

Robert Obermaier *Hrsg.*

# Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe

Betriebswirtschaftliche, technische  
und rechtliche Herausforderungen

---

# Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe

---

Robert Obermaier  
(Hrsg.)

# Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe

Betriebswirtschaftliche, technische  
und rechtliche Herausforderungen

*Herausgeber*  
Robert Obermaier  
Universität Passau  
Passau  
Deutschland

ISBN 978-3-658-08164-5                      ISBN 978-3-658-08165-2 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-658-08165-2

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

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 Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. 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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist GmbH Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science&Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

---

## Vorwort

Unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ wird seit geraumer Zeit die Vision einer sich anbahnenden vierten industriellen Revolution beschrieben – um nicht zu sagen ausgerufen. Kern dieser Vision stellt nach den vorangegangenen Revolutionen Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung nun die Vernetzung von industrieller Infrastruktur und allen an der Wertschöpfung beteiligten Akteure dar.

Freilich ist die Frage, ob die unter „Industrie 4.0“ erwartete Entwicklung nicht eher evolutionär als revolutionär sei, ex ante gar nicht entscheidbar, weil nur ex post feststellbar. Dennoch lehrt der Blick auf die früheren technologischen Revolutionen, dass sie sich mitunter langsam ausbreiten, prozeßhaft ablaufen und daher zunächst kaum revolutionären Züge tragen, aber mit einem Mal eine Dynamik erlangen können, die etablierte Produktionsweisen, Produkte und Geschäftsmodelle nachhaltig verändern, neue entstehen lassen und manche sogar auslöschen.

Man mag die Entwicklung der Dampfmaschine oder die Elektrifizierung bemühen; es ist aber eigentlich kein weiter Blick zurück nötig. Am eindrücklichsten tritt die Dynamik hervor, ruft man sich nur die jüngsten technologischen Errungenschaften in Erinnerung. Durch die Digitalisierung werden Geschäftsprozesse standardisiert und automatisiert, durch die Entwicklung des Internets werden global integrierte Supply Chains und Absatzkanäle etabliert und darauf aufbauend neue Geschäftsmodelle kreiert. Dabei blieb im Rahmen dieser letzten Umwälzung – bildlich gesprochen – kein Stein auf dem anderen: Wo sind heute *Agfa*, *Kodak*, *Brockhaus*, *Neckermann* oder *Quelle*? Und wo waren vor zehn, zwanzig Jahren *Amazon*, *Ebay*, *Google & Co.*?

Interessanterweise blieb das Feld der verarbeitenden Industrie, der Bereich der physischen Produktion, längere Zeit von diesen Entwicklungen verschont. Teilweise kann das mit ausstehenden technologischen Entwicklungen erklärt werden. Im Rahmen des Computer-Integrated Manufacturing (CIM) wurde zwar schon vor dreißig Jahren eine Integration von betriebswirtschaftlichen Planungs- und Steuerungsaufgaben mit den primär technisch orientierten Aufgaben der Produktion angedacht. Diese gelang jedoch nur zu einem gewissen Teil. Während die betriebswirtschaftliche Produktionsplanung zumeist im Rahmen von etablierter ERP-Software weitgehend IT-gestützt abläuft, existierten kaum

Anbindungen an die physische Fertigungssteuerung. Stattdessen finden sich in vielen Fertigungsbetrieben überwiegend informationstechnische Insellösungen. Auch geriet der, durch den damaligen Stand der Technik (Stichwort „Leitrechner“) sowie fehlende Vernetzungs- und Datenbanktechnologien bedingte, zentral angelegte Planungsansatz von CIM zunehmend in Konflikt mit dem sich in der Praxis durchsetzenden Paradigma nach mehr Dezentralisierung. So kam es zum Scheitern weitergehender Integrationsbemühungen.

