

Klaus-Jürgen Meier  
Matthias Pfeffer *Hrsg.*

# Produktion und Logistik in der digitalen Transformation

Analyse – Planung – Praxiserfahrungen



Springer Gabler

---

# Produktion und Logistik in der digitalen Transformation

---

Klaus-Jürgen Meier • Matthias Pfeffer  
Hrsg.

# Produktion und Logistik in der digitalen Transformation

Analyse – Planung – Praxiserfahrungen

*Hrsg.*

Klaus-Jürgen Meier  
Produktionsmanagement und Logistik  
Hochschule München  
München, Deutschland

Matthias Pfeffer  
Wirtschaftsingenieurwesen  
Hochschule der bayerischen Wirtschaft gG  
München, Deutschland

ISBN 978-3-658-36559-2      ISBN 978-3-658-36560-8 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-36560-8>

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

Springer Gabler

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Susanne Kramer

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Geleitwort

Die Schlagworte „Industrie 4.0“ oder „Vierte industrielle Revolution“ bezeichnen die Vernetzung der gesamten Wertschöpfungskette von der Ideenfindung bis zum Kunden mit intelligenter Informationstechnologie. Sogar der Weg von einfachen und billigen Produkten wird mithilfe von RFID-Chips nachvollziehbar. Am Endpunkt steht die nahezu totale Kontrolle über die Wertschöpfungskette, zusammen mit einer größtmöglichen Flexibilität und intelligenter Selbstorganisation in Teilbereichen.

Diese Vierte Revolution ist noch einmal tiefgreifender als es die ersten drei waren, die jede für sich die Welt fundamental verändert haben:

- die Mechanisierung mittels Wasser- und Dampfkraft und dem Bau der Eisenbahnen ab Ende des 18. Jahrhunderts, zunächst in England;
- die Zweite industrielle Revolution ab etwa 1870 mithilfe von elektrischer Energie, Massenfertigung mithilfe von Fließbändern und später dem Automobil und
- die Computerisierung und weitere Automatisierung der Produktion ab etwa 1960.

Bereits während der Ersten industriellen Revolution sprachen Kritiker wie Karl Marx (1818–1883) von einer „Umwälzung aller Lebensverhältnisse“. Das stimmte zwar, galt aber vor allem für die Bewohner von Städten bzw. Großstädten und die neu entstehende Arbeiterschaft. Auf dem Land und in den Dörfern ging die alte Lebensweise weitgehend unverändert weiter, in Deutschland oft bis in die 1950er-Jahre.

Die Digitalisierung umfasst nicht nur die Produktion, sondern alle Lebensbereiche. Sie dringt in das Betriebssystem fast jedes Menschen ein, der ein Smartphone besitzt – und fast jeder Mensch besitzt ein Smartphone. Die Digitalisierung verändert die Art, wie wir miteinander kommunizieren, Wissen speichern und verarbeiten, ja die Art, wie unser Gehirn arbeitet. Junge Menschen lesen zum Beispiel im Durchschnitt viel weniger; YouTube und Videos werden zu einem dominanten Medium. Das alphanumerische Denken geht zurück, stattdessen folgen wir intuitiven Click-Pfaden. Ohne Smartphone sind wir verloren – und viele arbeiten daran, dass das so bleibt. Zum Beispiel wird bei vielen Banken für Transaktionen eine TAN ans Smartphone versandt. Der verstorbene Herausgeber der FAZ, Frank Schirrmacher, hat dies schon 2011 in seinem Buch *Payback: Warum wir im*

*Informationszeitalter gezwungen sind zu tun, was wir nicht tun wollen, und wie wir die Kontrolle über unser Denken zurückgewinnen* beschrieben.

Digitalisierung ist ohne Künstliche Intelligenz (KI) nicht zu denken. Diese hat mittlerweile massive Fortschritte gemacht – ziemlich perfekte Übersetzungsprogramme, selbstfahrende Autos, Schachcomputer, Entwicklungsprogramme. Vieles, was noch vor zehn Jahren im Bereich der Science Fiction lag, ist erreicht oder in greifbarer Nähe. KI hat – wie jede Technologie – ihre Möglichkeiten (in diesem Fall viele) und Gefahren (in diesem Fall große). Henry A. Kissinger, der große alte Mann der amerikanischen Außenpolitik, nahm sich des Problems in seinem brillianten Aufsatz „Wie die Aufklärung endet“ 2019 im Magazin *Atlantic Monthly* an. Kissingers These: Unsere Politik und Philosophie hinken der technischen Entwicklung weit hinterher. Eine KI wird irgendwann entscheiden müssen, ob zum Beispiel ein selbstfahrendes Auto in einer kritischen Situation die junge Mutter oder die alte Frau umfährt. Und dabei vielleicht sogar viele persönliche Daten der beiden zur Verfügung haben. Es mag sein, dass der Computer richtig entscheidet, aber wir wissen nicht nach welchen Maßstäben, denn KI ist selbstlernend. Die Menschheit hat also immer weniger die Möglichkeit zum kritischen Diskurs über fundamental wichtige Fragen – wenn wir uns diesen Diskurs nicht zurückholen.

Es geht noch weiter: Nach Ray Kurzweil, einem der Pioniere der KI, wird die Menschheit um das Jahr 2045 einen Moment der „Singularität“ erleben, über den hinaus keine weiteren Voraussagen mehr möglich sind. Mensch und Maschine verschmelzen, und es entsteht etwas völlig Neues. Diese Denkrichtung ist auch als Transhumanismus bekannt. Für die einen ist das die unvermeidliche Evolution, für die anderen eher eine Schreckensnachricht. Egal, ob die Singularität eintritt: Die Veränderungen werden gravierend sein.

Die Autoren des von Klaus-Jürgen Meier und Matthias Pfeffer herausgegebenen Sammelbands geben einen umfassenden theoretischen und praktischen Einblick in die Digitalisierung bei Produktionsunternehmen. Natürlich ändern sich zum Beispiel in einem digitalisierten Unternehmen die Anforderungen an Mitarbeiter radikal. Und das Unternehmen muss updatefähig bleiben, denn auch die Umwelt und die anderen Unternehmen verändern sich in einem selbstlernenden Umfeld radikal und schnell. Reifegradmodelle und Kennzahlensysteme sowie Praxisbeispiele helfen dem Praktiker, mögliche Wege zur Digitalisierung im eigenen Unternehmen zu analysieren. Damit ist dieser Sammelband ein wichtiger Wegweiser für Unternehmen in eine neue Welt.

Digitalisierung und Industrie 4.0 sind unaufhaltsam. Mit der Covid-19-Pandemie hat der Prozess noch einmal eine massive Beschleunigung erfahren. Der vorliegende Sammelband ist ein hervorragender Ratgeber, um diese Prozesse zu verstehen und in Unternehmen und Organisationen umzusetzen.

Dabei ist wichtig, dass wir die weitergehenden gesellschaftlichen und politischen Implikationen nicht aus dem Auge verlieren, damit wir nicht nur im Unternehmen, sondern insgesamt in der Lage sind, die Veränderung so zu gestalten, dass sie Mitarbeitern und Menschen dienlich sind.

Prof. Dr. Max Otte

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Theorie

- 1 Digitalisierung und Industrie 4.0. . . . .** 3  
Ismail Altintac
- 2 Einsatz von Reifegradmodellen zur Ableitung der unternehmensspezifischen Digitalisierungsstrategie in der Produktion . . .** 25  
Klaus-Jürgen Meier
- 3 Der Weg zur erfolgreichen Digitalisierung im Produktionsunternehmen . . .** 39  
Klaus-Jürgen Meier
- 4 Kennzahlen für den digitalen Wandel. . . . .** 63  
Matthias Pfeffer und Philipp Reukauf
- 5 Neue Mitarbeiterkompetenzen im digitalen Zeitalter . . . . .** 85  
Matthias Pfeffer und Julian Stranz
- 6 Updatefähigkeit als Schlüsselkompetenz . . . . .** 109  
Olav Hinz
- 7 Digitale Transformation des CO<sub>2</sub>e-Transportemissionenmanagements im Mittelstand. . . . .** 123  
Ines Sturz und Payam Dehdari
- 8 Welche Rolle bleibt dem Menschen in einer digitalen Arbeitswelt? . . . . .** 143  
Bernd Müssig

## Teil II Praxis

- 9 Digitalisierung im Materialfluss von Produktionsunternehmen . . . . .** 157  
Klaus Weiß und Gerhard Metze
- 10 Cyber Security im Mittelstand – Bedrohungen und Handlungsempfehlungen . . . . .** 167  
Sabine Rathmayer und Kai Koster

---

<b>11</b>	<b>Digitale Transformation im Maschinenbau: Auf dem Weg zum digitalen Unternehmen</b> . . . . .	183
	Marius Grathwohl und Irina Bischof	
<b>12</b>	<b>Intelligente, vernetzte Produkte – Digitalisierung mit Kundenfokus</b> . . . . .	203
	Josef Heißenhuber	
<b>13</b>	<b>Digitale Transformation im Mittelstand: Der digitale Zwilling der Projekt-Organisation</b> . . . . .	221
	Thomas Koytek und Michael Lübbecke	
<b>14</b>	<b>Retrofit Industrie 4.0 – Maschinenanbindung einer heterogenen Maschinenflotte bis in die Cloud</b> . . . . .	233
	Wolfgang Sochor, Christof Gilnhammer, Christian Hermer und Jens Folmer	
<b>15</b>	<b>Denken in Wertschöpfungsnetzen und Zusammenarbeit in Ökosystemen am Beispiel von Maschinenlieferanten</b> . . . . .	251
	Ulrich Löwen und Fabian Hartner	
<b>16</b>	<b>Digitales Informationsmanagement im Mittelstand</b> . . . . .	269
	Michael Salm, Max Ploss und Matthias Pfeffer	
<b>17</b>	<b>Fabrikplanung „Remote“ – Ein Planungsprojekt im Digitalen Zeitalter</b> . . . . .	289
	Julian Stranz	

---

**Teil I**

**Theorie**



Ismail Altintac

## Zusammenfassung

Sowohl der Begriff Digitalisierung als auch Industrie 4.0 sind in der heutigen Zeit häufig zu hören. Was bedeutet Digitalisierung und wie hängt sie mit der Industrie 4.0 zusammen? Hier werden diese Begriffe separat betrachtet und voneinander abgegrenzt.

