeit ist nicht taktgebunden.

Das Dequalifikationspotenzial wird auch deutlich an Beispielen für Montage-Assistenzsysteme mit der Pick-by-light Technik (Lichtanzeige der Box, aus der das nächste Werkstück zu entnehmen ist; z.B. ein System von Bosch Rexroth) oder einem Poka Yoke Arbeitsplatz (Null-Fehler-Montage) von Mitsubishi Electric & Handke Industrietechnik (Automation & Digitalisierung, 2018). Ziel ist ein fehlerfreier manueller Montageprozess. „Guided Operator Solutions“ nennt Mitsubishi diese Technik. Der „Poka Yoke Controller“ von Mitsubishi steuert den Montageprozess. Die kommissionierten Materialbehälter sind mit Klappen versehen, die nur die Entnahme des vorgesehenen Bauteils zulassen. Das nächste Bauteil wird am Display angezeigt, und der Monteur quittiert die Entnahme am Behälter. Der „Poka Yoke Controller“ regelt den Nachschub an Bauteilen. Ein Cobot mit sensibler Schutzhaut führt schwere Werkstücke in die manuelle Montage.

Der beschriebene Poka Yoke Arbeitsplatz stellt sicherlich ein extremes Beispiel für eine Dequalifikation in der Tätigkeit dar. Natürlich sind auch anspruchsvollere Formen von system-geleiteten Assistenzsystemen verfügbar und sinnvoll. Hierunter zählen auch Industrie 4.0 Anwendungen wie

Datenbrillen und Augmented Reality, mittels derer der nächste Montageschritt im Display angezeigt wird. Entscheidend ist, welche Form von Assistenzsystemen ein Unternehmen für welche Arbeitsprozesse zur Anwendung bringt. Werden die Handlungsspielräume von Monteuren massiv eingeschränkt (Neo-Taylorismus) oder ermöglichen Assistenzsysteme eine Entlastung für eigenständige Entscheidungen (Autonomie)? (vgl. Niehaus, 2017). Nur in letzterem Fall kann von einer Zunahme der Qualifikationsanforderungen ausgegangen werden. In der Mehrzahl der Fälle ist bei repetitiven Arbeitstätigkeiten eher die Tendenz zur Dequalifikation in der Tätigkeit zu beobachten. Keineswegs führt Industrie 4.0 daher automatisch zu anspruchsvolleren Arbeitstätigkeiten (entgegen z.B. Lukowski & Neuber-Pohl, 2017).

Eine Relativierung dieser kritischen Beurteilung ist jedoch festzuhalten – die ergonomischen Vorteile solcher Systeme mit dem Einsatz von Cobots sind immens. Das manuelle Heben und Drehen sowie das exakte Positionieren schwerer Werkstücke entfällt. Der gesamte Montage-Arbeitsplatz ist ergonomisch optimiert, sodass Körperneigungen oder die die Wirbelsäule besonders belastenden Drehbewegungen des Oberkörpers entfallen. Außerdem ist ein solches Montagesystem nicht taktgebunden, der Produktionsmitarbeiter gibt selbst das Werkstück für den nächsten Montageschritt frei. Auf der anderen Seite nimmt die Monotonie in der Tätigkeit drastisch zu. Dem begegnen die Produktionsplaner mit der Maßgabe, dass Mitarbeiter die Montagestation täglich wechseln, auch ein Novum gegenüber der klassischen Linienfertigung. So loben manche Unternehmen die „abwechslungsreiche Tätigkeit“ durch den Wechsel der Montage-Stationen bei Montage-Assistenzsystemen (z.B. Schwankner, B&R Kundenmagazin, 2019).

Der Einsatz von kollaborierenden Robotern ist gleichwohl ein Trendthema auf Automatisierungsmessen und in der Robotik. Jüngst wurde bekannt, dass das weltgrößte Cobot-Zentrum in Odense in Dänemark mit einer Investitionssumme von 36 Millionen Dollar errichtet wird (Quelle: konstruktionspraxis.vogel.de, 12.02.2020). Gründer sind die in Europa und in den USA führenden Robotik-Unternehmen Universal Robotics und Mobile Industrial Robots. Bis 2030 wird von einem Marktvolumen von 12 Milliarden Dollar ausgegangen. Jenseits des Hypes um Cobots („Kollege Roboter“) wird ein Nachteil selten erwähnt: Roboter, die neben dem Menschen arbeiten, agieren weit unterhalb ihrer möglichen Effizienz, sprich ihrer Aktionsgeschwindigkeit. Cobots sind in ihrer Beschleunigung begrenzt, da sie rechtzeitig vor einem gefährlichen Berührungskontakt mit einem Menschen verzögern müssen, sie agieren also annähernd genau so langsam wie ein Mensch.

Eine Mischung von vollautomatisierten Produktionsabläufen incl. Robotik und manuellen Montage-Arbeitsplätzen wird auch in der Demonstrationsfabrik „Smart Factory KL“ propagiert. Diese Muster-Produktionsanlage in Kaiserlautern wurde vom Zentrum „Innovative Fabriksysteme“, TU Kaiserslautern, Prof. Ruskowski, gemeinsam mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz entwickelt. Credo ist eine Modularisierung und Entzerrung von Produktionslinien. Auch hier sind notwendiger Weise die manuellen Montage-Arbeitsplätze system-geleitet, anders kann die umfassende Vernetzung nicht gelingen (vgl. Volkmann, Weigand & Ruskowski, 2020).

Zum Thema Robotik und Cobots ist darauf hinzuweisen, dass „Künstliche Intelligenz“ und „Machine Learning“ einen inkrementellen Bestandteil in der Entwicklung der Robotik darstellen. Mittels einer KI-unterstützten 3D-Bildverarbeitung (neben RADAR- und LIDAR-Techniken) optimieren wegeautonome fahrerlose Transportsysteme selbsttätig ihr Routing. Kollaborierende Roboter (Cobots) können „geteacht“ werden, indem ihre Bewegungen zunächst von einem Menschen geführt werden. Die Bewegungsparameter optimiert der Cobot anschließend selbständig mittels KI. In der Bedienung,

z.B. in der Einrichtung auf ein neues Werkstück, spricht man einer „intuitiven Bedienbarkeit“, für die keine Programmierkenntnisse notwendig sind (vgl. Reinhart, Magana Flores & Zwicker, 2018). Die Frage der Qualifizierung für den Umgang mit Cobots in der Produktion stellt sich somit als äußerst relativ dar – Anlernprozesse sind i.d.R. völlig ausreichend.

In Anbetracht der massiven Entwicklungen in der Robotik unter den genannten technologischen Strategien ist es erstaunlich, dass arbeitstätige Menschen diese disruptiven Veränderungen nicht wahrzunehmen scheinen. In einer aktuellen Forsa-Umfrage glauben 65% der Befragten, dass sich ihre Tätigkeit in den nächsten 15 Jahren nicht wesentlich verändern wird. Dies kann man deuten als ein Selbstbewusstsein der eigenen Unverzichtbarkeit oder als eine Abwehrreaktion auf große Veränderungen (Quelle: Süddeutsche Zeitung, sz.de, 27.02.2020). Eine Klärung dieser Effekte sollte weiterhin Gegenstand der sozialpsychologischer Forschung sein. Hierzu wäre es angeraten, keine allgemein-repräsentativen Studien durchzuführen, sondern zielgruppen-definierte Untersuchungsstrategien anzuwenden, also diejenigen Mitarbeitergruppen zu befragen, die nachweislich von Industrie 4.0 Anwendungen betroffen sind.

Die deutsche Automobilindustrie stellt einen Sonderfall dar. Hinsichtlich der Umsetzung von Industrie 4.0 Strategien hat die deutsche Automobilindustrie bei weitem keine Vorreiter-Stellung inne. Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Nach vielen Jahrzehnten der Optimierung der traditionellen Linienfertigung wird kaum ein Bedarf an einer grundsätzlichen und finanziell aufwändigen Umstrukturierung der Produktionsprozesse gesehen.

Die zentrale These lautet: Die eigentliche disruptive Entwicklung in der Automobilindustrie entsteht erst durch Elektromobilität. Diese wird durch Industrie 4.0 Anwendungen verstärkt, da sich das Produktionsumfeld entscheidend verändern wird und E-Modelle um mehr als 40% günstiger produziert werden könnten (vgl. Bergmann, 2020b).

Hierfür ist nicht der Absatz bzw. die mäßige Nachfrage nach E-Modellen in Deutschland maßgeblich sondern der internationale Markt – und dieser wird entscheidend von der Entwicklung in China bestimmt. Die Produktion Elektromodellen ist begleitet von einer stark verminderten Wertschöpfung. Die deutschen Automobil-Hersteller – BMW und Mercedes einerseits – VW, Porsche und Audi andererseits – reagieren darauf sehr unterschiedlich. In diesem Kontext ist es nicht überraschend, dass innerhalb des VW-Konzerns völlig neue Produktionskonzepte für Elektromodelle entstanden sind, so bei VW im Werk Zwickau-Mosel (VW ID.3), bei Audi in seinem Werk in Brüssel (Audi e-tron) sowie bei Porsche in Stuttgart-Zuffenhausen (Porsche Taycan). Die Beschreibung der markt- und produktionstechnischen Zusammenhänge in der Automobilindustrie würde den Rahmen dieser Veröffentlichung sprengen. Die Argumentationslinie mitsamt den produktionstechnischen Beispielen und den Konsequenzen für Qualifizierung ist in **Supplement 10** nachzulesen.

### **Im Fazit zur technologischen Strategie (3):**

Der Nutzen von Montage-Assistenzsystemen und Cobots für stabile Produktionsprozesse ist offensichtlich. Montagefehler, wie der Griff zu einer falschen Schraube, sind so gut wie ausgeschlossen (je nach System). Das fördert eine fehlerfrei Montage, auch bei Losgröße 1. Damit handelt es sich um eine zielführende Strategie, bei steigender Variantenvielfalt die Qualität zu sichern und die Stabilität der Prozesse zu gewährleisten. Andererseits ist die Arbeitstätigkeit des Monteurs unter Industrie 4.0 als eine system-geleiteten Montage von Dequalifikation gekennzeichnet. Für diese einfachen und

repetitiven Tätigkeiten wird keine Facharbeiterqualifikation benötigt. Es handelt sich um Anlern-Tätigkeiten.

Anders ist die Tätigkeit von Operatoren zu bestimmen, die den Produktionsablauf überwachen und steuern. Hier handelt es sich um die bisherigen Produktionsmeister, deren Rolle extrem anspruchsvoll aufgewertet wird. Sie steuern, disponieren und überwachen komplexe Abläufe am Bildschirm und treffen Entscheidungen über den Personaleinsatz. Außerdem müssen sie über Fachkenntnisse und Erfahrung zur Beseitigung kleiner Störungen verfügen. Sie sind i.d.R. die Ansprechpartner der Montage-Mitarbeiter und benötigen entsprechende Führungskompetenz (s. hierzu das Beispiel von SEW Eurodrive in **Supplement 8**). Hinsichtlich der Quantität werden in dieser Funktion ca. 40% weniger Produktionsmeister benötigt als in der traditionellen Fertigung, da ihr Zuständigkeitsumfang deutlich größer ist als in der traditionellen Linienfertigung.

Die Beschäftigungsverluste sind insgesamt moderater als unter der technologischen Strategie (1) oder wurden in den zitierten Beispielen ganz durch eine Steigerung des Produktionsvolumens kompensiert. Sie entsprechen mit ca. 20% bis 30% Produktivitätsgewinn den Effekten von Rationalisierungsmaßnahmen früherer Zeiten, können damit allerdings für einen lokalen Unternehmensstandort trotzdem erheblich ausfallen – sofern der Produktionsumfang nicht ausgeweitet wird. Aufgrund der Vereinfachung der Tätigkeiten ist mittelfristig ein Absinken des Lohnniveaus für Montagetätigkeiten nicht unwahrscheinlich. In welchem Ausmaß gewerkschaftliche Aktivitäten dem entgegen wirken können, wird die Zukunft zeigen. Von einem Facharbeitermangel wird man allerdings in naher Zukunft für Montagetätigkeiten nicht mehr sprechen.

Viele Veröffentlichungen gehen unter den Vorzeichen von Industrie 4.0 von einer Zunahme von Teamarbeit aus und thematisieren demzufolge notwendige personale Kompetenzen (z.B. Teamfähigkeit). Dies ist zweifellos richtig für die Mitarbeiter in Projektgruppen, die die neuen Prozesse konzipieren und umsetzen. Für die Mitarbeiter in der Produktion kann dies nicht bestätigt werden. Die Arbeitstätigkeiten vereinzeln hingegen. Dies gilt grundsätzlich für alle drei genannten technologischen Strategien. Besonders augenfällig wird dies unter der Strategie (3). Mitarbeiter sind überwiegend an Einzelarbeitsplätzen tätig, Kommunikation kann über die Distanz gar nicht stattfinden, und Absprachen untereinander sind nicht erforderlich. Das erledigt die Systemsteuerung. Auch dies kann man als eine disruptive Entwicklung auf der Ebene der menschlichen Zusammenarbeit ansehen, deren soziale Implikationen bislang nicht thematisiert wurden.

#### **4. Additive Fertigung / 3D-Druck**

Unter den an Bedeutung gewinnenden Fertigungstechnologien ist die additive Fertigung bzw. der 3D-Druck zu nennen. Im 3D-Druck werden Kunststoff- oder Metallgranulate „Schicht für Schicht“ aufgetragen und durch einen Druckkopf verschmolzen. Dieser Aufbau eines Werkstücks erfolgt entsprechend den eingegebenen CAD-Konstruktionsdaten, also vollständig digital. Wird 3D-Druck in die industrielle Fertigung integriert, spricht man von additiver Fertigung. Diese Technologie kann u.a. Druckgussverfahren ersetzen, zumindest den Druckguss-Formenbau. Daher verändert der 3D-Druck klassische Produktions- und Arbeitsprozesse in der industriellen Fertigung.

Auch durch eine übertriebene Presseberichterstattung entwickelte sich ein gewisser Hype, dass nahezu alles mittels eines 3D-Druckers hergestellt werden könne: Autos, Häuser, Atemschutzmasken und vieles mehr. Das mag zwar grundsätzlich richtig sein, wirtschaftlich ist es jedoch oft nicht, denn 3D-Druck benötigt system-bedingt vor allem eines: Produktionszeit. In Hinblick auf die industrielle

Fertigung sind jedoch zunächst die Fortschritte dieser Technologie zu vermerken. Während in der Vergangenheit 3D-Druck auf kleinere Kunststoff-Komponenten beschränkt blieb, können heute nahezu alle Materialien mit 3D-Druck verarbeitet werden, einschließlich metallischer Verbindungen bis hin zu Titan. Dies wird u.a. ermöglicht durch Lasersinter- oder Laserschmelz-Verfahren (vgl. Brückner et al., 2020).