Aus heutiger Sicht steht eine Reihe neuartiger Technologien mit einem mittlerweile beachtlichen Reifegrad bereit. Zu nennen sind: Sensorik, Aktorik, Eingebettete Systeme, Internet- und Kommunikationstechnologie, Software und Systemtechnik sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen. In Kombination erlauben diese Technologien eine Reihe von neuartigen Funktionen im Bereich der industriellen Produktion. Zu denken wäre vor allem an:

- Datenerfassung und -verarbeitung (in Echtzeit),
- horizontale und vertikale Vernetzung,
- dezentrale Steuerung (Autonomie) und Assistenzsysteme.

Mit diesen Funktionen wird die im Rahmen von „Industrie 4.0“ skizzierte Produktionsvision möglich, die durch eine durchgängige Digitalisierung und Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligter Akteure gekennzeichnet ist. Zentrale Rolle nehmen dabei sog. *Cyber-Physische Systeme* (CPS) ein, die:

- mittels Sensoren Daten erfassen, mittels eingebetteter Software aufbereiten und mittels Aktoren auf reale Vorgänge einwirken,
- über eine Dateninfrastruktur, wie z. B. das Internet, kommunizieren und
- über Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen

und so eine dezentrale, intelligente Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure ermöglichen, so dass ein Echtzeitabbild aller relevanten Prozesse möglich wird.

„Industrie 4.0“ verbindet damit nicht nur – wie aus der Welt des Internets bisher gewohnt – virtuelle Dinge, sondern ganz im Sinne des „Internet of Things“ reale Dinge mit virtuellen Dingen und diese mit Menschen. Mit diesem Übergang zu einem digital vernetzten Gesamtsystem wird versucht, eine noch engere und auf Echtzeitdaten basierende Abstimmung von betriebswirtschaftlicher und technischer Informationsverarbeitung (nicht nur) im Fertigungssektor zu erreichen.

Gemeinsames Ziel von „Industrie 4.0“-Technologien ist „die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluß abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen“ (*Plattform Industrie*

4.0). Der daraus zu erwartende Nutzen wird, obgleich bislang nicht abschätzbar, als enorm erachtet. Diese erste und zentrale Ebene von „Industrie 4.0“ zielt damit auf die Prozeßeffizienz industrieller Wertschöpfung. Dabei – und das zeigte sich schnell – ist der Anwendungskontext dieser Produktionsvision keineswegs auf industrielle Produktionsprozesse beschränkt; auch die Dienstleistungsproduktion und öffentliche Leistungserstellungsprozesse werden davon betroffen sein.

Als zweite wesentliche Ebene von „Industrie 4.0“ treten neben die „smarten“ Produktionsprozesse die Produktinnovationen in Form von intelligenten und vernetzten Produkten. Ebenso wie Akteure der Leistungserstellung zunehmend vernetzt werden können, ist dies auch auf der Ebene der Produkte möglich. Dabei ist in Erweiterung des „Internet of Things“ auch schon vom „Internet of Everything“ die Rede. Dadurch können sich Produktfunktionalitäten und das Leistungsspektrum von Produkten selbst ganz wesentlich verändern. Zudem werden Ergänzungen bzw. Überlappungen von Produkten und Dienstleistungen erwartet („the product as a service“) mit entsprechenden Auswirkungen auf Bezahl- und Geschäftsmodelle. Damit wird der Weg von „Industrie 4.0“ nochmals verbreitert: von der Prozessinnovation über die Produktinnovation bis hin zur Geschäftsmodellinnovation.

All die damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Fragen liegen auf der Hand: Was sind die Gestaltungsoptionen für die Unternehmensführung? Welche Herausforderungen und welche Chancen bestehen für Unternehmen darin, in Technologien zu investieren, die über die gesamte Wertschöpfung Informationen in Echtzeit zur Verfügung stellen und daraus entscheidungsrelevante Informationen zum Zweck der Unternehmensführung gewinnen und einsetzen zu können? Wie sind die daraus entstehenden Nutzenpotentiale zu bewerten? Welche Kosten sind zu erwarten? Wie wird dadurch die Wettbewerbsfähigkeit beeinflusst? Wie ist der damit verbundene organisationale Wandel zu gestalten? Denn die Integration von Subsystemen der Fertigung verändert existierende Arbeitsabläufe und gewohnte Muster der Zusammenarbeit, der Informationsbeschaffung und des Datenaustauschs sowie Kommunikationsstrukturen und stellt daher einen nicht unerheblichen Eingriff in das bestehende Produktionssystem und damit eine bedeutende unternehmerische Gestaltungsaufgabe dar.