## 1.1 Digitalisierung

### Überblick

- Das Wort Digitalisierung ist kein Begriff der Neuzeit. Im engeren Sinn geht es um die Umwandlung von analogen in digitale Daten. Somit gibt es diesen Begriff bereits seit dem ersten Telegrafen im 19. Jahrhundert. Im weiten Sinn umfasst die Definition ebenfalls die Umwandlung von Handlungen und Prozessen in eine maschinenlesbare Sprache.
- Mithilfe der Digitalisierung können Daten weltweit in Sekundenschnelle geteilt und maschinell ausgewertet werden. Dies führt unter anderem auch zu beträchtlichen Veränderungen, zum Beispiel an vorhandenen Geschäftsmodellen. Aus diesem Grund wird die Digitalisierung auch als vierte industrielle Revolution gesehen, die ebenfalls einen Megatrendcharakter aufweist.

---

I. Altintac (✉)  
München, Deutschland  
E-Mail: [ismail.altintac@visual-technologies.de](mailto:ismail.altintac@visual-technologies.de)

- Unter der digitalen Transformation wird eine Veränderung aufgrund digitaler Technologien im Unternehmen verstanden. Dabei handelt es sich um eine zielgerichtete Veränderung, bei der neue Technologien eingeführt werden. Somit beschreibt diese Begrifflichkeit einen Veränderungsprozess.

Der Begriff Digitalisierung wird seit 2014 in der Öffentlichkeit häufig genutzt [1]. Durch Covid-19 hat sich dies auch nicht geändert. Im Gegenteil: Die Kontaktbeschränkung durch Covid-19 hat dazu geführt, dass das Thema Digitalisierung in Unternehmen priorisiert und ausgebaut werden soll [2]. Jedoch ist die Digitalisierung kein Phänomen der heutigen Zeit. Schon im 17. Jahrhundert ist durch die Umwandlung arabischer Nummern in binäre Zeichen von Digitalisierung die Rede. Auch die Entwicklung des ersten Telegrafen ab dem Jahr 1833 oder die Verwendung der ersten Großrechner der 1960er-Jahre werden mit der Entstehung der Digitalisierung in Verbindung gebracht. Obwohl Digitalisierung ihre Wurzeln schon in den letzten zwei Jahrhunderten hat, etablierte sich bis jetzt noch kein einheitliches Begriffsverständnis [3].

### 1.1.1 Allgemeine Begriffsnäherung

Thomas Wolf und Jacqueline-Helena Strohschen schlagen folgende Definition vor [4]: „Wir sprechen von Digitalisierung, wenn eine analoge Leistungserbringung durch Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell ganz oder teilweise ersetzt wird“.

Digitalisierung im engeren Sinn meint zunächst die reine Umwandlung von analogen in digitale Daten, also das Überführen analoger Daten in ein diskretes (abgestuftes) System bzw. in digitale Werte, um diese „elektronisch zu übertragen, zu speichern und zu verarbeiten“. Hierzu zählen beispielsweise Bilder, Texte oder auch Töne. Diese können nur sehr wenige Wertezustände, im Extremfall sogar nur zwei (Binärsysteme) besitzen. Bei der Überführung ist davon auszugehen, dass nicht alle Informationen ohne Verluste übertragen werden können [5].

Zum Abbilden von Schreibvorgängen wurde bereits 1833 ein Telegrafengerät verwendet. Die Übermittlung der Daten erfolgte über Signale durch das Morsealphabet. Dieser nahm drei Zustände ein: kurzes Signal, langes Signal und Pause. Auch im Zuge der dritten industriellen Revolution war die Digitaltechnologie vertreten. Damals wurden bereits aus Halbleitermaterialien Schaltungen gefertigt. In den 1990er-Jahren wurden immer mehr analoge Datenbestände digitalisiert. Zu diesem Zeitpunkt wurden ebenfalls erste Softwarekonzepte erstellt, die die Arbeitsprozesse im Büro unterstützen sollten [1].

Ein Beispiel für die Digitalisierung im engeren Sinn stellt die Übertragung einer Zahlenreihe in Excel dar. Soll eine mathematische Funktion im Kopf berechnet werden, erfolgt die Umwandlung von analog zu digital. Wird eine Excel-Funktion angewendet, so wird eine Leistung mithilfe eines digitalen Modells erbracht. Das Drucken des Ergebnisses stellt eine Rücktransformation von digital auf analog dar. Als weiteres Beispiel kann die Fotografie genannt werden. Das Foto, das einst einen optochemischen Prozess beinhaltete, wird heutzutage digital erstellt, digital bearbeitet und durch den Druckvorgang analogisiert. Von Digitalisierung ist ebenfalls die Rede, wenn ein Dokument als PDF-Datei gespeichert und nicht auf Papier ausgedruckt wird [4].

Durch die Digitalisierung analoger Informationen ist eine kostengünstige und wiederholte Reproduzierung, eine weltweite Verteilung innerhalb kürzester Zeit sowie eine maschinelle Auswertung und Weiterverarbeitung der analogen Daten möglich [6]. Dies wiederum führt zu einer Neugestaltung und Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen, dem Einsatz sowie der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, aber auch von Unternehmensorganisationen sowie -prozessen [3].

Unter der Digitalisierung im weiteren Sinn versteht man zusätzlich „die Übersetzung von analogen Vorgängen und Handlungen in eine von Maschinen lesbare Sprache“ [6]. Analoge Prozesse werden also durch den Einsatz von Technologie ganz oder teilweise abgelöst, was sich auf mehrere Ebenen auswirkt, wie die Produktion, die Datenerfassung oder das Management. [7]. Dies ist zum Beispiel bei der Automatisierung oder der technologischen Weiterentwicklung der Fall [6].

### 1.1.2 Digitalisierung im Hinblick auf die vierte industrielle Revolution

Im Kontext der Digitalisierung wird auch von der vierten industriellen Revolution gesprochen, da sie immense Auswirkungen auf die Produktionssysteme, das Marketing, den Vertrieb und weitere Unternehmensbereiche mit sich bringt. Das Internet stellt dabei einen zentralen Faktor in der Technologie der vierten industriellen Revolution dar. Die Kommunikation via Internet beschränkt sich hierbei nicht auf Menschen, sondern bezieht sich auch auf Maschinen. Die Vernetzung von Mensch-Maschine-Servicegerät wird ermöglicht. Solch ein Netzwerk wird auch Internet der Dinge oder Internet of Things, Internet of Everything genannt [7]. Werden viele Zyklen des Digitalisierungsprozesses betrachtet und die dabei zustande kommenden Daten gespeichert, so werden Begriffe wie Big Data oder Data Analytics genutzt [4].

### 1.1.3 Digitalisierung als Megatrend

Insbesondere in Industriestaaten handelt es sich bei der Digitalisierung um einen Megatrend, da sie ein großes Veränderungspotenzial mit sich bringt und über Jahrzehnte anhält. Laut Streibich (2015) ist die „Digitalisierung [...] heute mehr als ein weltweiter Megatrend. Die Digitalisierung treibt disruptive Veränderungen in jeder Branche, zu jeder Zeit, überall auf der Welt. Deshalb ist sie kein technologisches Konzept, sondern eine umwälzende Veränderung unserer Gesellschaft, die alle Lebensbereiche der Menschen erfasst [...]. Insgesamt treibt die Digitalisierung Wachstum und Wohlstand an wie keine andere Veränderung unserer Zeit“ [8].

### 1.1.4 Digitalisierung und digitale Transformation

Mit den Begrifflichkeiten Digitalisierung und digitale Transformation werden unterschiedliche Sachverhalte impliziert. Zwar kommt es vor, dass sie in Medien, Gesprächen [9] und in Studien synonym benutzt werden, jedoch unterscheiden sie sich signifikant hinsichtlich ihrer Bedeutung [10].