Für einige Industriezweige stellt der 3D-Druck eine disruptive Technologie dar, und zwar für die Medizintechnik und für die Luftfahrtindustrie. In der Medizintechnik können hocheffizient individuell angepasste Orthesen, Prothesen oder Implantate gefertigt werden (vgl. Kügler, 2019), ebenso wie z.B. Zahnersatz. Dies verändert die Fertigung in diesen Bereichen der Medizintechnik entscheidend, denn die bisherigen Tätigkeiten von hochqualifizierten Fachkräften werden durch 3D-Druck weitgehend ersetzt. Für die Luftfahrtindustrie bietet der 3D-Druck von metallischen Verbindungen erhebliche Vorteile. Mittels 3D-Druck können komplexe Geometrien mit hoher Festigkeit hergestellt werden (vgl. Brückner et al., 2020; Holländer, 2019). Dies reicht von Bauteilen von Strahltriebwerken über Rotorblätter bis zu Grundstrukturen von Flugzeugsitzen. Der Vorteil liegt in der Gewichtseinsparung bei gleichzeitig hoher Stabilität. Und dies spart über die geringeren Treibstoffkosten viele Millionen Euro pro Flugzeug über dessen gesamten Lebenszyklus ein. Über negative oder positive Beschäftigungseffekte liegen keine Informationen vor. Solche Effekte wären vermutlich überlagert durch aktuelle Veränderungen in der Auftragslage wie z. Zt. bei Airbus.

In allen Industriebereichen hat sich die Technik des 3D-Drucks in der Konstruktion durchgesetzt: Rapid Prototyping. Hier ist die Technologie konkurrenzlos, da sie Konstruktionsprozesse massiv beschleunigt. In der Automobilindustrie können Prototypen zu ca. 40% mittels 3D-Druck hergestellt werden. Natürlich hat dies Auswirkungen auf das Berufsbild des Konstruktionsmechanikers, dessen Tätigkeiten in der traditionellen Konstruktion zu großen Teilen von 3D-Druckern übernommen werden können.

In der industriellen Serienfertigung hat 3D-Druck allerdings einen erheblichen Nachteil, der in der systembedingten Dauer des Druckverfahrens liegt. Die Fertigung von Kleinteilen, insbesondere aus Kunststoffverbindungen, lässt sich durch 3D-Druck gut darstellen. Die Großserienfertigung eines einzigen Karosserieteils würde allerdings mehrere Stunden benötigen. Zudem können keine Bauteile beliebiger Größe erzeugt werden, da der Druckraum begrenzt ist. Außerdem erfordern industrielle 3D-Drucker einen erheblichen Investitionsaufwand. Daher wird sich diese Technologie in der industriellen Produktion in der Fläche - soweit heute absehbar - nicht durchsetzen (vgl. Daum, 2019; Ilg, 2018). Technisch gesehen können allerdings inzwischen auch hochfeste Autoteile wie Bremssättel mittels Metall-Laserschmelzverfahren hergestellt werden (konstruktionspraxis.vogel.de, 03.07.2020).

Bei Kleinteilen, die bisher vorwiegend aus einer Zuliefer-Produktion stammen, oder bei individualisierten Kleinteilen kann sich die Technologie durchaus behaupten (vgl. Babel, 2019). Beispielsweise fertigt VW Schaltknäufe und Spiegelhalterungen für den VW ID.3 mit 3D-Druckern von HP (HP Metal Jet). BMW rüstet u.a. den neuen Mini mit 3D-gedruckten, individualisierten Kunststoff- und Aluminiumteilen aus (Schaltwippen, Zierleisten). In dem Bereich individualisierter Teile oder für Kleinserien-Teile werden durchaus Potenziale gesehen. So eröffnete BMW einen Additive Manufacturing Campus in Oberschleißheim bei München, in dem Tausende von solchen Kleinteilen hergestellt werden. Der Leiter Additive Manufacturing Metall der BMW Group, Maximilian Meixelsperger, benennt die derzeitigen Grenzen dieser Technologie: „Die größte Herausforderung bei der Additiven Fertigung sind noch immer die vergleichsweise hohen Prozess- und Werkstoff-

kosten. Diese resultieren vor allem aus der geringen Anlagenproduktivität in Relation zu konventionellen Fertigungsverfahren bei gleichzeitig hohen Maschinenkosten.“ (Quelle: mission-additive.de, 14.02.2020, in einem Interview).

Ein wichtiges Anwendungsfeld für den 3D-Druck stellt die Ersatzteilversorgung dar. Interieur-Klein- teile z.B. für Busse und bei Bahnen, insbesondere aus Kunststoff, können „on demand“ erzeugt und müssen nicht auf Lager vorgehalten werden. Bei der DB wurden bisher rund 10.000 Ersatzteile mittels 3D-Druck gefertigt.

Soweit 3D-Druck bisherige Techniken wie z.B. Spritzgussverfahren ersetzt, liegen negative Beschäftigungseffekte auf der Hand. Bei dem 3D-Druck selbst spielt die menschliche Arbeitskraft keine Rolle. Im gesamten 3D-Fertigungsprozess allerdings schon. Zum einen muss ein 3D-Druck initialisiert und das spezifische Granulatmaterial bereitgestellt werden. Hierbei handelt es sich um eine höher qualifizierte Operator-Tätigkeit. Der Aufwand für das Postprocessing wird jedoch häufig unterschätzt. Das Werkstück muss von Substratplatte getrennt werden, das Werkstück und der Druckraum müssen von überschüssigem Granulat gereinigt werden. Für die Trennung von der Substratplatte gibt es jedoch auch automatisierte Lösungen, z.B. von Trumpf („Muiltplate“ - Drucker TruPrint 1000). Insbesondere bei metallischem Pulver muss das Material (hohe Materialkosten) recycelt und die Oberflächen des Werkstücks müssen manuell geglättet werden. Die Tätigkeiten des Postprocessing sind eher gering qualifizierte Tätigkeiten, die allerdings von hohen Anforderungen an die Arbeitssicherheit begleitet sind. Freiwerdende Pulverreste und Stäube sind oft lungengängig, hautreizend und teilweise explosiv.

Hinsichtlich der Arbeitsprozesse findet sich bei der Technologie der Additiven Fertigung ein ähnliches Bild wie bei der technologischen Strategie (3): Wenigen höher qualifizierten Tätigkeiten steht eine Mehrzahl an gering qualifizierten Arbeitsprozessen gegenüber.

## **5. Polarisierung in der Qualifikationsstruktur unter Industrie 4.0**

Üblicher Weise wird bei dem Thema Industrie 4.0 davon ausgegangen, dass in der Produktion in der Fläche der Arbeitsprozesse höhere Qualifikationen notwendig sind: mehr Verantwortung, höherer Anteil an analytischen Tätigkeiten sowie hohe digitale Kompetenzen (was auch immer dies sein mag). Als ein Beispiel aus der wissenschaftlichen Literatur in Hinblick auf die Smart Factory: „Die Anforderungen an Mitarbeiter werden insgesamt vielseitiger, interdisziplinärer und anspruchsvoller“ (Stetzka, 2020). Dies ist so nicht zutreffend – in Hinblick auf die genannten Produktionstechnologien.

Die hier entwickelte Systematisierung von Industrie 4.0 stützt hingegen die Polarisierungshypothese. Diese geht davon aus, dass sich Tätigkeiten in der Produktion in zwei Richtungen differenzieren. Auf der einen Seite bildet sich eine Elite von Produktionsmitarbeitern, die auf der dispositiven Ebene tätig sind (Planung, Steuerung und Überwachung von Produktionsprozessen; also Produktionsingenieure, Produktionsmeister und Operatoren, speziell ausgebildete Facharbeiter). Auf der anderen Seite sind Produktionstätigkeiten von Dequalifikation bedroht, insbesondere bei Montage-Assistenzsystemen unter Strategie (3).

In der arbeits- und industriesoziologischen Forschung spricht man von „Einfacharbeit“, wenn es sich um repetitive Tätigkeiten mit eingeschränkten Handlungsmöglichkeiten handelt (vgl. Hirsch-Kreinsen, 2016, 2017; Hirsch-Kreinsen, Ittermann & Niehaus, 2018). Diese Kategorie passt sehr gut als Beschreibung von Arbeitstätigkeiten bei Montage-Assistenzsystemen. Die Polarisierungshypothese

ist keinesfalls ein neuer Ansatz im Zuge von Digitalisierung. Bereits in den 60iger Jahren führten Horst Kern und Michael Schuhmann industriesoziologische Untersuchungen durch, die in der Formulierung der Hypothese der Qualifikationspolarisierung mündeten (vgl. Kern & Schumann, 1970, 1984). Bei der Polarisierung in der Qualifikationsstruktur handelt es sich also nicht um einen disruptiven Prozess, sondern Polarisierung fand in der Industrie durch mehrere Rationalisierungsphasen hindurch statt. Allerdings nicht immer in der Vergangenheit.

In den 90iger Jahren dominierte in großen Industrieunternehmen, vor allem auch bei den Automobilunternehmen, eine andere Produktionsphilosophie, die der „teilautonomen Gruppen in der Produktion“. Hier ging es explizit um eine höhere Verantwortung und um eine Selbststeuerung von Gruppenarbeit (vgl. Bergmann & Ernst, 1996; Jöns, 2008). Ende der 90iger Jahre wurde diese von vielen als revolutionär empfunden Produktionsphilosophie (vgl. Sattelberger, 2015) abgelöst durch eine „geführte Gruppenarbeit“, wobei alte hierarchische Strukturen erneut etabliert wurden (vgl. Springer, 1999).

In der aktuellen industriesoziologischen Forschung in Produktionsunternehmen finden sich nur wenige Belege dafür, dass Digitalisierung zu einer weitergehenden Polarisierung führt. Dies verwundert nicht, wenn die Untersuchungen in willkürlich ausgewählten Unternehmen stattfinden, in denen keinerlei oder nur wenige Umsetzungen von Industrie 4.0 zu beobachten sind. In einer BIBB-Studie von 2016 (alle Berufsgruppen umfassend) konnten die Autoren keine Belege für die Polarisierungshypothese berichten (Helmrich et al. 2016); verständlich, denn damals wie heute sind großflächige Industrie 4.0 Anwendungen rar. In einer umfangreichen Metastudie kommen Staab & Prediger (2019) hinsichtlich der Entwicklung im industriellen Sektor zu dem Resultat, dass empirische Studien zu industriellen Arbeitsprozessen eher auf Abwertungs- und Polarisierungsbewegungen hindeuten (Staab & Prediger, 2019, Zusammenfassung der Metastudie, S.3). Dies entspricht auch den Ergebnissen einiger anderer Studien zu Beschäftigungseffekten (die ZEW-Studie, Arntz et al., 2018).

Mit Blick auf die drei genannten technologischen Strategien der Digitalisierung der Produktion spricht vieles für die Polarisierungshypothese. Insbesondere die Strategie (3) Montage-Assistenzsysteme legt eine Dequalifikation in der Tätigkeit für die Mehrzahl der Produktionsmitarbeiter nahe. Bei den Strategien (1) Tendenz zur Voll- oder Teilautomatisierung sowie Strategie (2) Digitale Vernetzung / dezentrale Steuerung ergeben sich starke Polarisierungseffekte. Es entfallen die meisten repetitiven Montagetätigkeiten gänzlich – zugunsten von wenigen, höher qualifizierten Operator-Tätigkeiten. Hinsichtlich der Additiven Fertigung verhält es sich ähnlich wie unter Strategie (3).

## **6. Qualifizierung in der Produktion unter Industrie 4.0**

Seit von Digitalisierung der Rede ist, geht ein Schlagwort um: Qualifizieren, Qualifizieren, Qualifizieren! So einfach das klingen mag, so schwierig ist die Bestimmung des Nutzens und der Inhalte. In diesem Beitrag wird nur die betriebliche Ebene adressiert, also die Aufgabe der Personalentwicklung in Unternehmen. Grundsätzlich ist dabei festzuhalten: Unternehmen werden nicht diejenigen Mitarbeiter qualifizieren, die sich nicht mehr benötigen. Das würde betriebswirtschaftlich keinen Sinn machen. Und dabei kann es sich mittelfristig um eine große Anzahl von Produktionsmitarbeitern handeln.

Allerdings: Wenn im Zuge von Standortschließungen oder Massenentlassungen Transfer- bzw. Qualifizierungsgesellschaften gegründet werden, so erstreckt sich die Verantwortung der Unternehmen auch auf eine Gestaltung dieser Maßnahmen. Unterstützt werden sie dabei i.d.R. von den

Arbeitsagenturen. Solche Initiativen wurden bereits im Herbst 2019 begonnen, als in vielen Unternehmen der KFZ-Zulieferbranche Kurzarbeit eingeführt wurde. Kurzarbeit wurde teilweise mit Qualifizierungsmaßnahmen verbunden, so z.B. bei Continental, allerdings in einem bescheidenen Umfang.

Soweit Mitarbeiter in der Produktion von einer Dequalifikation in ihrer Tätigkeiten betroffen sind, etwa bei system-geleiteten Montageprozessen nach der technologischen Strategie (3), werden Unternehmen kaum große Anstrengungen unternehmen, um diese Mitarbeiter höher zu qualifizieren. Anlern-Prozesse können als ausreichend angesehen werden, damit die Mitarbeiter ihre vereinfachten Aufgaben in der Produktion erfüllen können (vgl. Abel, 2018, hier als 3. Szenario benannt). Dies stellt keine besonders positive Botschaft in Richtung von Gewerkschaften, Betriebsräten oder Verbänden dar. Es soll aber deutlich werden, dass „Qualifizieren“ keinesfalls ein Allheilmittel in Hinblick auf die Konsequenzen einer „Arbeitswelt 4.0“ darstellt – ein Aspekt, der in den meisten Veröffentlichungen zu diesem Thema vernachlässigt wird.

Allerdings: Das bedeutet nicht, dass man seitens der Personalentwicklung für diese Mitarbeitergruppe nichts tun müsse oder sollte. Auch Anlern-tätigkeiten kann man mit Sinn und Verstand füllen, also „anreichern“. Dies ist ein nicht unwesentlicher Aspekt von Mitarbeiterzufriedenheit. Weiterhin: Montagefehler treten seltener auf, wenn Mitarbeiter die vor- und nachgelagerten Prozesse kennen. Außerdem können sie bei einer Basisqualifikation in der Lage sein, kleine Fehler an Werkzeugen selbst zu beheben oder Verschleißteile selbst auszuwechseln, ohne die Instandhaltung aktivieren zu müssen. Auch die beste, systemgesteuerte vorausschauende Instandhaltung wird nicht alle Fehler- oder Verschleißquellen erkennen können. Eine Basisqualifizierung mit Augenmaß hinsichtlich des Aufwands ist also weiterhin gefordert.