Mit Digitalisierung ist – wie im vorherigen Kapitel bereits beschrieben – ein Prozess gemeint, mit dem digitale Technologien in ein bereits bestehendes Geschäftsmodell und aktuelle Prozesse implementiert werden. Bestehende Geschäftsmodelle werden demnach an aktuelle Marktansprüche angepasst [11]. Es geht also um den bloßen Einsatz von digitalen Technologien, ohne den Fokus auf einen Veränderungsprozess zu legen [12].

Digitale Transformation hingegen bezeichnet die vollständige Umwandlung bestehender Geschäftsmodelle und Prozesse. Die Auswirkungen der digitalen Transformation gestalten sich radikaler und reichen weit über die der Digitalisierung hinaus, da sie strukturelle und weitreichende Veränderungen von Industrien mit sich bringen. Ohne Digitalisierung ist digitale Transformation nicht möglich [10]. Ziel der digitalen Transformation von Unternehmen ist die Erhöhung der Produktivität, die Schaffung von Werten sowie die Verbesserung der sozialen Wohlfahrt [13]. Kennzeichnend für die digitale Transformation ist dabei ihre Unausweichlichkeit, um wettbewerbsfähig im fortschreitenden Markt zu bleiben. Zudem ist sie unumkehrbar, da sie nach ihrer Etablierung nicht mehr wegzudenken ist. Gleichzeitig ist die digitale Transformation mit Unsicherheit behaftet, da Vorhersagen über Erfolge kaum getroffen werden können. Viele Unternehmen nehmen es sich vor, sich kontinuierlich zu überprüfen und anzupassen, wodurch digitale Transformationen in immer kürzeren Abständen notwendig ist [12].

Es ist für Unternehmen von Bedeutung, beide Begriffe klar voneinander zu unterscheiden, um richtige Entscheidungen treffen zu können. „Sicherlich schaffen Digitalisierungsprojekte die Grundlage für neue Geschäftsmodelle und strukturelle Veränderungen. Aber nur wenn die digitale Transformation angestoßen und vollzogen wird, können die damit verbundenen Chancen auch tatsächlich genutzt werden.“ [10].

## 1.2 Industrie 4.0

### Überblick

- Die vierte industrielle Revolution ist auch unter dem Begriff Industrie 4.0 bekannt. Somit ist sie eine Weiterentwicklung der bisherigen drei industriellen Revolutionen. In der Literatur, aber auch länderübergreifend gibt es keine eindeutige Definition.
- Die technologische Entwicklung von Industrie 4.0 lässt sich in drei Phasen unterteilen: Das Ubiquitous Computing, das Internet der Dinge und der Dienste sowie das cyberphysische Produktionssystem (CPPS). Das CPPS stellt die Vorstufe zu Industrie 4.0 dar.
- Eine einheitliche Einteilung von Industrie 4.0 ist nicht vorhanden. Es werden sieben relevante Einsatzbereiche und Anwendungen in Bezug auf Industrie 4.0 aufgezeigt. Diese bestehen aus der Datenerfassung und -verarbeitung, der Vernetzung und Integration, der IT-Sicherheit, den Assistenzsystemen, der Selbstorganisation und dem CPPS, der Dezentralisierung und Serviceorientierung sowie einem durchgängigen digitalen Engineering. Diese sieben Funktionsbereiche sind entlang der Wertschöpfung gültig.
- Die erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0 im produzierenden Gewerbe ist von technischen, organisatorischen und normativen Voraussetzungen abhängig. Diese müssen vor bzw. während der Implementierung berücksichtigt werden.
- Industrie 4.0 bietet einen Mehrwert in den Bereichen Produktion, Personal und Unternehmensstrategie.

Bereits seit Ende 2012 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung mit mehr als 120 Mio. € Projekte im Kontext Industrie 4.0. Die Bundesregierung strebt mit dem „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ eine Innovationsförderung der deutschen Industrie an, um die deutsche Industrie für die Zukunft der Produktion und die sich stetig verändernden Rahmenbedingungen zu befähigen [14].

In Deutschland sowie weiteren Industrienationen sank über die letzten Jahre der Anteil des Produktionssektors. Um dem Rückgang entgegenzuwirken, ist es notwendig, innovationsfähig zu bleiben, den Technologiereifegrad zu bewerten und vorausschauend in die Entwicklung neuer Technologien einzusteigen. Laut Professor Dieter Spath, dem Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation, sollten vor allem die Verbesserung der Liefertreue und Produktionszeiten in den Fokus treten sowie Qualität und Kosten berücksichtigt werden. Denn von der Innovationsfähigkeit hängt künftig die Zukunft der Unternehmen ab. Die Technologie entwickelt sich exponentiell, sodass die Anforderungen an die Innovationsfähigkeit von Unternehmen stetig steigen. Unklar ist jedoch, ob und inwiefern Unternehmen extremen Anforderungen gerecht werden können und ob sich die Arbeit in der Produktion durch den Einsatz von Informa-

tions- und Kommunikationstechnik außergewöhnlich verändern wird. Dem zentralen innovationspolitischen Beratungsgremium der Bundesregierung zufolge kann der Produktionsstandort Deutschland erfolgreich bleiben, indem er die vierte industrielle Revolution im Sinn von Industrie 4.0 mitgestaltet sowie selbststeuernde, wissensbasierte, autonome und sensorgestützte Produktionssysteme entwickelt, vermarket und betreibt [15].

### 1.2.1 Definition und historische Entwicklung Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 wurde 2012 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung veröffentlicht. Ziel war es, Deutschlands weltweite Führung in der Ausrüsterindustrie zu sichern, aber auch die nationalen und globalen Herausforderungen in den Griff zu bekommen [16]. Durch eine Mensch-Maschinen-Kooperation soll die Arbeitsteilung die Produktivität verbessert und eine Verlagerung des Produktionsstandorts in Niedriglohnländer verhindert werden [17]. Da keine Normung des Begriffs Industrie 4.0 vorhanden ist, unterscheidet sich dessen Verständnis zwischen den verschiedenen Ländern. In Deutschland wird der Begriff technologieorientiert verwendet. Dabei steht die Optimierung des Produktionsprozesses im Mittelpunkt. Die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen und smarten Produkten ist nachrangig.

In Amerika hingegen steht neben der technologieorientierten Entwicklung auch die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen im Fokus. Somit ist das Verständnis von Industrie 4.0 breiter angelegt als im Vergleich zu Deutschland. In Amerika ist Industrie 4.0 unter den Begriffen Industrial Internet, Internet of Things und Smart Production bekannt. In China hingegen ist die Rede von der Strategie „Made in China 2025“. Dort existieren weiterhin kleine und mittlere Unternehmen, die sich noch nicht auf dem Stand von der dritten industriellen Revolution befinden. Daher beinhaltet diese Strategie eine Modernisierung der chinesischen Produktion. Dabei liegt der Fokus in der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Produktion sowie der Anhebung des Automatisierungsniveaus [18].

Die verschiedenen Beschreibungen von Industrie 4.0 sind sehr heterogen [19]. Sie beinhalten teilweise Ziele und allgemeine Vorstellungen wie eine neue „Stufe der Organisation und Steuerung der ganzen Supply Chain über den Produktlebenszyklus“ [20] bis hin zur Nennung ganz konkreter Objekte wie Kleincomputer als „eingebettete Systeme“, die es ermöglichen, Systeme, in denen sie „eingebettet“ sind, zu regeln, zu steuern und zu überwachen [21]. Einigkeit in der Definitionsbestimmung besteht überwiegend in folgenden Zielsetzungen (in Anlehnung an [20, 22, 23]):

- Ermöglichung individueller Kundenwünsche (mit Losgröße eins)
- Abdeckung der ganzen Wertschöpfungskette von der Entstehung der Idee, der Erteilung des Auftrags über die Konzipierung und Erstellung, der Auslieferung, dem Recycling des Produkts und der in Verbindung stehenden Dienstleistung
- Vernetzung in Echtzeit

Um Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort zu sichern und auszubauen, etablierten die deutschen Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI, basierend auf den Bemühungen der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft, die gemeinsame Initiative Plattform Industrie 4.0. Ziel dieser Plattform ist es, die Vision Industrie 4.0 in den Unternehmen voranzutreiben, indem ein koordiniertes und branchenübergreifendes Vorgehen geschaffen wird [20].

Damit der Übergang der industriellen Produktion in Richtung Industrie 4.0 gelingt, geht Deutschland einer dualen Strategie nach. Hinsichtlich der industriellen Ausrüstung soll Deutschland Leitanbieter für intelligente Produktionstechnologien werden (Cyber Physical System, CPS). Hierfür sollen Informations- und Kommunikationstechnologie mit klassischen Hochtechnologieansätzen zusammengeführt, die Wettbewerbsfähigkeit durch effiziente und nachhaltige Produktionstechnologien gesteigert werden. Durch das Internet entstehen eine räumliche Nähe und eine aktive Vernetzung zwischen Anwender und Hersteller, wodurch Wettbewerbsvorteile von deutschen Unternehmen ausgebaut werden sollen. Vorhandene Basistechnologien sollen weiterentwickelt werden, damit die Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette erreicht werden kann. Eine hohe Bereitschaft durch disruptive Veränderungen soll in den Unternehmen angestrebt werden. Die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle sowie die Weiterentwicklung vorhandener Prozesse soll zudem unterstützt werden [20].

Industrie 4.0 wird auch die vierte Revolution genannt, da ihm drei Revolutionen vorausgehen: Als erste industrielle Revolution wird die Entwicklung mechanischer Arbeits- und Kraftmaschinen mithilfe von Wasser und Dampf in der Mitte des 18. Jahrhunderts genannt. Die Möglichkeit der ersten Industrialisierung wurde in der Textil-, Eisen-, und Stahlindustrie geschaffen. Die zweite industrielle Revolution beinhaltet zum einen die Einführung von industrieller, arbeitsteiliger Massenproduktion mithilfe von Fließ- und Förderbändern, zum anderen die Verwendung der elektrischen Energie ab dem Jahr 1870. Ende des 20. Jahrhunderts, etwa in den 1960er-Jahren entwickelte sich die dritte Revolution, die heute noch vorherrscht. Sie ermöglichte die Automatisierung der Produktion durch den Einsatz von Elektronik, aber auch der Informations- und Kommunikationstechnologie [24].

Die vierte industrielle Revolution, die sich erstmals im Jahr 2011 auf der Hannover-Messe ankündigte, bezieht sich auf die Ansätze einer intelligenten Fabrik sowohl im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie als auch in der Produktion. Die intelligente Fabrik soll Unternehmen die Möglichkeit geben, die fortschreitende Komplexität, die der Einsatz neuester Informations- und Kommunikationstechnologie in der Produktion mit sich bringt, zu regulieren. Durch eine Selbstoptimierung soll es Maschinen und Produktionsprogrammen gelingen, Störanfälligkeiten zu beheben. „Intelligente Produkte besitzen dabei das Wissen über ihre zukünftige Verwendung sowie über die einzelnen Schritte des ihnen zugehörigen Produktionsprozesses.“ Die direkte Kommunikation und Interaktion von Mensch, Maschine und Ressource via Internet führt dabei zu einer Steigerung der Effizienz in der Produktion [16].

Kennzeichnend für die intelligente Fabrik sind der Einsatz von CPPS, „die Integration interner und externer Stakeholder in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse (neue Geschäftsmodelle), die Verkopplung von Produkten mit hochwertigen Dienstleistungen sowie die Vernetzung sämtlicher Produktionssysteme über das Internet“. Der heutige Ansatz der intelligenten Fabrik bzw. der Industrie 4.0 basiert auf dem Ansatz des Computer Integrated Manufacturing (CIM) der 1970er-Jahre sowie der Lean Production aus den 1990er-Jahren. Mit dem CIM-Ansatz ist eine automatisierte, computerintegrierte Produktion gemeint, in der der Faktor Mensch lediglich als Beobachter agiert. Entsprechend sieht die intelligente Fabrik keine vollautomatisierte Produktion vor, sondern beabsichtigt vielmehr die ganzheitliche Integration des Menschen in den Produktions- und Steuerungsprozess durch Mensch-Maschine-Schnittstellen. Lean Production beschreibt die effiziente Produktion bei weitgehender Einsparung von Arbeitskräften, Kosten und Material anhand verschiedener Tools (z. B. Just-In-Time, Qualitätskontrolle, Kanban). Sie kann somit als Zwischenschritt zwischen CIM und der intelligenten Fabrik verstanden werden. In Zukunft scheint die Erweiterung der Lean-Production-Methoden durch die Technologien der intelligenten Fabrik unabdingbar [25].

Heute stößt Industrie 4.0 auf sehr großes öffentliches Interesse. Es gibt eine Vielzahl an Beiträgen, Fachberichten, Interviews und Forschung. Dennoch existieren noch keine einheitlichen Standards oder konkrete Konzepte, um Industrie 4.0 einzuführen. Viele deutsche Unternehmen setzen sich noch nicht intensiv mit der Themenstellung und den vorhandenen Schwierigkeiten auseinander [26].

### 1.2.2 Phasen von Industrie 4.0

Um ein grundlegendes Verständnis des Ansatzes von Industrie 4.0 zu gewinnen, schafft David Siepmann (2016) einen Überblick über das Zusammenspiel der wichtigen Komponenten und Technologien. Dabei unterteilt er die technologische Entwicklung von Industrie 4.0 in die folgenden drei grundlegenden Phasen.

#### **Phase 1: Ubiquitous Computing**

Alle Objekte in einem System sind mit Informationstechnologie versehen, also ausgestattet mit Mikroelektronik, Sensorik, Kommunikationsmodulen und Rechenleistung. Dies ermöglicht ihnen die Verarbeitung und Versendung von Daten und Informationen. Sie werden eingesetzt in Form von intelligenten Produkten, Produktionsmitteln oder ganzen Produktionsmaschinen [25]. Großrechner verlieren immer mehr an Interesse. Der aktuelle Trend führt also hin zu kleinen intelligenten Objekten und Produkten, auch zu verstehen unter dem Begriff Embedded Computing. Sobald eine Kombination aus Embedded Computing sowie entsprechende Softwaresysteme erfolgt, wird dies als Embedded Devices verstanden. Embedded Devices machen einen wichtigen Teil von CPPS aus, sind also Teil eines größeren Systems [27]. Sobald diese zusätzlich über das Internet vernetzt werden, entsteht die erste Phase der technischen Entwicklung von Industrie 4.0, das sogenannte

Ubiquitous Computing. Der Begriff beschreibt die „Allgegenwärtigkeit kleinster, untereinander vernetzter, intelligenter Computer und Objekte, welche über das Embedded Computing mit der notwendigen Rechenleistung ausgestattet wurden“ [25].

### **Phase 2: Internet der Dinge und der Dienste**

Sobald das Embedded Computing auf das Internet trifft, entsteht eine drahtlose Kommunikation – das Internet der Dinge und Dienste wird erschaffen (abgeleitet wurde das Internet der Dinge und Dienste aus dem Begriff Internet der Dinge, im englischsprachigen Raum als Internet of Things (IoT) und Internet of Everything bezeichnet). Diese zweite Phase der technologischen Entwicklung von Industrie 4.0 beruht auf einer umfassenden Vernetzung diverser Alltagsgegenstände sowie sämtlicher Dienstleistungen. Damit ist gemeint, dass das allgegenwärtige Internet auf verschiedenste Gegenstände erweitert wird, die wiederum zu einem Bestandteil des Internets werden und als Smart Products (intelligente Produkte) bezeichnet werden können. Bereits heute sind intelligente Objekte wie Smartphones, Tablets oder vernetzte Zahnbürsten und Kühlschränke ausgestattet mit einer IP-Adresse und in der Lage, über Sensoren und Mikrochips anderen IT-Systemen und Gegenständen Informationen weiterzugeben und bereitgestellte Dienste abzurufen und zu nutzen. Diese intelligenten Produkte generieren und verarbeiten permanent Daten, woraus sie entsprechende Dienste anbieten können.

Im Rahmen von Industrie 4.0 wird die Vernetzung von Produkten, Produktionsmitteln sowie ganzen Produktionsanlagen durch das Internet der Dinge und Dienste angestrebt. Dies ermöglicht sämtlichen Produkten, selbstständig von Objekt zu Objekt miteinander zu kommunizieren, Daten zu analysieren und entsprechende Maßnahmen in die Wege zu leiten. Um eine derartige Kommunikation zu realisieren, bedarf es verschiedener Technologien [25]. Die verschiedenen, teilweise konvergierenden Technikentwicklungen bringen Funktionen hervor, die in ihrer Gesamtheit eine neue Qualität aufzeigen. Zu diesen Funktionen gehören nach Mattern und Flörkenmeier [28] die in Tab. 1.1 dargestellten.

Das Internet der Dinge und Dienste ist also in der Lage, „Informationen aus der dinglichen Welt zu erfassen, diese digital zu analysieren und entsprechend weiterzuverarbeiten“ [15]. „Dinge können dadurch mit Informationen versehen werden oder als physische Zugangspunkte zu Internetservices dienen, womit sich weitreichende und bis dato ungeahnte Möglichkeiten auf tun“ [28].