Hier ist es hilfreich, sich an Projekte und Verfahrensweisen in der gewerblich-technischen Berufsausbildung der Vergangenheit zu erinnern. Bereits in den 80iger Jahren kam die innovative Idee der technischen Lerninsel auf. Das Problem war damals (und ist es mancherorts heute immer noch), dass sich die technische Ausbildung auf isolierte Fähigkeiten und Fertigkeiten (Drehen, Fräsen etc.) konzentrierte, die in Ausbildungswerkstätten erlernt wurden. Mit realen Arbeitsprozessen in der Produktion hatte dies wenig zu tun. Die Lösung stellte eine sogenannte Lerninsel dar, bei der ein Teil der Produktionslinie neben der üblichen Produktionslinie separat abgebildet wurde. Hier lernten die Auszubildenden takt-ungebunden einen realen Produktionsablauf kennen und arbeiteten nach denselben Prozessen wie in der takt-gebundenen Produktion (vgl. u.a. Dietl, 2007). Das Problem bei den damaligen Lerninseln war, dass eine separate Ausbildungs-Produktionslinie nur kostenaufwändig einzurichten war, denn die entsprechenden Maschinen mussten dupliziert werden, waren aber deutlich weniger im produktiven Einsatz. So konnten oder wollten sich nur einige große Industrieunternehmen solche Lerninseln leisten.

Bei einer flexiblen, modularen Produktion mit Montageinseln ist die Lösung naheliegend. Einzelne Montageinseln können für kürzere Zeiträume aus der Systemsteuerung herausgenommen werden, was bei Störungen oder Wartungsarbeiten ohnehin geschieht. Diese Montageinseln können dann für ausführlichere Instruktionen, am besten durch technische Ausbilder, genutzt werden, bei denen man sich nicht auf eine reine Einweisung beschränken muss. Sukzessiv und auslastungsabhängig können unterschiedliche Montageinseln für eine solche Basisqualifikation genutzt werden, ohne dass dies zu Unterbrechungen des Produktionsablaufs führt. Was darüber hinaus noch getan werden kann, um den Gesamtblick auf die Produktion und die Produkte zu erhöhen, kann die technische Ausbildung



vor Ort konzeptionell entscheiden. Dies stellt nur einen eingeschränkten Ansatz von Qualifizierung dar, der andererseits aber nur geringe Kosten durch unproduktive Zeiten verursacht. Es gilt also, die Chancen zu identifizieren, die sich aus einem modernen Produktions-Layout unter Industrie 4.0 für eine Anreicherung von Einfacharbeit ergeben.

Von zentraler Bedeutung für den Erfolg von Industrie 4.0 Anwendungen ist die Gruppe der höher qualifizierten Produktionsmitarbeiter. Der Polarisierungshypothese entsprechend werden unter Industrie 4.0 Produktionsmitarbeiter für höherwertige Aufgaben benötigt, die auf der dispositiven Ebene tätig sind (Planung, Steuerung und Überwachung von Produktionsprozessen – Produktionsingenieure, Produktionsmeister, speziell ausgebildete Facharbeiter und Operatoren). Quantitativ dürfte es sich – grob geschätzt – um 10% bis 25% der bisher in der Produktion tätigen Personen handeln – wenn eine neue Produktionsstruktur flächendeckend in einem Werk eingeführt wird und sofern das Produktionsvolumen konstant bleibt.

Diese Positionen angemessen zu besetzen, dürfte eine Herausforderung für das Personalmanagement darstellen, denn diese Funktionen sind entscheidend für den Produktionsanlauf und den reibungslosen Produktionsablauf unter Industrie 4.0. Wir sprechen im Folgenden nicht von den höher qualifizierten Mitarbeitern in Projektgruppen, die die Umsetzung von Industrie 4.0 planen und ausgestalten, von Automatisierungs- und IT-Experten sowie von Führungsfunktionen außerhalb der unmittelbaren Produktion – diese Funktionen werden in diesem Beitrag nicht behandelt (vgl. hierzu Gairing, 2020, zu „Transformationskompetenz“).

Von dem klassischen Kompetenzmodell abgeleitet entwickelt Stetzka (2020) Überlegungen für die benötigten Kompetenzen in Hinblick auf die Smart Factory. Diese Vorschläge sind für Führungskräfte und Projektleiter gewiss zutreffend, für die Breite der Produktionsmitarbeiter jedoch weniger geeignet. Ein umfassendes Kompetenzmodell zur Ableitung von Kompetenzanforderungen unter Industrie 4.0 wurde von Tropschuh, Vermin & Reinhart (2019) vorgelegt. Für die in der Studie angesprochene Zielgruppe (manuelle Montage/Digitalisierung) erscheint das Modell stark überdifferenziert für eine Anwendung in der Praxis. Nach Ansicht des Verfassers helfen allgemeine Kompetenzmanagement-Systeme (z.B. nach Erpenbeck & Sauter, 2018) aus mehreren Gründen nicht weiter.

- Die erforderlichen fachlichen Kompetenzen sind von den drei genannten technologischen Strategien abhängig.
- Darüber hinaus sind die fachlichen Kompetenzen hochspezifisch bis sogar anlagenspezifisch. Qualifizierungsmaßnahmen finden daher meist nur begleitend zur Einführung neuer digitaler Technologien statt und werden häufig von den Anlagenherstellern durchgeführt.
- Schlussendlich sind die Arbeitsprozesse unter Industrie 4.0 in einem jeweiligen Unternehmen noch gar nicht bekannt, sodass konkrete Inhalte für eine Qualifizierung nicht abgeleitet werden können (vgl. Abel, 2018).
- Die Notwendigkeit von überfachlichen sozialen Kompetenzen ist tätigkeitsspezifisch zu differenzieren. Die Tätigkeit eines Monteurs oder eines Operators z.B. erfordert keine Teamfähigkeit, soweit die Arbeitsprozesse isoliert erfolgen und auch keinerlei Absprachen erforderlich sind. Mitarbeiter kommen lediglich in den Pausenzeiten zusammen.

- Eine allgemeine Kompetenz unter Industrie 4.0 könnte man als „IT-Affinität“ bezeichnen, aber dies führt auch nicht entscheidend weiter.

Grundsätzlich, auch unabhängig von Industrie 4.0 und Digitalisierung, sind unternehmensumfassende und auf das Individuum bezogene Kompetenzmodelle, wie sie vor zehn Jahren modern waren, obsolet geworden. Sie sind unnötig komplex, weil sie für alle Mitarbeiter in einem Unternehmen entwickelt wurden. Sie bilden die strategische Ausrichtung von Unternehmen nicht wirklich ab und sind nicht handlungsleitend für die Personalentwicklung. Es wurden unendlich viele „Lücken“ in den Kompetenzprofilen einzelner Mitarbeiter identifiziert, deren Bearbeitung Jahre an Weiterbildung und Training erfordert hätte (vgl. Bergmann, 2012, 2013). Daher sind in vielen großen Unternehmen Kompetenzmodelle zwar offiziell noch in Kraft, werden aber in der Praxis kaum noch weiter verfolgt. Als Alternative zu individuellen Kompetenzprofilen bietet es sich an, erforderliche Kompetenzen für „Job Families“ identifizieren. Hierunter versteht man Funktionsgruppen von gleichartigen Tätigkeiten mit ähnlichen Qualifikationsanforderungen (vgl. Bergmann, 2012). Den Ausgangspunkt bilden also Grundfunktionen von Tätigkeiten, nicht Individuen.

Dieser Ansatz hilft auch bei der Bestimmung von Qualifizierungsnotwendigkeiten unter Industrie 4.0 weiter, vorausgesetzt die Technologien sind grundsätzlich bekannt. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Funktion „operative Instandhaltung“ oder „Predictive Maintenance“. In dieser produktionsnahen Funktionsgruppe oder Job Family hat sich das Tätigkeitsprofil bereits heute absehbar unter Industrie 4.0 fundamental verändert. Handwerkliche, manuelle Arbeiten an Maschinen machen nur noch rund ein Drittel der Arbeitstätigkeiten aus. Moderne Produktionsanlagen werden inzwischen serienmäßig mit einem „digitalen Zwilling“ an Kunden ausgeliefert (z.B. bei SEW Eurodrive oder bei Trumpf).

Dieser digitale Zwilling wird in den gesamten Produktionsprozess oder Teilprozess virtuell integriert. Sensoren übermitteln alle status- und prozessrelevanten Informationen, sodass Verschleißteile vorausschauend identifiziert und Störungsquellen in Echtzeit erkannt werden können. Der Instandhalter kann am Bildschirm den Ort und den Grund der Störung identifizieren und die Störungsbehebung digital simulieren, bevor er eine manuelle Reparaturmaßnahme ergreift. Der „digitale Zwilling“ verändert im Übrigen auch bei den Maschinen- und Anlagenherstellern etliche Arbeitsprozesse entscheidend. Bereits in der Konstruktion erfolgt die kundenspezifische Konfiguration anhand des digitalen Zwillings und die Servicetechniker des Anlagenherstellers können per Ferndiagnose die Instandhaltung vor Ort im Unternehmen unterstützen (so z.B. beim Anlagenhersteller Trumpf; vgl. das Projekt „Fit for Service“, Duffke, 2017). Abgesehen von der technischen Seite wurde in dem Projekt „Fit for Service“ ein anspruchsvolles Kompetenzmodell für die Job Family „Service-techniker“ entwickelt, einschließlich der entsprechenden Weiterbildung der Mitarbeiter in dieser Funktion.

In Hinblick auf Ausbildungsberufe hat das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) die Tätigkeitsfelder der operativen Instandhaltung detailliert untersucht (BIBB-VW-Projekt; vgl. Feirer et al., 2016; Katzer, Kreher & Zinka, 2017). Die Autoren stellen fest, dass das Tätigkeitsprofil „operative Instandhaltung“ keinem bisherigen Ausbildungsberuf entspricht, so fehlen in fachlicher Hinsicht u.a. die Themen Netzwerktechnik, Roboter-Handling oder Bussysteme und in Hinblick auf das notwendige Systemverständnis, Fähigkeiten zur Fehlerdiagnose und zur Problemlösekompetenz. Hingegen werden in der Mechatroniker-Ausbildung viele handwerklich-technische Fertigkeiten vermittelt, die nicht mehr benötigt werden.

Interessant ist auch, dass sich die Autoren für einen Wandel in der Ausbildungsdidaktik aussprechen, vom induktiven hin zu einem deduktiven Vorgehen, ausgehend vom Gesamtsystem zu Systemlösungen zum Detail, nicht umgekehrt wie bisher üblich. Grundsätzlich empfiehlt sich ein Blick in aktuellen Arbeiten des Bundesinstituts für Berufsbildung, die sich mit den Ergänzungen für Ausbildungsberufe in Hinblick auf Digitalisierung beschäftigen. Hieraus lassen sich auch Konsequenzen für die Inhalte von Weiterbildung in einzelnen Berufsgruppen ableiten. Ein Beispiel ist die Aktualisierung und Ergänzung des Ausbildungsberufs Mechatroniker/in um eine „neue integrative Berufsbildposition“ incl. digitaler Zusatzqualifikationen (BIBB, 2018; Becker, Spöttl & Windelband, 2017). Eine neue Studie des BIBB „Nachhaltigkeit und Digitalisierung in der beruflichen Bildung“ ist mit einer Laufzeit bis Ende 2020 in Bearbeitung.

Hinsichtlich der Vorgehensweise ist das BIBB-VW-Projekt beispielhaft, denn es zeigt den Nutzen, sich bei neuen Arbeitsprozessen unter Industrie 4.0 an Job Families zu orientieren (ebenso das Projekt Servicetechniker bei Trumpf oder die Operatoren-Qualifizierung bei Infineon). Auch hinsichtlich des Forschungsansatzes sind diese Projekte vorbildlich. Nur eine konkrete Analyse von bestimmaren Arbeitsprozessen unter Industrie 4.0 ermöglicht ein aussagefähiges empirisches Design (Was genau wird untersucht?) und damit konkrete Hilfsstellungen für die Praxis.

Grundsätzlich macht es Sinn, sich von traditionellen Vorstellungen der Weiterbildung in Seminaren bzw. von Lehrinhalten zu lösen. Dies ist aufgrund der Unbestimmtheit oder Unbestimmbarkeit von „Lehrinhalten“ in Zeiten der Digitalisierung nicht angemessen. Gerade auf der betrieblichen Ebene der Personalentwicklung besteht die Chance für alternative Möglichkeiten, auch ohne ausufernde Kompetenzmodelle.

Für die betriebliche Berufsausbildung muss man allerdings anders vorgehen, denn die Auszubildenden zählen ja noch nicht zu einer bestimmten Job Family. Andererseits sind die neuen Produktionstechnologien oft noch nicht in der Realität umgesetzt, sodass anhand der Praxis nicht gelernt werden kann. Die Ausbildungsinhalte sind also allgemeiner zu bestimmen. Ein Beispiel: Der Automobilzulieferer Schaeffler eröffnete Anfang 2020 ein neues, 4000 m<sup>2</sup> großes Ausbildungszentrum in Schweinfurt unter dem Namen „Denkwelt“. Ein Innovationszentrum ist umgeben von elf Technologie-Cubes, darunter Praxis-Ausbildungsstationen für Robotik, CNC-Technik, additive Fertigung mit 3D-Druckern und Augmented Reality. Dieses Ausbildungszentrum soll auch für die Weiterbildung von Mitarbeitern genutzt werden. Die Zertifizierung von Ausbildungsinhalten dient dazu, von der Arbeitsagentur geförderte Maßnahmen der Weiterbildung anbieten zu können (vgl. Schaeffler AG, Pressemitteilung, 23.01.2020).

Ein weiterer Ansatzpunkt für eine nicht-unternehmensspezifische Aus- und Weiterbildung für Industrie 4.0 ist die Lerninsel von Festo Didactic. Diese physische Lerninsel ist in verschiedenen Konfigurationen lieferbar und bildet einen automatisierten Produktionsablauf ab – in einem dezentral gesteuerten intelligenten Netzwerk (Cyber-Physische Fabrik, CP Factory). Integriert sind in die Lerninsel u.a. moderne Sensortechnik sowie ein programmierbarer Cobot mit KI-Unterstützung. Viele Prozessabläufe können mit dieser Lerninsel realisiert und aktiv erlernt werden. Die Lerninseln von Festo Didactic werden in vielen großen Unternehmen und von überbetrieblichen Ausbildungsstätten genutzt (<https://www.festo-didactic.com/de>).

Für die Gewinnung des Personals für Leitungs- und Steuerungsfunktionen innerhalb der Produktion ist noch eine andere Vorgehensweise denkbar. Aus den Produktionsmitarbeitern und bisherigen Produktionsmeistern wird dieser eng umschriebene Personenkreis rekrutiert. Diese Mitarbeiter

werden in die ohnehin existierenden Projektgruppen integriert. Sie bauen Kompetenzen auf durch die Mitarbeit in der Projektgruppe, durch den gemeinsamen Besuch von Automatisierungsmessen, Fachkonferenzen, ggf. Werksbesichtigungen in anderen Unternehmen etc. Der Nutzen dieser Vorgehensweise besteht primär darin, dass bei Industrie 4.0 nur mit Anpassungen an die betrieblichen Prozesse eine hohe Funktionalität erreicht werden kann. Hierfür ist die Expertise von erfahrenen Produktionsmitarbeitern notwendig, nicht nur von Automatisierungsexperten. Diese Vorgehensweise ist realitätsnah, denn der ohnehin beteiligte Personenkreis in Projektgruppen wird lediglich erweitert bzw. die Anzahl der Projektgruppen wird erhöht. Für die involvierten Mitarbeiter bedeutet dies, dass sie mindestens teilweise von ihren betrieblichen Funktionen freigestellt werden müssen. Der weitere Nutzen besteht darin, dass Mitarbeiter z.B. auf ihre Rolle als Produktionsmeister bei der digitalen Steuerung von Produktionsprozessen oder als Operatoren optimal vorbereitet sind und diese Funktionen bei der finalen Umsetzung der Automatisierungsstrategie zeitnah übernehmen können. Nachgelagerte Qualifizierungsmaßnahmen entfallen weitgehend.

Für die völlig neuen Arbeitsprozesse unter Industrie 4.0 sind nicht die Erfahrungen „aller“ im Sinne der Philosophie der Organisationsentwicklung notwendig. Eher kann man in der Fläche der Produktion von einer Entwertung von Erfahrung durch Systemsteuerung sprechen, denn Industrie 4.0 ist in Entwicklung und Umsetzung grundsätzlich von der Technologie getrieben. Die frühzeitige Einbindung von Mitarbeitern in den Transformationsprozess bleibt notwendig, aber nur von einigen wenigen. Dies kann durchaus kritisch bewertet werden.

Somit stellt sich der Bereich der Qualifizierung unter Industrie 4.0 weithin als schwierig dar:

- Allgemeine Inhalte einer Qualifizierung für Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 sind schwer bestimmbar.
- Betriebsspezifische Inhalte einer Qualifizierung sind ebenso kaum bestimmbar, wenn die jeweilige Digitalisierungsstrategie nicht bekannt ist.
- Wenn die unternehmensspezifischen Automatisierungsstrategien sich zumindest abzeichnen, ist ein analytischer Ansatz auf der Ebene von Job Families (Funktionsgruppen von Mitarbeitern) möglich und unter Einbezug der geplanten technologischen Strategien sinnvoll.
- Für Produktionsmitarbeiter in der manuellen Montage mit Montage-Assistenzsystemen ist eine Anreicherung von Anlernphasen mittels einer Lerninsel-Konzeption gerade unter den Bedingungen einer modularen Fertigung sinnvoll und mit vertretbarem Aufwand zu realisieren.
- Die Identifikation und Vorbereitung von Mitarbeitern für höherwertige, dispositive Aufgaben in der Produktion bleibt eine Herausforderung, die über den Erfolg einer Automatisierungsstrategie in der Umsetzung entscheidet. Für diese quantitativ kleinere Gruppe von Mitarbeitern ist eine Einbindung in Projektgruppen möglich.
- Entsprechend der Polarisierungshypothese wird diese Gruppe nur einen geringen Anteil der bisher in der Produktion tätigen Facharbeiter umfassen.

Diese betriebliche Sicht auf die Einführung von Industrie 4.0 Anwendungen ersetzt nicht eine gesellschaftspolitische Perspektive. Wie kann eine Transformation von großen Teilen der Workforce zu anderen Arbeitstätigkeiten in einer digitalisierten Welt oder in andere Berufsfelder, wie z.B. dem

Gesundheitswesen, gelingen? Eine grundsätzliche gesellschaftspolitische Diskussion über die Perspektiven der Arbeit wird kommen, auch wenn der unmittelbare politische Handlungsdruck noch auf sich warten lässt.

## Literaturverzeichnis

- Abel, J. (2018). Kompetenzentwicklungsbedarf für die digitalisierte Arbeitswelt. In H. Hirsch-Kreinsen & A. Karacic (Hrsg.), *FGW-Studie Digitalisierung von Arbeit, Band 09*. Düsseldorf: Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung (FGW)
- Andelfinger, V.P. & Hänisch, T. (Hrsg.) (2017). *Industrie 4.0 – Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*. Berlin/Heidelberg: Springer
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2018): *Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen*. Mannheim: ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung
- Automation & Digitalisierung (2018) (ohne Verfasser). *Poka Yoke Arbeitsplatz der manuellen Montage von Mitsubishi Electric und Handke Industrie-Technik*. *Automation & Digitalisierung*, 6/2018, S. 13
- Babel, N. (2019). *Wo steht die additive Serienproduktion?* In: *mission-additive.de* (Vogel Communications Group), 05.08.2019; URL: <https://www.mission-additive.de/wo-steht-die-additive-serienproduktion-a-853000/>
- Bauernhansl, T. (2016). *Industrie 4.0: Entwicklungsfelder für den Mittelstand. Aktuelle Hemmnisse und konkrete Bedarfe*. Stuttgart: Fraunhofer IPA
- Bauernhansl, T. (2017). *Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0. Band 4*. (S. 235 – 246). Berlin: Springer
- Bauernhansl, T. (2018). *Automobilindustrie 4.0 – personalisiert und smart*. Vortrag bei 4. Automotive Photonics in Ditzingen, Februar 2018
- Bauernhansl, T. & Fechter, M. (2019). *Wandlungsfähige Automobilproduktion der Zukunft*. In Fraunhofer IPA (Hrsg.), *1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band* (S. 8). Stuttgart: Fraunhofer IPA
- Becker, M., Spöttl, G. & Windelband, L. (2017). *Berufsprofile für Industrie 4.0 weiterentwickeln. BWP - Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, Heft 2/2017, 14-18* (zum Ausbildungsprofil Mechatroniker)
- Bergmann, G. (2012). *Strategisches Kompetenzmanagement – und wo bleibt die Strategie?* In: Reinhardt, R. (Hrsg.), *Wirtschaftspsychologie und Organisationserfolg* (S. 81-88). Lengerich: Pabst
- Bergmann, G. (2013). *Strategisches Kompetenzmanagement – für eine schlanke Umsetzung in mittelständischen Unternehmen*. In: Hochschule Pforzheim (Hrsg.), *50 Jahre – 50 Thesen. Band 5* (S. 25 – 30). Pforzheim: Hochschule Pforzheim
- Bergmann, G. (2016). *Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Beschäftigung und Qualifizierung*. *HR Performance* 6/2016, 60 – 61
- Bergmann, G. (2020a). *Industrie 4.0 – Arbeitswelt 4.0: Konsequenzen für Arbeitsprozesse und Qualifizierung in der industriellen Produktion*. In A. Haubrock (Hrsg.), *Digitalisierung – das HR-Management der Zukunft* (S. 11 – 54). Stuttgart: Kohlhammer

Bergmann, G. (2020b - in Vorb.). Die prekäre Situation der Automobilindustrie – Industrie 4.0, Automatisierung, Elektromobilität und rückläufige Wertschöpfung. Vorabdruck beim Verfasser erhältlich

Bergmann, G. & Ernst, F. (1996). Evaluation von Gruppenarbeit. Personalführung, 09/96, 760-764

BIBB (2018). Industrielle Elektroberufe: Mechatroniker/Mechatronikerin. Bonn: BIBB. PDF: <https://www.bibb.de/de/84066.php>

Brückner, F., Leyens, C., Lopez, E. & Wilsnack, C. (2020). Qualitätssicherung in der additiven Fertigung. In M. Steven & J. N. Dörseln (Hrsg.), Smart Factory. Einsatzfaktoren – Technologie – Produkte (S. 142 – 165). Stuttgart: Kohlhammer

Daum, T. (2019). Missing Link: Der 3D-Drucker, oder: die industrielle Revolution, die nicht stattfand. In: heise online, 07/2019, 28.07.2019; URL: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Missing-Link-Der-3D-Drucker-oder-die-industrielle-Revolution-die-nicht-stattfand-4480733.html>

Dengler, K. & Matthes, B. (2015). Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. In: IAB-Forschungsbericht 11/2015. Nürnberg: IAB. URL: <https://www.iab.de/de/publikationen/forschungsbericht/publikationendetails-forschungsbericht.aspx/Publikation/k151209302>

Dengler, K. & Matthes, B. (2018). Substituierbarkeitspotenziale von Berufen. Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. In: IAB-Kurzbericht 4/2018. Nürnberg: IAB. URL: <https://www.iab.de/de/publikationen/kurzbericht/publikationendetails-kurzbericht.aspx/Publikation/k180213301>

Dietl, S. (Hrsg.) (2007). Ausbildung erleben. Reihe Personalwirtschaft. Köln: Luchterhand

Duffke, G. (2017). "Fit for Service" - Lebensphasenorientiertes und kompetenzbasiertes Laufbahnkonzept für Servicetechniker. Vortrag 12. IG Metall Fachtagung für Personal in der beruflichen Bildung in Berlin, 30. + 31.05.2017. URL: [https://wap.igmetall.de/docs\\_Forum\\_7\\_TRUMPF\\_2f81e17cd2f1b499f3eb361e80e88c0074c4e3e8.pdf](https://wap.igmetall.de/docs_Forum_7_TRUMPF_2f81e17cd2f1b499f3eb361e80e88c0074c4e3e8.pdf)

Efker, B. (2019). Digitalization of production & assets in specialty chemicals (Lanxess). Vortrag beim Smart Process Manufacturing Kongress, 24.09.2019, in Würzburg, Vogel Convention Center

Erpenbeck, J. & Sauter, W. (2018). Betriebliche Bildung in mittelständischen Unternehmen. Ein Geschäftsmodell im Zeitalter der Digitalisierung. In V. Heyse, J. Erpenbeck, S. Ortmann, S. Coester und V. Heyse (Hrsg.), Mittelstand 4.0 - eine digitale Herausforderung. Führung und Kompetenzentwicklung im Spannungsfeld des digitalen Wandels (pp. 110 – 134). Münster / New York: Waxmann

Feirer, S., Renger, P., Padur, T. & Zinke, G. (2016). Operative Instandhaltung. Arbeitspapier aus dem BIBB-VW-Projekt, Bonn/Wolfsburg, November 2016. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung

Fraunhofer IPA - Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (2014). Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“. Stuttgart: Fraunhofer IPA. URL: [https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien\\_Downloads/Innovation/IPA\\_Strukturstudie\\_Industrie\\_4.0\\_BW.pdf](https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Innovation/IPA_Strukturstudie_Industrie_4.0_BW.pdf)

Gairing, F. (2020). Transformationskompetenz – Welche Fähigkeiten brauchen Menschen und Organisationen zur erfolgreichen Gestaltung der digitalen Transformation und wie können diese gefördert werden? In A. Haubrock (Hrsg.), Digitalisierung – das HR-Management der Zukunft (S. 166 – 212). Stuttgart: Kohlhammer

Gerdenitsch, C. & Korunka, C. (2019). Digitale Transformation der Arbeitswelt. Psychologische Erkenntnisse zur Gestaltung von aktuellen und zukünftigen Arbeitswelten. Berlin: Springer

- Heinrich, H. (2018). Der lange Weg von der Standardisierung zur Automatisierung in einer modernen Halbleiterfabrik, Vortrag 12.09.2018, Dresden: Infineon Technologies AG
- Helmrich, R., Tiemann, M., Troltsch, K., Lukowski, F., Neuber-Pohl, C., Lewalder, A.C., Güntürk-Kuhl, B. (2016). Digitalisierung der Arbeitslandschaften. Keine Polarisierung der Arbeitswelt, aber beschleunigter Strukturwandel und Arbeitsplatzwechsel. In Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.): Wissenschaftliche Diskussionspapiere 180. Bonn: BIBB. URL: <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/8169>
- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitalisierung und Einfacharbeit (pp. 1 – 23). In: WISO Diskurs „Die Zukunft einfacher Industriearbeit“, 12/2016, S. 1 – 23. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung
- Hirsch-Kreinsen, H. (2017). Digitalisierung industrieller Einfacharbeit. In: Arbeit, Jg. 26 (1/2017), S. 7 – 32
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P. (2017). Drei Thesen zu Arbeit und Qualifikation in Industrie 4.0. In G. Spöttl & L. Windelband (Hrsg.), Industrie 4.0 – Risiken und Chancen für die Berufsausbildung (S. 131 – 151). Bielefeld: Bertelsmann
- Hirsch-Kreinsen, H., Ittermann, P. & Niehaus, J. (Hrsg.) (2018). Digitalisierung industrieller Arbeit. 2. Auflage, Baden-Baden: Nomos.
- Holländer, S. (2019). 500 Teile in 2 Tagen: Airbus setzt auf 3D-Druck. In: mission-additive.de (Vogel Communications Group), 19.08.2019; URL: <https://www.mission-additive.de/500-teile-in-2-tagen-airbus-setzt-auf-3d-druck-a-853624/>
- Ilg, P. (2018). Wenn das Auto aus dem Drucker kommt. Zeit online, 15.10.2018
- Jöns, I. (Hrsg.) (2008). Erfolgreiche Gruppenarbeit: Konzepte, Instrumente, Erfahrungen. Wiesbaden: Gabler; Neuauflage 2015 bei Springer Gabler
- Kärcher, S., Görzig, D., Foith-Förster, P. & Bauernhansl, T. (2019). Das Applikationszentrum Industrie 4.0. Vorgehen, Planung und Erfolgsfaktoren. In: wt Werkstattstechnik online 109 (2019), No.3, pp.106-110. Als Download erhältlich unter: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/svdi:TEMA20190305353/Das-Applikationszentrum-Industrie-4-0-Vorgehen?cHash=e963a839be839a9d3f0f4c1d44f28049>
- Katzer, O., Kreher, S. & Zinke, G. (2017). Ausbildungsgestaltung in der digitalisierten Arbeitswelt. BWP - Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, Heft 2/2017, 24-27 (zum BIBB-VW-Projekt)
- Kern, H. & Schumann, M. (1970). Industriearbeit und Arbeiterbewusstsein. Teil I + II. Frankfurt/M.: Europäische Verlagsanstalt
- Kern, H. & Schumann, M. (1984). Das Ende der Arbeitsteilung? München: Beck
- Kern, W. & Bauernhansl, T. (2019). Die Modulare Montage – Konzept, Anwendung und Umsetzung in einer Vormontage der Audi AG. In Fraunhofer IPA (Hrsg.), 1.Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 18). Stuttgart: Fraunhofer IPA
- Kügler, M. (2019). SLS-Anwendungen vom Blinkereinsatz bis zum Turnschuh. In: mission-additive.de (Vogel Communications Group), 20.08.2019; URL: <https://www.mission-additive.de/sls-anwendungen-vom-blinkereinsatz-bis-zum-turnschuh-a-855858/>
- Lotter, E. & Müller, U. (2018). Moderne/smarte Montagearbeitsplätze im Umfeld der Industrie 4.0. In R.M. Wagner (Hrsg.), Industrie 4.0 für die Praxis (S. 93 – 127). Wiesbaden: Springer Gabler
- Lukowski, F. & Neuber-Pohl, C. (2017). Digitale Technologien machen die Arbeit anspruchsvoller. BWP - Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, Heft 2/2017, 9-13