### **Phase 3: Cyberphisches Produktionssystem**

Die Nutzung eines CPPS in einem Unternehmen basiert auf einem CPS. CPS ist der erste Schritt in Richtung CPPS: Damit ist die Entwicklung der herkömmlichen Fabrik hin zu einer intelligenten Fabrik gemeint. CPS können direkt auf den Produktionsprozess einwirken, indem sie durch den Gebrauch von Sensoren Daten registrieren und in mechanische Bewegungen transformieren sowie auswerten können. Die Interaktion mit der digitalen Welt wird dadurch ermöglicht. Die Verbindung von CPS erfolgt über LAN oder WLAN, sodass lokale und weltweit verfügbare Daten und Dienste verwendet werden kön-

**Tab. 1.1** Funktionen der Technikentwicklungen im Internet der Dinge (in Anlehnung an [28])

Adressierbarkeit	Über einen Discovery-, Lookup- oder Namendienst können intelligente Objekte gefunden und ortsunabhängig abgefragt oder beeinflusst werden.
Benutzungsschnittstelle	Smarte Objekte sind in der Lage, mit Menschen zu kommunizieren, z. B. mithilfe von Methoden aus der Bild-, Sprach- und Gestenerkennung.
Effektorik	Bestandteil der Objekte sind Effektoren/Aktuatoren. Diese können elektrische Signale in mechanische Arbeit umwandeln, wodurch eine ferngesteuerte Einwirkung auf Produktionsprozesse ermöglicht wird.
Eingebettete Informationsverarbeitung	Intelligente Gegenstände können ein Gedächtnis hinsichtlich ihrer Nutzung erhalten, indem sie durch ihre Mikrokontroller, Speicherbausteine und Prozessoren sensorische Informationen interpretieren und verarbeiten können.
Identifikation	Objekte können in der intelligenten Fabrik über Strichcodes, Radio-frequency Identification (RFID) oder Near Field Communication (NFC) eindeutig hinsichtlich ihrer Produktmerkmale oder Produktionsschritte identifiziert werden. Die zugehörigen Informationen werden auf Identifikatoren (Chips) abgespeichert und können durch Mediatoren, wie RFID-Leser, abgelesen werden. Sobald der Mediator mit dem Netz verbunden ist, ist es möglich, weitere Informationen von einem Server einzuholen.
Kommunikation und Kooperation	Um Daten und Dienste gleichzeitig und gemeinsam nutzen sowie ihren Zustand aktualisieren zu können, sind intelligente Objekte fähig, sich über das Inter- oder Intranet zu vernetzen. Dies geschieht über funkbasierte Technologien (z. B. Bluetooth, Wi-Fi, GSM, WPAN, UMTS, ZigBee).
Lokalisierung	Der Aufenthaltsort von smarten Gegenständen ist sowohl ihnen selbst bekannt als auch für andere Akteure abrufbar (z. B. über GPS, Mobilfunknetz, UWB).
Sensorik	Informationen über die relevante Umgebung können anhand unterschiedlicher Sensoren aufgezeichnet und weitergeleitet werden. Auch ist es den Objekten möglich, direkt auf diese zu reagieren.

nen. Eine direkte Interaktion mit den Produktionsanlagen erfolgt über Mensch-Maschinen Schnittstellen wie Sprache, Tastatur, Maus oder Touchscreen. CPS im Kontext von Industrie 4.0 meint also ganze Produktionsanlagen und Logistikkomponenten, die intelligente Produkte, Systeme oder Fertigungsmittel enthalten. Dabei sind die Bestandteile über das Internet der Dinge miteinander verbunden. Sie werden CPPS genannt und bilden die dritte und letzte Phase der technologischen Entwicklung von Industrie 4.0 [29].

### 1.2.3 Funktionsbereiche bzw. Elemente von Industrie 4.0

Auch die Einteilung von Industrie 4.0 in seine Elemente ist in der Literatur heterogen. Eine Einteilung kann wie in Abb. 1.1 dargestellt erfolgen.



**Abb. 1.1** Funktionsbereiche von Industrie 4.0

### **Datenerfassung und -verarbeitung: Big Data und Algorithmen**

Grundlage für Industrie 4.0 bilden die Datenerfassung und -verarbeitung mit dem Ziel der Prozess- und Qualitätssicherung. Dabei geht es insbesondere um die IT-basierte Erhebung und Auswertung von Daten über Qualität, Prozesse, Produkte, Produktionsmittel oder Beschäftigte, inklusive ihres Umfelds. Die Daten werden weitergeleitet an zentrale oder spezialisierte Systeme, woraufhin darauf basierende Entscheidungen entweder von den Beschäftigten oder anhand vorab definierter Regeln eingeleitet werden [30]. Big Data stellt dabei eines der Elemente der Digitalisierung dar. Die Zunahme an Datenmengen stellt eine Herausforderung für Unternehmen dar. Mithilfe von Big Data lassen sich diese großen Datenmengen erfassen, verarbeiten und strukturiert nutzen [22]. Dabei erfolgen die Analyse und die Auswertung der erfassten Daten über Multivariatenanalyse und Algorithmen [31, 32]. Bereits im Jahr 2018 sind die größten Marktanteile im Bereich Big Data und Analytics in den Händen von Großunternehmen wie Oracle, SAP und Microsoft [33].

### **Dezentralisierung und Serviceorientierung**

Kennzeichnend für den Industrie-4.0-Ansatz ist der Wechsel von der Produktorientierung hin zur Serviceorientierung sowie der Wechsel von der zentralen Steuerung zur dezentralen Prozessverantwortung. Das Ziel besteht in der Modularisierung von Produkten und Prozessen und dem Aufbau des gesamten Unternehmens mit seinen Abteilungen und Unter-einheiten aus Leistungseinheiten. Das Serviceangebot des Unternehmens soll sich unternehmensintern oder an Partner im Netzwerk ausrichten [34]. Die Voraussetzung für eine dezentrale Steuerung ist die dezentrale Intelligenz. Produktionsmittel und -anlagen sind dementsprechend in der Lage, individuell und ortsunabhängig Informationen, die für den Produktionsprozess relevant sind, an ein dezentrales Steuerungssystem weiterzugeben. Als dezentrale Steuerung ist die Entwicklung von einer ortsabhängigen, unflexiblen Steuerung (z. B. Verkabelung) hin zu einer ortsungebundenen, flexiblen Steuerung (z. B. Cloud) von Produktionsprozessen gemeint. Die Vernetzung innerhalb des Wertschöpfungsverbands wird nun über das Internet der Dinge und Dienste realisiert. Dabei machen dezentral

verteilte Systeme, wie das Internet und die Cloud eine ortsunabhängige Kommunikation mit sämtlichen Ressourcen und Funktionen sowie eine geografisch verteilte Steuerung der Produktionsanlagen möglich [15]. Durch Dezentralisierung werden Komplexität beherrschbar und eine klare Koordination möglich [34].

### **Vernetzung und Integration**

Zentrale Elemente der Industrie 4.0 sind die Vernetzung und Integration zwischen den Bereichen innerhalb eines Unternehmens (vertikale Integration) sowie zwischen verschiedenen Unternehmen (horizontale Integration). Durch die digitale Vernetzung sollen Zusammenarbeit, Koordination und Transparenz zum einen entlang der Liefer- und Wertschöpfungskette sowie zum anderen über die Unternehmensbereiche hinweg verbessert werden [34]. Zur Sicherstellung einer flexiblen und effizienten Produktion in Verbindung mit Industrie 4.0 ist also eine Digitalisierung der kompletten Wertschöpfungskette erforderlich [30]. Diese soll sowohl auf der horizontalen als auch auf der vertikalen Ebene erfolgen.

Nur durch eine gelungene vertikale Integration von Industrie-4.0-relevanten Systemen in die Systemlandschaft eines Unternehmens sind eine erfolgreiche Datenerhebung und -verarbeitung möglich [15]. Dabei findet die vertikale Integration innerhalb eines Unternehmens statt. Zur Beherrschung der Komplexität in den Produktionsabläufen und zur Schaffung von bisher unerreichter Flexibilität ist eine Vernetzung der diversen Ebenen der Automatisierungstechnik und der Unternehmenssteuerung erforderlich [35].

Die Voraussetzung für eine effiziente vertikale Integration ist die Nutzung von einheitlichen Schnittstellen sowie Kommunikationsstandards zwischen den Maschinen. Unabhängig vom Hersteller muss gewährleistet werden, dass die Produktionsanlagen, Systeme, Aktoren, Sensoren und die eingebetteten Systeme miteinander verbunden werden können. Dies ermöglicht eine Kommunikation und Interaktion [36].

Mithilfe der horizontalen Vernetzung wird die Informations- und Warenbewegung vom Lieferanten über das eigene Unternehmen bis zum Endkunden und zurück optimiert. Um den Kundenbedarf und die vereinbarte Leistung zu erfüllen, werden die internen Bereiche eines Unternehmens und die externen Partner, die zur Wertschöpfung beitragen, verbunden und gesteuert [37]. Durch eine effiziente horizontale Integration von externen Systemen (unter anderem Kunden-/Lieferantensysteme) in die vertikale Systemlandschaft ist ein in Echtzeit synchronisierbarer Austausch von unternehmensinternen und -externen Daten möglich. Dadurch wird ein durchgängiges und dynamisches Wertschöpfungsnetzwerk über die Unternehmensgrenzen hinweg geschaffen [38].

Der Begriff der Vernetzung wird in der Literatur auch im Zusammenhang mit neuen Geschäftsmodellen verwendet [16]. Als Beispiel kann der Werkzeugmaschinenhersteller Trumpf genannt werden, der ein neues Geschäftsmodell konzipierte. Es handelt sich um einen Marktplatz für Technologiedaten. Somit betreibt der Werkzeugmaschinenhersteller in seinem neuen Geschäftsmodell eine digitale Serviceplattform, mit der sich die Maschinenbetreiber verbinden und fehlende Daten automatisch beziehen können [39].

## **IT-Sicherheit**

Auch der IT-Sicherheit kommt in Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung zu. Grund dafür ist die stärkere Vernetzung sowohl auf horizontaler als auch auf vertikaler Ebene. Das Thema Sicherheit betrifft alle Bereiche von Industrie 4.0 und vor allem auch die Fertigung, die Daten, die Cloud und auch die mobilen Lösungen [40]. Der Datenschutz muss bereits am Ort der Entstehung sichergestellt werden, also bei den Sensoren, in den Steuergeräten oder in den Anlagen. Die sichere Übertragung muss weiterhin vor unberechtigten Zugriffen geschützt werden [41]. Um eine Informationssicherheit im Umfeld von Industrie 4.0 zu gewährleisten, müssen die Grundwerte der Datensicherheit – Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit – beachtet werden. Diese besagen, dass die Informationen dem Benutzer vollständig und unverändert (Integrität) zum gewünschten Zeitpunkt (Verfügbarkeit) zur Verfügung stehen und die Informationen vertraulich gegenüber Dritten geschützt sind (Vertraulichkeit) [42].

## **Assistenzsysteme bzw. Mensch-Maschine-Schnittstelle**

Die Begriffe Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie Assistenzsysteme werden synonym verwendet. Beide beschreiben die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Mithilfe von Industrie-4.0-Lösungen soll die bestehende Komplexität für die Mitarbeiter reduziert werden. Beschäftigte sollen schnell und einfach, überall und jederzeit an Informationen gelangen, die aktuell benötigt werden. Assistenzsysteme ermöglichen den Beschäftigten, sich auf ihre Kernaufgaben zu konzentrieren [34]. Bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. dem Assistenzsystem handelt es sich um Technologien wie Sprach-, Gestensteuerung, Augmented und Virtual Reality [30], aber auch um Technologien zur Informationsbereitstellung wie mobile Endgeräte, Visualisierungssysteme, Tablets oder Datenbrillen [34].

## **Selbstorganisation und cyberphysisches Produktionssystem**

In der Vision von Industrie 4.0 steuert das intelligente Produkt seine eigene Herstellung. Eine automatische Datenauswertung wird vorgenommen, woraufhin die Systeme anschließend selbstständig reagieren. Dies führt zur Selbstkonfiguration, Selbstoptimierung sowie zur Selbstorganisation und -steuerung. Dies sind wichtige Eigenschaften des CPPS. Ein CPPS beschreibt, wie bereits in vorherigen Abschnitten erläutert, „die Gesamtheit einer Produktionsanlage im Industrie 4.0-Ansatz“ [15]. CPPS sind zum einen in der Lage, Daten zu erfassen, auszuwerten und zu speichern, sowie zum anderen, untereinander zu kommunizieren und mit ihrer Umwelt zu interagieren [34]. Der Mensch wird dabei durch eine passende Mensch-Maschine-Schnittstelle in den Steuerungsprozess eingebunden. Voraussetzung für ein CPPS ist sowohl die vertikale Integration aller Systeme als auch die horizontale Integration entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Es wird möglich, dass CPS eines Produktionsverbunds selbstständig Entscheidungen treffen und situationsbedingt reagieren [15].

## **Durchgängig digitales Engineering**

Mit einem durchgängig digitalen Engineering ist die digitale Abbildung eines kompletten physischen Produktionsprozesses gemeint. Die physische und virtuelle Welt verschmilzt ineinander; dabei wird der Gesamtprozess von der Entwicklung bis zur Produktionsplanung in Echtzeit visualisiert. Bestandteile des durchgängig digitalen Engineering sind zum einen die digitale Abbildung der realen Fabrik und zum anderen die dynamische Betrachtung der realen Fabrik am Rechner sowie zuletzt ein geeignetes Datenmanagementsystem, in der eine echtzeitfähige Abbildung der realen auf die digitale Welt erfolgt [25].

### **1.2.4 Voraussetzungen für die Umsetzung von Industrie 4.0**

„Der Nutzen wird sich nicht sofort revolutionär entfalten, sondern die Industrie in den nächsten Jahren nach und nach evolutionär verändern. Erste Erfolge sind heute schon sichtbar, die flächendeckende Umsetzung von Industrie 4.0 steht noch aus und hängt in erheblichem Maß von der Schaffung förderlicher Rahmenbedingungen ab.“ [19]

Um Industrie 4.0 erfolgreich im produzierenden Gewerbe anzuwenden und einzuführen, bedarf es organisatorischer, technischer und auch normativer Voraussetzungen bzw. Rahmenfaktoren.

Die Implementierung von Industrie 4.0 in Unternehmen und Branchen lässt sich angesichts der individuellen Ausgangssituationen nicht einheitlich einführen. Eine identische Einführung wird also in der heterogenen Landschaft von Unternehmen nicht möglich sein. Insbesondere im Anfangsstadium während des Übergangs zu Industrie 4.0 werden sich Unternehmen in den verschiedenen Phasen der Umsetzung befinden. Eine Standardisierung der Industrie-4.0-Technologien, die noch an ihrem Anfang steht, scheint hier von Bedeutung, um die Abweichungen gering zu halten.

Was die technischen Voraussetzungen betrifft, sind entsprechende Basistechnologien zum Aufbau von Industrie-4.0-Fabriken zwar schon vorhanden, müssen jedoch noch weiterentwickelt werden.

Die Schlüsseltechnologie zur Etablierung von Industrie 4.0 stellt die Mikroelektronik dar, hier bedarf es jedoch einer kontinuierlichen Forschung und Entwicklung. Wichtige Voraussetzung bei der Implementierung von Industrie 4.0 ist die Sicherheit. Diese betrifft nicht nur den Datenschutz, sondern auch den unerlaubten Zugriff auf das System. Auch die Mitbestimmungsrechte von Mitarbeitern sind im Kontext der Sicherheitsbestimmungen zu berücksichtigen. Die Integration der Beschäftigten als Erfahrungsträger und Entscheider in alle relevanten Abläufe der intelligenten Fabrik ist unabdingbar. Arbeits- und Entlohnungsmodelle sollten dabei angepasst werden. Der Mensch soll weiterhin im Mittelpunkt der Produktion stehen. Hierbei soll die flächendeckende Vernetzung zu mehr Selbstorganisation und Autonomie führen, wodurch Mitarbeitern ein besserer Zugang zu Informationen verschafft wird.

Die Marktakzeptanz beeinflusst die Geschwindigkeit und die Art und Weise der Etablierung der neuen Technologien [43]. Zur Förderung der Akzeptanz der neuen Technologien sollten diese mit Sensibilität und Vorsicht eingeführt werden. Dabei können Maßnahmen zur Aufklärung in den Betrieben und in der Öffentlichkeit notwendig sein [19].

Die Marktakzeptanz wird größtenteils durch die Politik beeinflusst. Die Politik trägt auch eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Entwicklung von Industrie 4.0, denn sie steuert den Entwicklungsprozess durch entsprechende Gesetze und Fördermaßnahmen. Um CPS im Produktionsumfeld optimal nutzen zu können, ist eine Anpassung der üblichen Konzepte der Informations- und Kommunikationstechnologie notwendig. Die Integration von Hard- und Software muss in einem sicheren Konzept integriert werden, um Technologien zur Absicherung von CPS zu entwickeln. Hierzu ist die Entwicklung von allgemeingültigen Kommunikationsstandards und Best Practices notwendig [43].

### **1.2.5 Chancen für die Unternehmen und die deutsche Wirtschaft**

Nicht nur einzelne Unternehmen, auch der gesamte Industriesektor in Deutschland profitiert von dem Konzept Industrie 4.0. Chancen ergeben sich nicht nur für den Bereich der Produktion, sondern auch für den Bereich Unternehmensstrategie sowie Personal. Im Folgenden werden fünf ausgewählte Chancenbereiche dargestellt [25].

#### **1. Produktivitätssteigerung**

Mithilfe von Industrie 4.0 sind Wartungsprozesse besser planbar. Diese können vorhergesagt und optimiert werden (Predictive Maintenance).

Durch den Einsatz von Technologien wie Augmented Reality und Virtual Reality und eines digitalen Engineerings lassen sich Geschäftsprozesse simulieren.

Der Energie-, Ressourcen- und Emissionsverbrauch wird durch eine Produktionsoptimierung reduziert.

#### **2. Individualisierung**

Es wird unter anderem durch ein durchgängiges digitales Engineering ermöglicht, auf kurzfristige individuelle Wünsche der Kunden beim Design sowie bei der Planung und Produktion einzugehen. Weiterhin wird auch die Produktion von Kleinstmengen (Losgröße 1) profitabel.

#### **3. Flexibilisierung**

Die Reaktion auf Kundenanfragen (Lead Time) und der Entwicklungszeiten (Time-to-Market) wird möglich gemacht (durch 3D-Druck im Prototypenbau, digitales Engineering, Predictive Analytics).

Mithilfe der durchgehenden digitalen Transparenz in Echtzeit ergibt sich die Möglichkeit, dass schnelle und flexible Entscheidungen getroffen werden können. Auch eine globale und lokale Optimierung in der Produktion wird geschaffen.