Maisch, F. (2019). Weltweite Produktanläufe – Komplexität methodisch vorbereiten und steuern. In Fraunhofer IPA (Hrsg.), 1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 13). Stuttgart: Fraunhofer IPA

Müller, B. (2020). Zitiert nach einem Interview in [www.konstruktionspraxis.vogel.de](http://www.konstruktionspraxis.vogel.de), 06.07.2020; <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/was-macht-die-montage-flexibler-und-effizienter-a-943289/?cmp=nl-118&uuid=0C8396EE-3827-4C67-8D9944F363311B02>

Niehaus, J. (2017). Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0. Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle. FGW-Impuls Digitalisierung von Arbeit. Band 04. Düsseldorf: Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung (FGW)

OECD (2018). OECD-Studie: Future of Work. URL: : <https://www.oecd.org/employment/Automation-policy-brief-2018.pdf>

Plattform Industrie 4.0 (2019). Was ist Industrie 4.0? URL: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>

Reinhart, G., Magana Flores, A. E. & Zwicker, C. (2018). Industrieroboter. Planung, Integration, Trends. Ein Leitfaden für KMU. Würzburg: Vogel Communications Group.

Sattelberger, T (2015). 50 Jahre Personalmanagement: Entwicklungen. Entgleisungen. Entdeckungen. In: T. Sattelberger, G. Bergmann, C. Eireiner, S. Fischer, H. Fischer, F. Gairing (Hrsg.), 50 Jahre Personalmanagement an der Hochschule Pforzheim. Beiträge der Hochschule Pforzheim Bd. 151 (S. 13–27). Pforzheim: Hochschule Pforzheim

Schaeffler AG (2020). Schaeffler eröffnet hochmodernes Ausbildungszentrum am Standort Schweinfurt. Pressemitteilung vom 23.01.2020. URL: [https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/de/news\\_medien/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen\\_detail.jsp?id=87474048](https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/de/news_medien/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_detail.jsp?id=87474048)

Schallow, J., Hengstebeck, A. & Deuse, J. (2018). Industrie 4.0 – eine Bestandsaufnahme . In R.M. Wagner (Hrsg.), Industrie 4.0 für die Praxis (S. 15 – 28). Wiesbaden: Springer Gabler

Schulz, R. (2019). Intralogistik für eine wandlungsfähige Automobilfertigung. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.), 1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 9). Stuttgart: Fraunhofer IPA

Schwankner, C. (2019). Industrie 4.0 bringt Mensch und Maschine zusammen. B&R Kundenmagazin, 11/2019. URL: [https://www.br-automation.com/de-de/ueber-uns/kundenmagazin/2019/201911/industrie-40-bringt-mensch-und-maschine-zusammen/?utm\\_source=industriemagazin.at&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=2020atmedia&utm\\_content=industriepc](https://www.br-automation.com/de-de/ueber-uns/kundenmagazin/2019/201911/industrie-40-bringt-mensch-und-maschine-zusammen/?utm_source=industriemagazin.at&utm_medium=email&utm_campaign=2020atmedia&utm_content=industriepc)

SEW Eurodrive (2019). Schaufensterfabrik Graben-Neudorf. URL: <https://www.sew-eurodrive.de/automatisierung/fabrikautomatisierung/industrie-40/schaufensterfabrik/schaufensterfabrik.html>

Soder, J. (2017). Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, M. ten Hompel (Hrsg.), Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion (S. 3 – 25). Berlin: Springer

Springer, R. (1999). Rückkehr zum Taylorismus? Arbeitspolitik in der Automobilindustrie am Scheideweg. Frankfurt/M.: Campus

Steven, M. (2019). Industrie 4.0. Stuttgart: Kohlhammer



Staab, P. & Prediger, L.J. (2019). Digitalisierung und Polarisierung. Eine Literaturstudie zu den Auswirkungen des digitalen Wandels auf Sozialstruktur und Betriebe. FHW-Impuls Digitalisierung von Arbeit, Band 19. Düsseldorf: Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung (FGW), veröffentlicht 09.08.2019, Download: [http://www.fgw-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/FGW-Studie-I40-19-Staab-2019\\_07\\_16-komplett-web.pdf](http://www.fgw-nrw.de/fileadmin/user_upload/FGW-Studie-I40-19-Staab-2019_07_16-komplett-web.pdf) -- Zusammenfassung Download: [http://www.fgw-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/Impuls-I40-19-Staab-2019\\_08\\_09-op-web.pdf](http://www.fgw-nrw.de/fileadmin/user_upload/Impuls-I40-19-Staab-2019_08_09-op-web.pdf)

Stetzka, R. (2020). Anforderungen an Humankapital in einer Smart Factory. In M. Steven & J. N. Dörseln (Hrsg.), Smart Factory. Einsatzfaktoren – Technologie – Produkte (S. 87 – 114). Stuttgart: Kohlhammer

Tropschuh, B., Vermin, S. & Reinhart, G. (2019). Ableitung von Kompetenzanforderungen. Methode für die manuelle, digitalisierte Montage. wt Werkstattstechnik online, Jg. 109, 3/2019, 142 – 147. Als Download erhältlich unter: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A300184654/wt-Werkstattstechnik-online/>

Volkman, M., Weigand, J. & Ruskowski, M. (2020). Roboter in der autonomen Produktion der Zukunft . In M. Steven & J. N. Dörseln (Hrsg.), Smart Factory. Einsatzfaktoren – Technologie – Produkte (S. 117 – 141). Stuttgart: Kohlhammer

Wolter, M.I., Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R., Maier, T. & Winnige, S. (2019). Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie. Szenario-Rechnungen im Rahmen der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen. Heft-Nr. 200. Bonn: BIBB (Bundesinstitut für Berufsbildung). PDF unter URL: <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/10197>

**Autor:** Prof. Dr. Günther Bergmann, Professor für Personalmanagement a.D., Hochschule Pforzheim.  
Email: [guenther.bergmann@hs-pforzheim.de](mailto:guenther.bergmann@hs-pforzheim.de)

**Günther Bergmann**

## **Industrie 4.0 – Konsequenzen für industrielle Arbeitsprozesse und Qualifizierung**

**Supplement zum Beitrag von G. Bergmann in: L. Fischer (Hrsg.) Wirtschaftspsychologie. Band 3-2020, Pabst: Lengerich**

Letzte Aktualisierung: 10.09.2020

In dem Beitrag in der Organisationspsychologie konnte die Entwicklung während und nach der Corona-Pandemie noch nicht berücksichtigt werden. Von zahlreichen Wirtschaftsverbänden wird davon ausgegangen, dass in der Folge die Umsetzung von Digitalisierung und Industrie 4.0 Anwendungen sehr viel stärker beschleunigt wird, als dies noch 2019 angenommen wurde. Der Grund liegt nicht darin, „dass Maschinen nicht krank werden können“. Es geht vielmehr um eine erhöhte Prozessstabilität in der Produktion, welche durch Industrie 4.0 Anwendungen verbessert werden kann – zusammen mit einer Diversifizierung der internationalen Lieferketten. Der aufgrund des Umsatzrückgangs Corona-bedingte Stellenabbau wird vermutlich durch einen Stellenabbau aufgrund von Digitalisierung ergänzt, sodass sich diese Effekte in ihren Auswirkungen vermischen werden.

### **Supplement 1: Siemens, Werk Amberg**

Siemens ist in Deutschland das maßgebliche Großunternehmen, welches vollautomatisierte Produktionsprozesse als Geschäftsfeld vorantreibt (Siemens Steuerungssoftware Mindsphere). Nicht erstaunlich also, dass Siemens in der eigenen Fertigung von Elektronik-Bauteilen, im Werk Amberg, diese Strategie konsequent umsetzt – Produkte kommunizieren mit Maschinen, sämtliche Prozesse sind IT-optimiert und gesteuert, einschließlich der Qualitäts- und Funktionskontrolle. „Bei der Produktion von Simatic-Produkten in Amberg hat die Einbindung von Edge Computing, Artificial Intelligence und Mindsphere bei der Qualitätsprüfung von Leiterplatten durch Röntgengeräte ihre Vorteile gezeigt: Dadurch konnte die Anzahl erforderlicher Endkontrollen deutlich gesenkt werden.“ (Quelle: Siemens Pressemitteilung zur Hannover Messe 2019). Natürlich ist die Fertigung nicht „mensenleer“, vergleichsweise wenige Operatoren steuern und überwachen den Produktionsprozess. Und etliche manuelle Montage-Arbeitsplätze sind verblieben.

Das Beispiel steht für:

- Strategie (1) – cyber-physische Systeme / komplexe Vollautomatisierung
- Massive Vereinfachung von Produktionsprozessen durch automatisierte Qualitätskontrollen

### **Supplement 2: Infineon, Werke Dresden und Villach**

Infineon konnte im Werk Dresden 2018 einen vierjährigen Transformationsprozess zu einer vollautomatisierten Chip-Fertigung abschließen. Es handelt sich um eine Hochvolumen-Fertigung von Halbleitern (300 mm Wafer), eine weitgehend vollautomatisierte Produktion, in der alle Prozesse IT-gesteuert sind, incl. des Einsatzes von Robotern und eines schienen-geführten Transportsystems. Hinsichtlich der vollautomatisierten Produktion von 200 mm Wafern spricht Infineon von einer Personalkosteneinsparung um 75%. Weiterhin sind Operatoren bei der Initialisierung und Überwachung der Anlagen tätig (Heinrich, 2018). Ein entscheidender Treiber für Vollautomatisierung ist

bei Infineon nicht die Personalkosteneinsparung sondern die Stabilität der Produktionsprozesse. Denn bei einer Reinraumfertigung stellt der Mensch das größte „Verschmutzungsrisiko“ dar, wodurch ganze Produktionschargen vernichtet werden können.

Das Beispiel Infineon zeigt auch, dass diese Transformation nicht zwangsläufig von einem Verlust an Arbeitsplätzen begleitet ist. Infineon Dresden gewann 2017 den Preis der Zeitschrift „Produktion“ und der Unternehmensberatung A.T. Kearney „Fabrik des Jahres 2017“ in der Kategorie „Standortsicherung durch Digitalisierung“ (ca. 2000 MA am Standort Dresden). Nach der gleichen Produktionsarchitektur errichtete Infineon ein weiteres Werk in Villach, Österreich, für die 300 mm Wafer-Chip Produktion. Im Endausbau Anfang 2021 sollen hier ca. 400 Mitarbeiter, davon rund 200 in der Produktion, tätig sein – dies bei 60.000 m<sup>2</sup> Produktionsfläche und einem Umsatzpotenzial von 1,8 Milliarden € p.a. Die Strategie von Infineon besteht darin, weitere Werke weltweit nach den gleichen Produktionsstandards aufzubauen (Quellen: Infineon Pressemitteilungen, 2018). Ein weiterer Treiber für Vollautomatisierung ist demzufolge eine global einheitliche Produktionsstruktur, mit der Fabrikauslastungen weltweit „auf Knopfdruck“ gesteuert werden können.

Das Infineon Werk Dresden ermöglicht auch einen Blick auf die Veränderung der Arbeitstätigkeiten und der notwendigen Qualifizierungsmaßnahmen bei einem solchen Transformationsprozess. Eine Tätigkeitsanalyse erbrachte folgende Veränderungen für die Funktion „Operator“ (Heinrich, 2018):

- der Anteil körperlicher Arbeit sinkt / Wegfall einfacher Tätigkeiten
- Erhöhung der Anteile von Analyse und Entscheidung
- mehr Verantwortung und Spezialisierung
- höhere Qualifizierung der Operatoren ist notwendig

Zu berücksichtigen ist, dass dieses Profil für 25% der bisher in diesem Produktionsprozess tätigen Mitarbeiter gilt.

Das Beispiel Infineon steht für:

- Strategie (1) – cyber-physische Systeme / komplexe Vollautomatisierung
- Automatisierung ermöglicht eine globale Produktionssteuerung
- Veränderung des Qualifikationsprofils für Operatoren – weniger manuelle Tätigkeiten, erhöhte Qualifikationsanforderungen

### **Supplement 3: Sick, Industrie 4.0 Musterfabrik**

Der Optoelektronik-Hersteller Sick hat sein Werk in Freiburg-Hochdorf (Fertigung von Sensoren) als Industrie 4.0 Musterfabrik konzipiert. Merkmale sind autonome digitale Produktions- und Steuerungsprozesse über den gesamten Produktionsablauf, flexible Montagestationen mit Robotern sowie hochauflösende 3D-Kameras, Machine Learning und Edge Computing für eine intelligente dezentrale Steuerung von Produktionsprozessen. Allerdings gibt es auch manuelle Montageprozesse an ca. 20% der Montagestationen. Menschliche Arbeitskraft ist also nicht in jedem Prozesssegment aus betriebswirtschaftlichen Gründen durch Robotik substituierbar (Overdick, 2019).

Das Beispiel Sick steht für:

- Strategie (1) – cyber-physische Systeme / komplexe Vollautomatisierung

- Auch bei weitgehender Vollautomatisierung nach Industrie 4.0 können einzelne manuelle Montagearbeitsplätze aus betriebswirtschaftlichen Gründen erhalten bleiben.

#### **Supplement 4: Adidas Speedfactory**

Spektakulär war sicherlich das Vorhaben der Firma Adidas, die ab 2017 individualisierte Sportschuhe wieder in Deutschland, im Werk Ansbach, produzierte. Die „Speedfactory“ in Ansbach verfügte über eine Produktionskapazität von einer halben Million Sportschuhe pro Jahr. Hier wurden individualisierte bzw. ereignis-bezogene Kleinserien gefertigt. Die Produktion erfolgt weitgehend mittels 3D-Druck, das Handling wird von Robotern übernommen. Ein virtuelles Modell des Schuhs wird digital erzeugt und digital getestet sowie anschließend automatisch in die Fertigung übergeleitet. Die Dauer des Gesamtprozesses vom Design bis zur Auslieferung an den Kunden betrug bisher bei einer Fertigung in Asien 18 Monate (incl. Transportweg), bei der Hightech-Fertigung in Deutschland sieben Tage. Die Anzahl der Mitarbeiter in der Speedfactory in Ansbach betrug ca. 160, in Asien waren es für vergleichbare Arbeitsprozesse über tausend Mitarbeiter (Quelle u.a. wiwo.de, 20.08.2017).

Ende 2019 gab Adidas jedoch bekannt, dass die Hightech-Fertigung in Ansbach und in Atlanta (USA) im April 2020 geschlossen wird. Die Werke waren hinsichtlich ihrer Produktionskapazität nicht ausgelastet. Die Produktion nach dem hier erprobten Hightech-Format wird nach Asien verlagert (Adidas Pressemitteilung, 11.11.2019). Als Grund wurde u.a. genannt, dass es sinnvoller sei, die Produktion der Speedfactory dort zu konzentrieren, wo das Know-how und die Lieferanten säßen; Asien habe technologisch schneller aufgeholt, als dies 2016 absehbar gewesen sei. Dieses Ereignis einer Verlagerung der Produktion nach China stellt den Mythos der technologischen Überlegenheit Deutschlands ernsthaft in Frage.

Das Beispiel steht für:

- Die Individualisierung von Consumer Products ist ein entscheidender Treiber für Vollautomatisierung.
- Auch bei einer weitgehenden Vollautomatisierung bleiben ca. 15% der Arbeitsplätze mit manuellen Tätigkeiten erhalten, zuzüglich einer geringen Anzahl von hochqualifizierten dispositiven Tätigkeiten.
- Adidas Speedfactory war auch ein Beispiel für die Rückkehr von Produktion nach Deutschland unter den Vorzeichen von Industrie 4.0 (Reshoring) – ein Beispiel, welches leider keinen Bestand hatte.

#### **Supplement 5: Gigaset**

Gigaset produziert im Werk Bocholt seit 2018 wieder Smartphones der Modellreihe GS 185, allerdings nur in der Endmontage. Das angestrebte Produktionsvolumen ist mit 100.000 Smartphones p.a. eher bescheiden im Vergleich zu den großen Herstellern. Die Komponenten werden weiterhin in Asien produziert. Die Präzisionsmontage des Positionierens und Verschraubens der Komponenten erfolgt durch stationäre Roboter (partielle Vollautomatisierung). Das Verlegen von Kabeln und das Verpacken erfolgt durch menschliche Arbeitskraft.

Die Fehler- und Ausschussquote ist deutlich niedriger als bei der bisherigen manuellen Montage in Asien. Die Produktionskosten liegen nicht höher als bei einer Fertigung in Asien. Die Anzahl der Stellen in der Endmontage beläuft sich auf 24 Mitarbeiter im 3-Schicht-Betrieb für das beabsichtigte Produktionsvolumen von 100.000 Smartphones. Auf zehn Mitarbeiter in der Fließbandfertigung in

Asien kommt jetzt ein Mitarbeiter in der automatisierten Endmontage in Bocholt. Treiber für die Rückverlagerung der Endmontage nach Deutschland waren die Qualität und Time-to-Market, denn Gigaset kann mit einer schnellen Lieferung für Anbieter von Telekommunikations-Verträgen punkten. Außerdem kann ein firmenspezifisches Customizing für Großkunden erfolgen (Quellen: faz.net Diginomics, 29.05.2018; Netzpiloten-Magazin.de, 10.07.2018; Gigaset-Pressemitteilung, 25.05.2018).

Produktionstechnisch interessant ist ein Detail, dass das Verlegen von Kabeln durch menschliche Arbeitskraft erfolgt. Tatsächlich können moderne Roboter heute nahezu alles (die Montage in der Produktion betrachtet), was Menschen können. Einen Nachteil haben Roboter allerdings. Sie sind weniger gut in der Lage, sogenannte biege-schlaffe Materialien (Kabel, Schläuche) zu verarbeiten wie menschliche Arbeitskraft.

Das Beispiel steht für:

- Strategie (2) – Vollautomatisierung mittels Roboter eines Teils der Mikromontage
- Verkürzung der Durchlaufzeit – Time-to-Market
- Qualitätssicherung bei hoher Variantenvielfalt
- Einzelne Montageprozesse werden weiterhin manuell ausgeführt, insbes. das Verlegen von Kabeln.

### **Supplement 6: Rittal**

Bei Rittal übernimmt das Bearbeitungszentrum Perforex vollautomatisch das Bohren, Fräsen und Gewindeschneiden an Flachteilen und Gehäusen. Zuvor mussten die Schaltschrankteile von Hand angezeichnet und anschließend mechanisch mit konventionellen Werkzeugen bearbeitet werden. Das bedeutete je nach Größe der Anlage mehrere Stunden Arbeitszeit für die Vorbereitung und erforderte außerdem die handwerklich einwandfreie Umsetzung. Nicht immer gelang dabei die Bearbeitungsqualität aller Bohrungen und Ausschnitte einwandfrei. Das ist jetzt anders: Perforex bearbeitet jedes Flachteil eines Gehäuses an jeder Stelle gleichermaßen präzise und zuverlässig. „2018 haben wir einen 30 Prozent höheren Durchlauf an Schaltschränken verbuchen können als im Jahr zuvor“ (Dietmar Meurer, Geschäftsführer) (Quelle: Automation & Digitalisierung - Web-Magazin von industr.com, 03.03.2020). Um eine umfassende Vernetzung des Produktionsablaufs zu unterstützen, hat Rittal als eines der ersten Industrieunternehmen eine 5G-Frequenzuteilung für den neuen WLAN-Standard erhalten (Quelle: konstruktionspraxis.vogel.de, 25.02.2020).

Auch die Konstruktion erfolgt nach Industrie 4.0 Prinzipien. Der Ablauf: Der Kunde schickt eine Bestellung für einen konkreten Schaltschranktyp mit entsprechenden Optionen. Das Elektro-Engineering erfolgt über eine CAD-Software. Es entsteht ein dreidimensionaler Schaltschrankaufbau als digitaler Zwilling. Das Software-Tool stellt alle für die Fertigung relevanten Angaben und Zeichnungen bereit und übergibt die Daten sowohl an das Bearbeitungszentrum Perforex zur Bearbeitung der Gehäuseteile als auch an die vollautomatische Drahtkonfektionierungsmaschine, die fertig bearbeitete Drahtsätze samt Beschriftung und eindeutiger Kennzeichnung ausgibt. Durch die durchgängige Vernetzung kann optimaler Weise schon Stunden nach der Bestellung durch den Kunden mit der manuellen Montage und dem Verdrahten begonnen werden. Die produktspezifischen Verdrahtungspläne werden dem Monteur via Tablet übermittelt. Diese Arbeitstätigkeit ist nicht von Dequalifikation betroffen. Das Tablet stellt eine Informationsquelle dar – gegenüber den früher üblichen Schaltplänen als Zeichnung auf Papier. Die Tätigkeit ist nicht system-geleitet, wie es in Strategie (3) der Fall ist. Eine Facharbeiterqualifikation ist weiterhin erforderlich.

Das Verdrahten bleibt weiterhin ein manueller Prozess, der sich derzeit nicht automatisieren lässt. Mit rund 50% des Arbeitsaufwands bei konventioneller Fertigung stellt das Verdrahten (Ablängen, Abisolieren und Crimpen) den größten Anteil am Gesamtaufwand bei der Produktion eines Schaltschranks dar (Quelle: konstruktionspraxis.vogel.de, 16.03.20). Vgl. das Beispiel von Gigaset: Die Verarbeitung von biegeschlaffen Materialien (hier Kabeln) erfordert nach wie vor menschliche Arbeitskraft, die nicht durch Roboter ersetzt werden kann.

Das Beispiel steht für:

- Strategie (2) – Digitale Vernetzung eines wesentlichen Teils des Produktionsprozesses
- Verkürzung der Durchlaufzeit – Time-to-Market
- Qualitätssicherung bei hoher Variantenvielfalt
- Montageprozesse werden weiterhin manuell ausgeführt
- Eine Facharbeiterqualifikation ist erforderlich – im Unterschied zu Strategie (3)

#### **Supplement 7: BMW, Werk Leipzig**

Im BMW-Werk Leipzig wird seit 2015 das in Deutschland erste Großserien-Elektromodell gebaut, also noch zu einem recht frühen Zeitpunkt der Entwicklung von Industrie 4.0 Anwendungen. Eine Impression aus der Presse: „Menschen sind in der Karosseriebau-Halle des Leipziger BMW-Werks eine Randerscheinung. Hier, wo der Autobauer seine Elektromodelle i3 und i9 montiert, regieren die orangefarbenen Kuka-Roboter. Sie greifen, heben und verkleben Leichtbauteile (...), die einige Meter weiter mit dem Fahrwerk und Elektroantrieb des Autos verbunden werden. Die wenigen Mitarbeiter, die man in der erstaunlich ruhigen Halle entdeckt, schauen auf Displays und kontrollieren, dass alles mit rechten Dingen zugeht.“ (Zitat aus: Der Tagesspiegel, 08.01.2018).

Das Beispiel steht für:

- Strategie (2) – Teilautomatisierung mit dezentraler Prozesssteuerung

#### **Supplement 8: SEW Eurodrive, Werk Graben-Neudorf**

Der Pionier einer modularen Produktion mit Montage-Assistenzsystemen in Europa ist SEW Eurodrive mit seinem Werk in Graben-Neudorf – und dies bereits seit der Umgestaltung der Produktion im Jahr 2013. Getriebe und gewerbliche Elektromotoren werden hier produziert. Die Grundprinzipien der technologischen Strategie lassen sich an diesem Praxisbeispiel gut veranschaulichen (vgl. Soder, 2017; SEW Eurodrive, 2019). Der Materialfluss und die gesamte Produktionslogistik erfolgt vollautomatisch über linien-geführte FTS (fahrerlose Transportsysteme). Die manuelle Montage erfolgt in einer U-förmigen Montagestation, in denen ein fahrbarer Montagetisch den nächsten Montageschritt ansteuert. Der Montagetisch stellt sich dabei automatisch auf die ergonomisch optimale Höhe der Arbeitsfläche ein. Das Werkstück trägt einen RFID-Chip, der jeweils nächste Montageschritt wird dem Monteur per Bildschirm angezeigt. Das benötigte Montage-material wird durch Lichtsignal in Boxen angezeigt (Pick-by-light). Die Montageboxen werden automatisch befüllt. Der Monteur löst selbst den nächsten Montageschritt aus. Ist die Montage abgeschlossen, gibt der Monteur das Werkstück frei. Das FTS mit dem Werkstück steuert selbstständig die nächste Montagestation an. An den meisten Montagestationen arbeitet jeweils ein Mitarbeiter.

Am Ende der Produktionsstrecke sind zum Heben und Positionieren mobile Roboter eingesetzt. Einzelne Routineaufgaben übernehmen „mobile Handling-Assistenten“. Sie fahren an die jeweilige Arbeitsstation zur Bestückung von Dreh- und Fräsmaschinen. Hier belädt der mobile Assistent ein Zuführband mit den zu bearbeitenden Wellen. Anschließend fährt er automatisch die nächste Station an und entnimmt die bearbeiteten Wellen. In der werkübergreifenden Logistik kommen neuerdings „Logistikkapseln“ zum Einsatz, die sich eigenständig auf dem Werksgelände bewegen und sich auf LKW oder Züge verladen können. Der gesamte Produktionsprozess wird digital abgebildet und von einem Leitstand aus gesteuert (dem SFU-Leiter, entspricht dem früheren Produktionsmeister), etwa wenn eine Montagestation zur Störungsbehebung kurzfristig geschlossen werden muss oder die Personaldisposition die Besetzung einzelner Montagestationen nicht zulässt.

Die Vorteile gegenüber der früher auch bei SEW Eurodrive vorherrschenden Linienfertigung liegen in der hohen Flexibilität des Produktionsablaufs, der weitgehend unempfindlich auf Störungen reagieren kann. Ebenso ist es möglich, auf Schwankungen in der Auftragslage schnell zu reagieren und den Produktionsfluss anzupassen. Der eigentliche Treiber dieser Entwicklung zu Industrie 4.0 lag jedoch in der Beherrschbarkeit der Variantenvielfalt. In der traditionellen Linienfertigung hatte die Qualität durch Montagefehler gelitten, die durch die stark gestiegene Komplexität der Varianten mit verursacht wurde. Die Marktstärke von SEW Eurodrive liegt in der kundenspezifischen Entwicklung von Getrieben und Antrieben. Nach Einführung der Smart Factory bei SEW Eurodrive im Werk Graben-Neudorf spricht man für die erste Ausbaustufe von einem Produktivitätsgewinn von ca. 20%. Personalanpassungen blieben aus, da das Produktionsvolumen ausgeweitet werden konnte. Wesentlich war auch eine deutliche Verkürzung der Lieferzeiten (Quellen der gesamten Darstellung: Soder, 2017; SEW Eurodrive, 2019; Werksbesichtigung 2015).

Das Beispiel steht für:

- Strategie (3) – Montage- Assistenzsysteme einschließlich Roboter-Unterstützung und eine durchgängige digitale Vernetzung des gesamten Produktionsablaufs
- Eine flexible Produktion mit Montagestationen vermindert Stillstandszeiten drastisch
- Qualitätssicherung bei hoher Variantenvielfalt
- Manuelle Montageprozesse – Dequalifikation in der Tätigkeit
- Hohe Qualifikation erforderlich für Leitung und Disposition der Montageinseln (völlig neue Rolle des vormaligen Produktionsmeisters erfordert eine hohe IT-Beherrschung)

### **Supplement 9: B&R, Eggelsberg, Österreich**

Ein weiteres Beispiel für die technologische Strategie (3) stellt der Automatisierungsausrüster B&R in Eggelsberg, Österreich, dar. In der „smarten Fabrik“ werden auf 40.000 m<sup>2</sup> durchgängig vernetzt hoch-individualisierte Industrie-PCs montiert. Neben kollaborativen Robotern für Handling-Aufgaben sind alle Montage-Arbeitsplätze mit einer Pick-by-light Technik ausgestattet. Die für die Entnahme richtige Montagebox wird durch ein Lichtsignal angezeigt. Die Montage-Werkzeuge sind automatisch auf das richtige Drehmoment eingestellt. Außerdem erhalten Mitarbeiter Montageanweisungen für den nächsten Arbeitsschritt per Bildschirm, mittels kurzer Bildsequenzen. Treiber für diese Art von Montagesystemen ist die Sicherstellung der Qualität bei steigender Variantenvielfalt bis zu „Losgröße 1“. Über den Produktivitätsgewinn wird durch diese Technologie nichts berichtet; ein kontinuierlicher wachsender Produktionsumfang erforderte hingegen zusätzliches Personal (Schwanker, B&R Kundenmagazin, 2019).