Durch die Ad-hoc-Vernetzung von CPPS lassen sich Geschäftsprozesse dynamisch gestalten. Zudem kann auf Veränderungen schnell und flexibel reagiert werden (z. B. bei kurzfristiger Erhöhung von Liefermengen oder Ausfällen von Zulieferern).

#### 4. Geschäftsmodellerweiterung

Mithilfe neuer Potenziale in der Wertschöpfung kann das Leistungsportfolio ausgebaut und erweitert werden. Die Zusammenführung von intelligenten Dienstleistungen helfen dabei, Lösungen statt Produkte anzubieten.

#### 5. Steigerung der Einsatzfähigkeit der Mitarbeiter

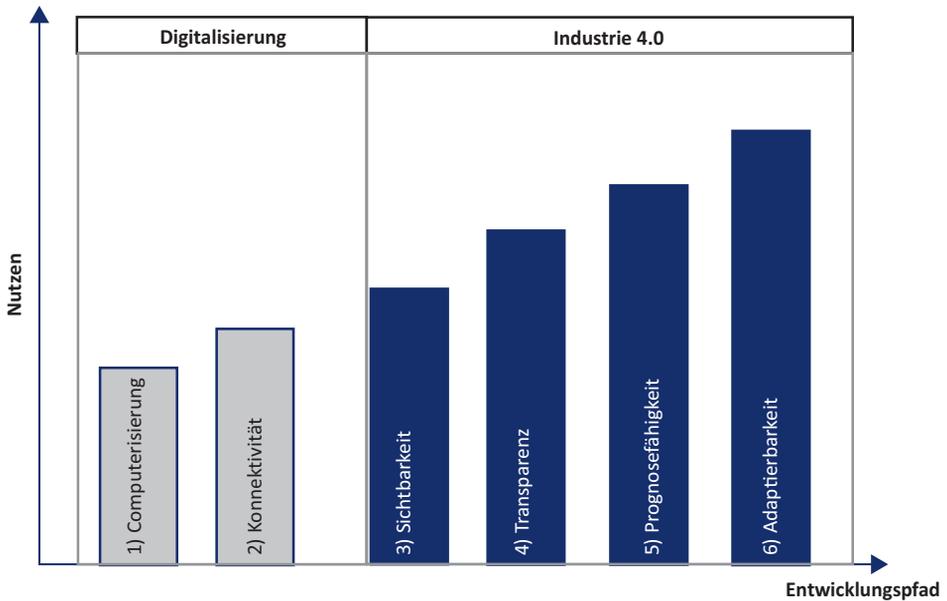
Das Informations- und Trainingsmaterial kann permanent aktualisiert werden und ermöglicht somit ein umfassendes Job Enrichment und Job Enlargement.

Durch den Einsatz von intelligenten Assistenzsystemen ist eine Sicherung einer gleichbleibenden Qualität in der Produktion möglich.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Menschen und dem technischen System ermöglicht eine demografieorientierte Arbeitsgestaltung.

### 1.3 Modell zur Klärung des Zusammenhangs zwischen Digitalisierung und Industrie 4.0

Mithilfe eines Reifegradmodells (Abb. 1.2) ist die Beurteilung eines Unternehmens in Bezug auf Industrie 4.0 möglich. Dabei wird im Unternehmen der Grad der Reife in Bezug zu Industrie 4.0 in den Bereichen Arbeit, Organisation, Prozess und Produkt mithilfe einer



**Abb. 1.2** Reifegradstufen und Zusammenhang zwischen den Begriffen Digitalisierung und Industrie 4.0

Skala beurteilt. Mittels dieser Analyse ist es möglich, Maßnahmen und eine Strategie zur Implementierung von Industrie 4.0 abzuleiten [44].

Um Industrie 4.0 einzuführen, ist die Erweiterung der digitalen Fähigkeiten und Kompetenzen eines produzierenden Unternehmens, das zur Veränderung von Teilen der Organisation führt, erforderlich. Hierbei handelt es sich um eine Transformation, die mehrere Jahre andauern kann. Im Rahmen einer acatech-Studie wurde ein Stufenmodell entwickelt, das die Grundvoraussetzungen bis zur kompletten Umsetzung von Industrie 4.0 darstellt. Dieses kann für die Transformation der kompletten Organisation genutzt werden.

Um den Zusammenhang zwischen der Digitalisierung der Industrie 4.0 darzustellen, wird hier in der Folge das Reifegradmodell der acatech-Studie verwendet (vgl. Kap. 2).

Die Entwicklung des Transformationsprozesses erfolgt stufenweise mithilfe eines Industrie-4.0-Entwicklungsleitfadens. Dieser besteht aus sechs Entwicklungsstufen, die aufeinander aufbauen. Die Fähigkeiten und Nutzen werden schrittweise aufgebaut. Abhängig von Aufwand und Nutzen hat das Unternehmen zu entscheiden, welche Entwicklungsstufe es erreichen möchte.

Zunächst müssen die Voraussetzungen für Industrie 4.0 geschaffen werden. Diese bestehen in der Digitalisierung, die noch kein Bestandteil von Industrie 4.0 ist, aber eine Grundlage hierfür schafft, und den anschließenden vier Stufen, die zum Aufbau von Industrie-4.0-Fähigkeiten erforderlich sind.

Grundlage für die Digitalisierung (Stufe 1) ist die Computerisierung eines Unternehmens. Die meisten Unternehmen setzen bereits Informationstechnologien ein, um sich wiederholende Tätigkeiten effizienter zu gestalten. Dank der Computerisierung kann präzise, kostengünstig und fehlerarm produziert werden. Dennoch bestehen in den Unternehmen Maschinen und Anlagen ohne eine digitale Schnittstelle. In Stufe 2 wird der IT-Einsatz durch vernetzte Komponenten ausgebaut. Dabei sind die IT-Systeme miteinander verbunden. Das standardisierte Internet Protocol (IP) kommt in der Fertigung zum Einsatz, sodass die Komponenten alle ohne eine erforderliche Netzwerkadressübersetzung angebunden sind.

Stufe 3 ist die Sichtbarkeit. Prozesse und Zustände können in Echtzeit mithilfe von Sensoren und einer Vielzahl von Datenpunkten erfasst werden. Mittels dieser Daten kann das Management Entscheidungen treffen. Voraussetzung ist eine zentrale Datenablage und eine durchgehende und flächendeckende Erfassung der Daten in zentralen Prozessen und in Bereichen wie der Logistik, der Produktion und im Service. Ziel ist es, eine redundanzfreie und eine zeitgerechte Abbildung des kompletten Unternehmens zu schaffen. Nachdem der Zustand des Unternehmens in der letzten Stufe (Stufe 3) erfasst worden ist, verstehen Unternehmen in Stufe 4, warum etwas passiert ist und leiten daraus Wirkungszusammenhänge ab. Mithilfe von neuen Technologien ist eine Analyse der Massendaten möglich. Technologien und Anwendungen werden durch Big Data zusammengefasst. Durch die Daten ist eine Zustandsüberwachung an Anlagen und Maschinen möglich. Dabei werden die Messparameter von Anlagen und Maschinen auf Ereignisse und Abhängigkeiten untersucht und zu Ergebnissen zusammengefasst. Transparenz ist eine Voraussetzung für eine bedachte Wartung. In der fünften Stufe werden mithilfe von

den erfassten Datenpunkten verschiedene Zukunftsszenarien simuliert und anhand der Eintrittswahrscheinlichkeiten bewertet. Somit sind Ereignisse vorgeifbar und geeignete Maßnahmen können frühzeitig eingeleitet werden. Ein robuster Betriebsablauf kann sogar bei Planabweichungen sichergestellt werden. Somit kann in Stufe 5 automatisch gehandelt bzw. eine Selbstoptimierung im Unternehmen stattfinden. Nachdem die Daten zunächst ausgewertet, die Wirkzusammenhänge in der Produktion erkennbar sowie die Zustände vorhersehbar sind, gibt es nur noch eine Voraussetzung, um den vollen Umsetzungsgrad von Industrie 4.0 zu erreichen. Diese besteht in der Adaptabilität. Hierbei werden die Entscheidungen dem IT-System überlassen. Zunächst werden die Daten in Echtzeit aufgenommen. Anschließend werden diese interpretiert und Maßnahmen werden automatisch abgeleitet. Abhängig vom Kosten-Nutzen-Verhältnis und der Entscheidungskomplexität kann der Grad der Autonomie festgesetzt werden.

Diese Stufe ist komplett umgesetzt, wenn das System anhand vorhandener Daten Entscheidungen autonom, innerhalb kurzer Zeit und ohne menschliche Hilfe trifft und diese sich positiv auswirken [45].

---

## 1.4 Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel wurden die Begriffe Digitalisierung und Industrie 4.0 separat analysiert und anschließend gemeinsam durchleuchtet.