Bezeichnend ist der Hinweis in dieser Firmenveröffentlichung hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen an Produktionsmitarbeiter. „Durch das moderne Arbeitsplatzsystem können die Mitarbeiter nach kurzer Einschulung jeden PC zusammenbauen und das bei bis zu 250 Milliarden unterschiedlicher Konfigurationsmöglichkeiten“ (Schwankner, B&R Kundenmagazin, 2019). Es ist naheliegend, hier von einem Dequalifikationspotenzial in der Tätigkeit zu sprechen, auch wenn das Produkt selbst ein Hightech-Produkt darstellt.

Das Beispiel steht für:

- Strategie (3) – Montage- Assistenzsysteme einschließlich Roboter-Unterstützung
- Qualitätssicherung bei hoher Variantenvielfalt
- Manuelle Montageprozesse – Dequalifikation in der Tätigkeit

### **Supplement 10: Technologische Strategien in der Automobilindustrie**

Mit ca. 840.000 Beschäftigten ist die Automobilindustrie incl. der Zulieferindustrie in Deutschland nach wie vor der wichtigste Produktionsbereich. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Automobilsparte in Hinblick auf Industrie 4.0 gesondert zu betrachten. Für die gesamte Automobilindustrie und die Zulieferer war die wirtschaftliche Situation bereits 2019 aus mehreren Gründen schwierig. Die starke Abhängigkeit vom chinesischen Markt führte schon 2019 und Anfang 2020 zu massiven Umsatzeinbrüchen (bei VW sind 40% des weltweiten Pkw-Absatzes vom chinesischen Markt abhängig, für Daimler und BMW sind es jeweils 25%). Hinzu kommen in 2020 die erheblichen Effekte der Corona-Pandemie. Für das gesamte Jahr 2020 rechnet der Verband der Automobilindustrie (VDA) mit einem Rückgang der Neuzulassungen in Deutschland um 23% im Vergleich zum Vorjahr (Quellen: VDA und automobilwoche.de, 03.09.2020). Besonders prekär ist die Situation der Automobilzulieferer. Allein Schaeffler will bis Ende 2022 ca. 4.400 Stellen streichen und 14 Werke schließen (manager-magazin.de, 10.09.20). Andere Zulieferer haben ähnliche Programme aufgelegt.

Entscheidend hinsichtlich der Abhängigkeit vom chinesischen Markt ist jedoch das Thema Elektromobilität, bei dem die deutschen Hersteller deutlich ins Hintertreffen geraten sind. Hieraus erklären sich die unterschiedlichen Produktstrategien von VW einerseits und von Daimler und BMW andererseits (zur näheren Begründung s. Bergmann, 2020b). Von den Produktstrategien (VW setzt konsequent auf E-Modelle; Daimler und BMW tun dies nur sehr zögerlich) sind in der Automobilindustrie auch die künftigen Produktionstechnologien abhängig.

**Die zentrale These lautet: Die eigentliche disruptive Entwicklung in der Automobilindustrie entsteht erst durch E-Mobilität. Diese wird durch Industrie 4.0 Anwendungen verstärkt, da sich das Produktionsumfeld entscheidend verändern wird** (vgl. Bergmann, 2020b).

Dem entgegen berichtet eine Studie von Cap Gemini (Cap Gemini „Smart Factories @ Scale“, 2019), dass Umsetzungen einer Smart Factory in Deutschland massiv zunehmen, vor allem in der Automobilindustrie. Die Studie beruht auf Befragungen von rund 1000 Führungskräften von Industrieunternehmen in 13 Ländern. Danach verfügen 68% der Industrieunternehmen bereits Mitte 2019 über Smart-Factory-Projekte. Das hört sich beeindruckend an, jedoch werden in der Studie auch isolierte Digitalisierungslösungen für einzelne Teilprozesse miteingerechnet – und diese gibt es in fast jedem größeren Unternehmen. Daher sind die Ergebnisse dieser Studie nach Ansicht des Verfassers deutlich überzogen.



In der Automobilindustrie behindert die weiterhin gegebene Konzentration auf Verbrenner-Modelle (außer beim VW-Konzern) die Umsetzung von Industrie 4.0 Konzeptionen, denn die über 100 Jahre hinweg optimierte traditionelle Linienfertigung will man für die Produktion von E-Modellen nicht grundsätzlich verändern oder aufgeben. Dieser Standpunkt ist teilweise nachvollziehbar, denn die Fertigung von E-Modellen führt zu einer signifikant geringeren Wertschöpfung pro Fahrzeug als die Produktion von großvolumigen Verbrenner-Modellen. Laut der FEV/VDMA-Studie (2018) reduziert sich die Wertschöpfung bei der Fertigung von reinen E-Modellen um 64% (ohne Batteriezellproduktion). Entsprechend steigt der Druck auf eine wirtschaftliche Produktion von E-Modellen, denn ein E-Modell kann um ca. 40% günstiger produziert werden als ein Verbrenner-Modell. Weniger Montage-Teile im gesamten Antriebsstrang führen zu einem deutlich geringeren Montageaufwand und ermöglichen darüber hinaus auch eine andere Fahrzeug-Architektur. Dass dies zu erheblichen Beschäftigungsverlusten führt, ist inzwischen unbestritten.

Nach einer Studie des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB) (Mönnig et al., 2018) werden durch die Umstellung der Produktion auf E-Modelle bis 2035 114.000 Stellen in der Automobilindustrie verloren gehen, davon 83.000 Stellen im Fahrzeugbau. Die Autoren der Studie stützen sich auf die Annahme, dass der Anteil von E-Modellen bis 2035 lediglich auf 23% gegenüber Verbrenner-Modellen ansteigt, bei einer gleichbleibenden Gesamtzahl verkaufter PKW. Es handelt sich um eine eher vorsichtige Annahme der Autoren, die hinter den von den Automobilunternehmen beabsichtigten Absatzzahlen (Stand 2019) zurückbleibt. Laut einer Studie des CAR-Instituts (CAR, 2019) kostet die Umstellung auf E-Mobilität bis zum Jahr 2030 125.000 Arbeitsplätze in der Automobilindustrie. Hiernach entfallen 234.000 Stellen in der Produktion und Entwicklung von Verbrennungsmotoren, während 109.000 neue Arbeitsplätze im Kontext E-Mobilität entstehen. Die Autoren dieser Studie gehen von einem Anteil von rund einem Drittel an Elektromodellen bis 2030 aus.

In diesem Beitrag geht es jedoch um die Produktionstechnologien – und diese stellen sich bei den Automobil-Herstellern als höchst unterschiedlich dar. Insgesamt finden sich Mischstrategien aus den dargestellten technologischen Strategien (1) Vollautomatisierung und (3) Montage-Assistenzsysteme und Cobots. Tesla zum Beispiel ist nicht nur ein Vorreiter bei der Entwicklung von E-Modellen sondern auch bei der Produktion in einer tendenziellen Vollautomatisierung. Diese lief in der Anlaufphase des Model 3 alles andere als reibungslos, sodass auf erweiterte manuelle Montageprozesse zurückgegriffen wurde. Mit Errichtung des neuen Tesla-Werks in Grünheide bei Berlin und den geplanten 7000 Arbeitsplätzen für die Produktion des Kompakt-SUV Model Y ist die dort geplante Produktionstechnologie mit Interesse zu verfolgen (derzeit sind noch keine Informationen verfügbar).

Als Vorreiter in Deutschland für eine E-Modell-adäquate Fahrzeug-Architektur und entsprechenden Produktionstechnologien ist VW mit dem konsequent als E-Modell entwickelten ID.3 zu nennen. VW hat mit seiner Plattform-Strategie des „Modularen Elektrifizierungsbaukasten“ eine Grundlage für eine weitergehende Automatisierung gelegt (Quelle u.a.: welt.de, 31.01.20). Im **VW-Werk Zwickau** werden ab Mitte 2020 nur noch E-Modelle gefertigt; Produktionsanlauf war Ende 2019. Die zunehmende Automatisierung nach der technologischen Strategie (1) Tendenz zur Vollautomatisierung wird dadurch belegt, dass 1500 neue stationäre Roboter zum Einsatz kommen. Auch Hyundai arbeitet ab 2021 mit einer modularen Elektroplattform für E-Modelle und strebt hierdurch stark vereinfachte Produktionsprozesse an (Quelle: Süddeutsche Zeitung, 07./08.03.2020).

Der Automatisierungsgrad in der Montage steigt hierdurch von 12% auf 30%. Ein Beispiel aus einer 6.000 m<sup>2</sup> großen Fertigungslinie für Seitenteile: Früher waren für einen vergleichbaren Fertigungsvorgang 25 Mitarbeiter pro Schicht eingesetzt, jetzt werden es noch drei Mitarbeiter pro Schicht sein (Quelle u.a.: heise online, 31.05.2019). Ein Personalabbau im Werk Zwickau ist nicht geplant. Hinsichtlich der neuen Fahrzeug-Architektur bei E-Modellen und einer entsprechenden, schlankeren Fertigung berichtet VW-Vorstand Diess, dass sich ein VW ID.3 um 40% günstiger produzieren lässt als ein e-Golf (welcher auf der Verbrenner-Architektur basiert) (Quelle: ecomento.de, 19.11.2019).

Zum Thema Qualifizierung bei VW in Zwickau, hier also eine disruptive Entwicklung in der Produktion: In einem Trainingscenter E-Mobilität waren für 8.000 Mitarbeiter bis Ende 2019 rund 13.000 Trainingstage vorgesehen, also ein erhebliches Volumen an Weiterbildung (Quellen: heise online, 31.05.2019; Deutschlandfunk Kultur Online, 14.05.2019). Insgesamt setzt VW konsequent auf Ausbau von E-Modellen, auf neue Fertigungsstrukturen für diese Modelle und auf weitergehende Elemente der Digitalisierung (H. Diess: „Die Zeit klassischer Automobilhersteller ist vorbei“, Quelle: Focus online, 17.01.2020).

Ebenso modern ist die Fertigungsstrategie des neuen, konsequent als E-Modell entwickelten **Porsche Taycan** in Stuttgart-Zuffenhausen. Die Elektromotoren werden vollautomatisiert hergestellt. Grund hierfür sei die Präzisionsmontage. Dabei wird jedes Werkstück vor dem Einbau gescannt und mit der Toleranzvorgabe verglichen. Es gibt keine Linienfertigung in der Endmontage. Die Karosserien werden mit wegeflexiblen FTS an die Montagestationen gebracht (Begriff bei Porsche: Flexi-Linie). Für spezielle Ausstattungsvarianten werden unterschiedliche Montagestationen angefahren (Quelle u.a.: ADAC Motorwelt, 3/2018). Somit verfolgt Porsche bei der Produktion des Taycan eine neue Produktionsstrategie, die aus einer Kombination von teilweise vollautomatisierter Produktion plus Montageinseln in der Endmontage besteht (manuelle Montage mit Assistenzsystemen), also die technologischen Strategie (3). Der Nutzen der Endmontage in Montageinseln besteht in der Flexibilität, mit der die Produktion auf unterschiedliche Varianten angepasst werden kann.

**Audi** erprobte bereits 2016 die Endmontage in flexiblen Fertigungsinseln für Verbrenner-Modelle im Premium-Segment. „Audi schafft das Fließband ab“, lautete die etwas überzogene Schlagzeile in mehreren Tageszeitungen (Quellen u.a. Süddeutsche Zeitung, 26.11.2016; sowie Audi Information, 2017). Autonome FTS steuern 200 Montageinseln an, jeweils die nächste Station mit geringerer Auslastung. Nutzen: Fehlende Teile führen nicht zu einem Stillstand und – abhängig von der Typenvielfalt – können einzelne Montagestationen übersprungen werden. Audi führt eine um 20% höhere Produktivität und eine verbesserte Auslastung an, da es deutlich seltener zu einem Produktions-Stillstand kommt. Außerdem wird auf einen ergonomischen Nutzen hingewiesen. Da es sich um keine taktgebundene Produktion handelt, können auch ältere oder leistungsgeminderte Montagearbeiter weiter beschäftigt werden. „In zehn Jahren wird die Produktion völlig anders aussehen“, so der damalige Audi-Produktionsvorstand Hubert Wachtl (Audi Information, 2017). Aktuell werden bei Audi neben der klassischen Linienfertigung einzelne Produktionssegmente, so die Hinterachs-Vormontage, als modulare Montage mit flexiblen Montageinseln gefahren (Kern & Bauernhansl, 2019).

Im Herbst 2018 nahm **Audi** in seinem neu ausgebauten **Werk in Brüssel** die Großserienfertigung von E-Modellen auf (Audi e-tron). Das Produktions-Layout entspricht einer klassischen Linienfertigung, allerdings ohne feste Taktzeiten. Einzelne Produktionssegmente werden mittels stationärer Roboter vollautomatisiert gefahren, so in der Fertigung der Batteriegehäuse und dem Einsetzen und Ver-

schrauben der Batterien. Die Verlegung der Hochvolt-Kabel erfolgt durch manuelle Montage. Audi ist der weltweit einzige Hersteller von Elektrofahrzeugen, der seine Batteriemodule im gleichen Werk montiert. Die Batteriezellen werden von LG geliefert. Batteriemodule und Elektromotoren werden von FTS „just in sequence“ an die Montagelinie geliefert. Hier handelt es sich also um eine modernisierte Linienfertigung mit partieller Vollautomatisierung. Zur Vorbereitung auf die völlig neuen Montageprozesse wurden Mitarbeiter mit 200.000 Stunden Weiterbildung geschult (Quellen: Neue Züricher Zeitung, 18.03.2019; Audi Pressemitteilungen, 2019).