Der Begriff Digitalisierung besitzt ein breites Spektrum an Definitionen. Eine einheitlich anerkannte Begriffsdefinition fehlt. Zum einen kann der Begriff auf die digitale Transformation oder die digitale Modifikation von Geräten, Instrumenten und Fahrzeugen hindeuten. Zum anderen kann sie auch auf die digitale Revolution (dritte Revolution) hinweisen, die ebenso Informationszeitalter und Computerisierung genannt wird. Mithilfe der Informationstechnologie wurden im 20. Jahrhundert Arbeitsplätze und Privathaushalte modernisiert, Softwareprodukte eingeführt, Computernetze geschaffen und automatisiert sowie optimiert. Die Digitalisierung hat auch das 21. Jahrhundert geprägt. Jedoch stehen disruptive Technologien, innovative Geschäftsmodelle sowie die Flexibilisierung, Individualisierung und die Autonomisierung im Fokus. Diese Veränderung entspricht der vierten industriellen Revolution und trägt den Namen Industrie 4.0 [2]. Die zurzeit als vierte industrielle Revolution gesehene zweite Welle der Digitalisierung ist nicht mehr auf die Überführung von analog zu digital zurückzuführen. Es wird vielmehr das Ziel verfolgt, einen höheren Nutzen auf neuem Weg zu erreichen. Im Mittelpunkt steht hierbei eine konsequente Fokussierung der Leistungen auf einem stabilen digitalen Weg vom Lieferanten zum Kunden und zurück. Aber auch autonome Produktionsanlagen und automatisch ablaufende Büroprozesse sowie selbststeuernde Mobilgeräte sind bisher unbekannte Geschäftsmodelle, die angestrebt werden [1]. Eine acatech-Studie bezeichnet die Digitalisierung als eine Vorstufe von Industrie 4.0. Dabei bestehen beide Begriffe aus unterschiedlichen Unterstufen [45]. Die Entwicklung eines Unternehmens von einem niedrigen zu einem hohen Reifegrad wird als digitale Transformation beschrieben. Welche Bestandteile diese Veränderung hat, ist dem Reifegradmodell entnehmbar [4].

Die Bezeichnung Industrie 4.0 ist eines der gegenwärtigen Zukunftsprojekte der Bundesregierung. Nach den drei industriellen Revolutionen ist der Begriff Industrie 4.0 entstanden. Ziel der Bundesregierung ist es, Deutschland als Produktionsstandort weiterzuführen und eine Verlagerung in Niedriglohnländer zu verhindern. Auch andere Länder verfolgen ähnliche Strategien. Der Begriff und die Definitionen unterscheiden sich jedoch in den unterschiedlichen Ländern. Eine einheitliche Definition fehlt auch hier. Industrie 4.0 ist eine Weiterführung von Computer Integrated Manufacturing und Lean Production. Hierbei sind die internen und externen Stakeholder in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse integriert und eingebettete Systeme sind vernetzt und kommunizieren über das Internet miteinander. Dies wird durch Elemente wie der Datenerfassung und -verarbeitung, der Dezentralisierung, der Vernetzung und Integration, der IT-Sicherheit, Assistenzsysteme, Selbstorganisation und einem durchgängigen digitalen Engineering ermöglicht.

Um Industrie-4.0-Technologien einzuführen, sind technische, organisatorische und normative Voraussetzungen zu erfüllen. Weiterhin sind branchen- und unternehmensabhängige Randbedingungen zu berücksichtigen.

Werden die Branchen Maschinenbau- und Anlagenbau, chemische Industrie, Informations- und Kommunikationstechnologie, Landwirtschaft, elektrische Ausrüstung sowie die Automobilindustrie betrachtet, so wird in Deutschland durch Industrie 4.0 bis 2025 „ein kumuliertes Wertschöpfungspotenzial von bis zu 78 Mrd. € erwartet“ [19, S. 39]. Jährlich entspricht das einer Steigerung von 1,7 % für diese Branchen. Kumuliert entspricht dies 14 % des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Dies berücksichtigt jedoch nur die genannten Branchen. Es ist davon auszugehen, dass weitere Branchen ebenfalls von der vierten industriellen Revolution profitieren und dies einen positiven Effekt auf die deutsche Wirtschaft aufweisen kann.

Es gibt noch viele Unklarheiten in Bezug auf Industrie 4.0. Deutlich sichtbar ist aber die hohe Erwartungshaltung und die große Anzahl der möglichen Anwendungsfelder, so dass eine globale Wettbewerbsfähigkeit mithilfe von Industrie 4.0 erwartet werden kann.

Noch ist unklar, welche Industrie-4.0-Technologien sich durchsetzen werden und welchen Effekt das wiederum auf die Beschäftigung haben wird. Eine intelligente Automatisierung kann entweder die menschliche Arbeit unterstützen oder durch eine erhöhte Produktivität und Effizienz den Einsatz des Menschen ersetzen. Es wird vermutet, dass zunächst intelligente Produkte produziert und dann erst zeitversetzt eine intelligente Produktion umgesetzt wird. Somit eröffnen sich Chancen für die Beschäftigung durch eine erhöhte Nachfrage nach deutschen Produkten der Informations- und Kommunikationstechnik [19].

---

## Literatur

1. Heuermann, R., Tomenendal, M., & Bressemer, C. (Hrsg.). (2018). *Digitalisierung in Bund, Ländern und Gemeinden: IT-Organisation, Management und Empfehlungen* (S. 9–12). Springer Gabler. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5115867>. Zugegriffen am 16.02.2021.

2. Bendel, O. (2018). *Digitalisierung* (S. 11). <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitalisierung-54195/version-277247>. Zugegriffen am 17.12.2021.
3. Botzkowski, T. (2018). *Digitale Transformation Von Geschäftsmodellen Im Mittelstand: Theorie, Empirie und Handlungsempfehlungen* (S. 22–24). Gabler. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5182347>. Zugegriffen am 14.02.2021.
4. Wolf, T., & Strohschen, J.-H. (2018). Digitalisierung: Definition und Reife. *Informatik-Spektrum*, 41(1), 56–64–56–58. <https://doi.org/10.1007/s00287-017-1084-8>.
5. Mertens, P., Barbian, D., & Baier, S. (2017). *Digitalisierung und Industrie 4.0 – eine Relativierung* (S. 35). Springer Vieweg.
6. Hildebrandt, A., & Landhäußer, W. (Hrsg.). (2017). *CSR und Digitalisierung: Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft* (S. 5–24). Springer Gabler.
7. Harwardt, M. (2019). *Management der digitalen Transformation: Eine praxisorientierte Einführung* (1. Aufl., S. 2–3). Springer Fachmedien/Imprint: Springer Gabler.
8. K.-H. Streibich, Softwareindustrie im Umbruch: Das digitale Unternehmen der Zukunft. In *Marktplätze im Umbruch: Digitale Strategien für Services im Mobilen Internet*, C. Linnhoff-Popien, M. Zaddach und A. Grahl, : Springer, 2015, S. 15–18, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43782-7\\_4.](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43782-7_4.), S. 15
9. Schallmo, D., Rusnjak, A., Anzengruber, J., Werani, T., & Jünger, M. (Hrsg.). (2016). *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen: Grundlagen, Instrumente und Best Practices* (S. 3). Springer Fachmedien. <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4731745>. Zugegriffen am 10.02.2021.
10. Schön, C. (2019). *Für eine Unterscheidung von Digitalisierung und digitaler Transformation*. <https://www.digital-engineering-magazin.de/fuer-eine-unterscheidung-von-digitalisierung-und-digitaler-transformation/>. Zugegriffen am 23.12.2021.
11. Sommerhalder, S. (2019). *Das ist der Unterschied zwischen Digitalisierung und digitaler Transformation*. <https://digitalcreators.ch/digitale-transformation-vs-digitalisierung/#gref>. Zugegriffen am 23.06.2021.
12. Harwardt, M. (2019). *Management der digitalen Transformation: Eine praxisorientierte Einführung* (S. 12–14). Springer Fachmedien.
13. Ebert, C., & Duarte, C. H. (2018). Digital Transformation. *IEEE Software*, 35, 16–21. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2801537>. S. 16.
14. BMBF. (2015). *Industrie 4.0: Innovation für die Produktion von morgen*, Apr. Vorwort.
15. Spath, D. (Hrsg.). (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0: Studie* (S. 29, 37). Fraunhofer. <http://web.archive.org/web/20140729000428/http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>. Zugegriffen am 17.12.2021.
16. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft. (Hrsg.). (2013). *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., Apr. (S. 18, 23, 35). <https://www.acatech.de/publikation/umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunftsprojekt-industrie-4-0-abschlussbericht-des-arbeitskreises-industrie-4-0/download-pdf?lang=de>. Zugegriffen am 20.12.2021.
17. Kubinger, W., & Sommer, R. (2016). Industrie 4.0 – Auswirkungen von Digitalisierung und Internet auf den Industriestandort. *Elektrotech. Inftech*, 133(7), 330–333. <https://doi.org/10.1007/s00502-016-0435-5>. S. 330.
18. Kagermann, H., Anderl, R., Schuh, G., Gausemeier, J., & Wahlster, W. (2016). *Industrie 4.0 im globalen Kontext: Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern*. acatech STU-DIE, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 9–12, 40–41.
19. Bauer, W, Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: Studie*. S. 18, 39.