Auch im Bereich der Zulieferindustrie können Fahrzeugteile vollautomatisiert hergestellt werden. Ein Beispiel ist die Fertigung von E-Motorwellen, bei der die Weichbearbeitung, das Härten sowie die Hartbearbeitung in einer geschlossenen Produktionsstation erfolgt. Multifunktionale Maschinen ermöglichen eine hohe Flexibilität bei gleichzeitiger Prozesssicherheit (EMAG GmbH, Quelle: produktion.de, 10.05.2019). Nur ein Operator initiiert und überwacht den gesamten Fertigungsprozess.

Bei **BMW und Daimler** ist die Produktionsphilosophie eine andere als bei VW und seinen Marken. E-Modelle sollen auf den gleichen Produktionslinien gefertigt werden wie Verbrenner-Modelle und Plug-in Hybride. Der Begriff hierfür bei Daimler lautet „Multilinie“ (Maisch, 2019), bei BMW „Systemintegration“. Bis 2021 wird das BMW Werk Dingolfing für die Produktion des reinen elektrischen iNEXT aufgerüstet (Quelle: ecomento.de, 02.12.2019). Entsprechend dieser Produktionsstrategie sind auch die Fahrzeug-Architekturen bei Daimler und bei BMW nicht konsequent auf E-Modelle ausgelegt, anders als bei VW (vgl. Bergmann, 2020b).

Die neuen E-Modelle des Smart und auch des E-Mini werden ausschließlich in China produziert und für den deutschen Markt importiert. Beide Hersteller, Daimler und BMW, wollen bei E-Modellen aufholen, ob diese jedoch langfristig in Deutschland oder evtl. in China produziert werden (dort höhere Stückzahlen, daher wirtschaftlicher) wird sich noch zeigen. Hinsichtlich der Produktionstechnologie in Deutschland ist daher zunächst keine grundsätzlich neues Produktions-Layout zu erwarten. Industrie 4.0 Anwendungen gibt es natürlich, diese richten sich jedoch vorwiegend auf Prozesse der Intralogistik (vgl. Schulz, 2019, zu den derzeit noch bestehenden Grenzen) und auf den Einsatz von Cobots bei Montageprozessen. Außer dass Produktionsmitarbeiter in Hochvolt-Technik geschult werden müssen, ergeben sich keine grundsätzlich neuen Arbeitsprozesse und Qualifikationsanforderungen in der Fläche der Werker. Nur vereinzelt sind Datenbrillen-unterstützte Montageprozesse oder Augmented Reality in der Produktion zu finden (z.B. im BMW Werk Regensburg; s. produktion.de, 2019, und Video hierzu).

Diese Einschätzung könnte mit der Eröffnung der „Factory 56“ von **Mercedes** im September 2020 in Sindelfingen relativiert werden. Dieses Werk wurde produktionstechnologisch völlig neu konzipiert. Gefertigt wird hier die neue S-Klasse in allen Antriebsvarianten, also auch der kommende EQS als rein elektrisches Modell. Zentrale Merkmale der Produktion sind: umfassende Vernetzung mittel 5G-Technologie, keine Fließband-Fertigung, stattdessen manuelle Montage an fahrerlosen Transportsystemen (FTS) als Montageplattform (ca. 300 FTS sind im Einsatz), von Daimler als „TecLine“ bezeichnet. Damit ist ein flexibler Produktionsablauf in der Linienfertigung möglich. Eine modulare Montage in Montageinseln scheint jedoch nicht vorgesehen zu sein. Daimler spricht von einem Produktivitätsgewinn von 25% im Vergleich zur klassischen Linienfertigung am Standort (Quellen: Daimler Pressemitteilung vom 02.02.2020; faz.net, 02.09.2020; reuters, 02.02.2020, 11:59).

Zum Einsatz von **Cobots** in der Automobilindustrie ist die in dem Beitrag dargelegte, kritische Sichtweise zu relativieren. In der klassischen Linienfertigung ist der Einsatz von Cobots nicht unbedingt system-gesteuert. Vielmehr handelt es sich hier schlicht um Werkzeuge, die ergonomisch sinnvoll sind, z.B. wenn es um das Einheben von schweren oder sperrigen Teilen in der Karosserie-Montage geht. Verallgemeinert ausgedrückt: Je größer und schwerer die Verbauteile sind, desto mehr macht der Einsatz von Cobots aus ergonomischen Gründen Sinn, auch unabhängig von Industrie 4.0 Anwendungen.

Ein internationales Beispiel ist die neue, auf Vollautomatisierung abzielende Produktionsstrategie von **Nissan**: Im Werk Tochigi baut Nissan im Laufe des Jahres 2020 die Produktion auf eine weit gehende Vollautomatisierung von zentralen Montageprozessen um. Weitere Werke weltweit sollen schrittweise folgen. Dieses neue Produktions-Layout soll künftig für Verbrenner- und E-Modelle gleichermaßen geeignet sein. Insbesondere handelt es um ein „universelles Antriebsstrang-Montagesystem“ („universal powertrain mounting system“), bei dem die Montage des gesamten Antriebsstrangs vollautomatisiert erfolgt. Insgesamt sind 27 unterschiedliche Modul-Kombinationen des Antriebsstrangs möglich. Gelingt dies prozessstabil, dann könnte man von einem entscheidenden Durchbruch in der Prozessautomatisierung nach Industrie 4.0 in der Automobilproduktion sprechen. Auch weitere, ergonomisch problematische Montagestationen, wie das Einheben und Befestigen des Fahrzeug-Himmels, sollen vollautomatisiert werden (vgl. Price, 2020, sowie ein Nissan-Video hierzu). Außer der Tatsache, dass sehr viele Montage-Arbeitsplätze in diesem System substituiert werden, ist noch nicht erkennbar, wie sich dies auf das Thema Qualifizierung auswirken wird.

Mit der schrittweisen Umstellung auf E-Mobilität treten auch neue Player aus dem Bereich der Zulieferindustrie auf den Plan und machen den traditionellen Automobilproduzenten ihre Kernkompetenzen streitig. Bosch entwickelte gemeinsam mit Benteler (Paderborn) eine komplette Elektroantriebsplattform mit allen Aggregaten einschließlich der Bremsen, „Rolling Chassis“ genannt. Kleinere Autohersteller können auf der E-Plattform ihre beliebigen Design- und Aufbauvarianten realisieren. Als erster Kunde wird Pininfarina diese Plattform nutzen (Quellen: Handelsblatt online, 06.04.2020; ecomento.de , 20.04.2020). Die Antriebssparte von Continental, Vitesco, produziert in Tianjin, China, bereits elektrische Antrieb für PSA und Hyundai und gründete ein Entwicklungszentrum für E-Antriebe, welches 2021 in Betrieb gehen soll (Quelle: wiwo.de, 21.04.2020).

Die Beispiele aus der Automobilindustrie stehen für:

- Klare technologische Produktionsstrategien sind nicht erkennbar. Strategie (1), tendenzielle Vollautomatisierung dominiert bei VW; Strategie (3) flexible Montagesysteme bei Porsche und im Ansatz bei Audi – jeweils für die Produktion von E-Modellen. BMW und Mercedes setzen hingegen auf die traditionelle Linienfertigung mit Detaillösungen nach Industrie 4.0 (davon jedoch abweichend Mercedes Factory 56).
- Daher ist ein konsistenter Qualifizierungsbedarf nicht erkennbar. Für E-Mobilität wird ein genereller Weiterbildungsbedarf von VW im Werk Zwickau-Mosel und von Audi in Brüssel werkspezifisch umgesetzt.
- Eine disruptive Entwicklung, die in der Fläche auf Arbeitsprozesse durchschlägt, zeichnet sich erst für spätere Jahre ab, etwa ab 2025. Veränderte Qualifikationsanforderungen können auf betrieblicher Ebene verlässlich nur für Teilfunktionen wie die Instandhaltung oder für die Konstruktion und den Musterbau Bereich bestimmt werden.

- Die Automobil-Zulieferindustrie stellt sich auf eine höhere Bedeutung von E-Mobilität ein. Systematische Weiterbildungsinitiativen sind derzeit noch rar, aber es gibt Ansätze in dieser Richtung (vgl. Beitrag in Organisationspsychologie)

### Quellenverzeichnis zum Supplement

(in Ergänzung des Beitrags in Wirtschaftspsychologie, Band 3/2020)

Audi Information (2017). Modulare Montage: Audi-Fabrik der Zukunft. URL: <https://www.audi.com/content/investor-presentations/2017>

Audi Pressemitteilungen (2019). Produktion des Audi e-tron im CO2-neutralen Werk von Audi Brussels, 21.03.2019. URL: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/bruessel-belgien-203>, sowie 14.03.2019: URL: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/audi-brussels-sanv-5526/standort-bruessel-5527>

Bergmann, G. (2020a). Industrie 4.0 – Arbeitswelt 4.0: Konsequenzen für Arbeitsprozesse und Qualifizierung in der industriellen Produktion). In A. Haubrock (Hrsg.), Digitalisierung – das HR-Management der Zukunft (S. 11 – 54). Stuttgart: Kohlhammer

Bergmann, G. (2020b - in Vorb.). Die prekäre Situation der Automobilindustrie – Industrie 4.0, Automatisierung, Elektromobilität und rückläufige Wertschöpfung. Vorabdruck beim Verfasser erhältlich

Cap Gemini Research Institute (2019). Smart Factories @ Scale. Intelligente Fabriken könnten die Weltwirtschaft bis 2023 um 1,5 Billionen US-Dollar ankurbeln. Veröffentlicht 11/2019. URL: <https://www.capgemini.com/de-de/research/smart-factories-scale/> sowie PDF der Studie: <https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2019/11/Report—Smart-Factories.pdf>

CAR (2019). Center Automotive Research, Universität Duisburg-Essen. Elektromobilität kostet viele Arbeitsplätze in der Autoindustrie; vgl. WDR.de, WDR aktuell, 29.09.2019; Welt am Sonntag, Vorabmeldung 29.09.2019

Daimler Pressemitteilung (2020). „Factory 56“. Mercedes-Benz Cars steigert Flexibilität und Effizienz in der Produktion. URL: <https://www.daimler.com/innovation/produktion/factory-56.html>

FEV/VDMA-Studie (2018). Der Antrieb im Wandel – Auswirkungen der Elektrifizierung auf den Maschinenbau und die Zulieferindustrie. Aachen: FEV Consulting, veröffentlicht 10.10.2018. URL: <http://magazine.fev.com/de/category/consulting-de>. Link zur Studie als PDF: [https://www.fev-consulting.com/fileadmin/user\\_upload/Consulting/Downloads/Publikationen/Transformation\\_of\\_Powertrains.pdf](https://www.fev-consulting.com/fileadmin/user_upload/Consulting/Downloads/Publikationen/Transformation_of_Powertrains.pdf)

Heinrich, H. (2018). Der lange Weg von der Standardisierung zur Automatisierung in einer modernen Halbleiterfabrik, Vortrag 12.09.2018, Dresden: Infineon Technologies AG

Kern, W. & Bauernhansl, T. (2019). Die Modulare Montage – Konzept, Anwendung und Umsetzung in einer Vormontage der Audi AG. In Fraunhofer IPA (Hrsg.), 1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 18). Stuttgart: Fraunhofer IPA

Maisch, F. (2019). Weltweite Produktanläufe – Komplexität methodisch vorbereiten und steuern. In Fraunhofer IPA (Hrsg.), 1. Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 13). Stuttgart: Fraunhofer IPA

Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G. & Helmrich, R. (2018). Elektromobilität 2035. Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen. IAB Forschungsbericht 8/2018. Nürnberg: IAB

Overdick, M. (2019). Industrie 4.0: Neue Möglichkeiten der Produktion. Vortrag TAE-Tagung (Technische Akademie Esslingen) „Industrie 4.0 und das Internet of Things“ in Ostfildern, 20.11.2019; Vorstellung auf der Hannover Messe 2019 – Smart Factory Now: <https://www.youtube.com/watch?v=Mg2X3lWSPPA>

Price, G. (2020). Nissan lines up its next-gen factory technology, [automotivemanufacturingsolutions.com](http://automotivemanufacturingsolutions.com), 10.01.2020. URL: <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/nissan/nissan-lines-up-its-next-gen-factory-technology/39876.article> – vgl. auch [ecomento.de](http://ecomento.de), 03.12.2019 – sowie Video “Nissan Intelligent Factory in Tochigi” <https://www.youtube.com/watch?v=gzb3dhGqRnw>, veröffentlicht am 28.11.2019. Das Youtube-Video von Nissan zeigt klassische Montageprozesse im Vergleich zu den im Werk neu konzipierten vollautomatischen Montageprozessen (in einer animierten Darstellung). Das Video demonstriert, dass viele der bisherigen manuellen Montagetätigkeiten vollautomatisiert werden.

Produktion.de (2019). Wie BMW Industrie 4.0 mit den Mitarbeitern entwickelt, 28. 05. 2019. URL: [https://www.produktion.de/industrial\\_future\\_roi/wie-bmw-industrie-4-0-mit-den-mitarbeitern-entwickelt-247.html](https://www.produktion.de/industrial_future_roi/wie-bmw-industrie-4-0-mit-den-mitarbeitern-entwickelt-247.html) - sowie ein Video auf Youtube, veröffentlicht am 30.11.2018. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=g5\\_1hLLyYD4](https://www.youtube.com/watch?v=g5_1hLLyYD4)

Schulz, R. (2019). Intralogistik für eine wandlungsfähige Automobilfertigung. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.). 1.Stuttgarter Tagung zur Zukunft der Automobilproduktion, 26.09.2019, Abstract-Band (S. 9). Stuttgart: Fraunhofer IPA

Schwankner, C. (2019). Industrie 4.0 bringt Mensch und Maschine zusammen. B&R Kundenmagazin, 11/2019. URL: [https://www.br-automation.com/de-de/ueber-uns/kundenmagazin/2019/201911/industrie-40-bringt-mensch-und-maschine-zusammen/?utm\\_source=industriemagazin.at&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=2020atmedia&utm\\_content=industriepc](https://www.br-automation.com/de-de/ueber-uns/kundenmagazin/2019/201911/industrie-40-bringt-mensch-und-maschine-zusammen/?utm_source=industriemagazin.at&utm_medium=email&utm_campaign=2020atmedia&utm_content=industriepc)

SEW Eurodrive (2019).Schaufensterfabrik Graben-Neudorf. URL: <https://www.sew-eurodrive.de/automatisierung/fabrikautomatisierung/industrie-40/schaufensterfabrik/schaufensterfabrik.html>

Soder, J. (2017). Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, M. ten Hompel (Hrsg.), Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion (S. 3 – 25). Berlin: Springer

**Autor:** Prof. Dr. Günther Bergmann, Professor für Personalmanagement a.D., Hochschule Pforzheim.  
Email: [guenther.bergmann@hs-pforzheim.de](mailto:guenther.bergmann@hs-pforzheim.de)