Diese und eine Reihe weiterer Fragen waren Gegenstand der ersten betriebswirtschaftlichen Tagung zum Thema „Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe“, die im November 2014 an der Universität Passau stattfand. Das Ziel dieser wissenschaftlichen Konferenz, an der neben ausgewiesenen Wissenschaftlern auch erfahrene Praktiker teilnahmen, war es, die vielfältigen Forschungsbemühungen im Bereich „Industrie 4.0“ zusammenzuführen, vor allem aber, das bisher sehr stark aus technischer Perspektive diskutierte und bearbeitete Thema explizit betriebswirtschaftlich auszuleuchten; also herauszufinden, welche betriebswirtschaftlichen, technischen aber auch rechtlichen Herausforderungen und Chancen mit „Industrie 4.0“ verbunden sind, was die Betriebswirtschaftslehre zu dem Thema sagen und von dem Thema gewinnen könne.

Es deutet sich bereits seit einiger Zeit an, dass die Vision „Industrie 4.0“ zunehmend Realität wird. Zahlreiche Unternehmen haben Projekte gestartet, viele Forschungs- und

Transferprojekte laufen oder sind in diversen Ausschreibungen zumindest beantragt. Dennoch zögern noch viele Unternehmen, haben sich noch gar nicht damit beschäftigt, oder sind in einer Beobachtungsphase. Ein Blick über die Grenzen mag auch von Interesse sein: einige Länder, allen voran die USA aber auch das über lange Jahre regelrecht deindustrialisierte Vereinigte Königreich haben die volkswirtschaftliche Bedeutung industrieller Produktion und der die begleitenden Dienstleitungen erkannt und investieren erheblich in den Aufbau wettbewerbsfähiger industrieller Strukturen. Und hier ist das Thema „Industrie 4.0“ auch aus deutscher Sicht zu verorten: aus dem Bemühen, die Wettbewerbsfähigkeit der hiesigen Industrie zu erhalten und auszubauen. Das ist auch die Hauptmotivation für die intensiven Bemühungen im Bereich der Forschungsförderung für das Projekt „Industrie 4.0“.

Ursprünglich als Zukunftsprojekt der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung beschrieben, sind mittlerweile schon weit mehr als einhundert größere Forschungsprojekte mit einem Fördervolumen von rund einer halben Milliarde Euro angestoßen worden – mit steigender Tendenz. Auch andernorts gibt es ähnliche Absichten und Projekte; in den USA wird von einem „Industrial Internet“, auf europäischer Ebene von „Factories of the Future“ gesprochen. Derzeit werden „viel versprechende“ Projektanträge geschrieben; zweifellos liegen auch schon einige „vielversprechende“ technische Pilotstudien vor, doch ist damit in der betriebswirtschaftlichen Gesamtschau noch zu wenig gewonnen.

Der derzeit in Deutschland vorherrschende Ansatz im Bereich der Forschungsförderung, „Industrie 4.0“-Projekte möglichst schnell „auf den betrieblichen Hallenboden“ zu bringen ist zwar nachvollziehbar, geht aber als anwendungsorientierter Forschungsansatz von in hinreichendem Maße vorliegender Grundlagenforschung aus, soll nicht lediglich Beratungsleistung angeboten werden. Dafür ist die Produktionsvision „Industrie 4.0“ betriebswirtschaftlich aber noch zu unscharf. Die eingehende Analyse von Produktivitätswirkungen steht ebenso aus, wie Untersuchungen zu nötigen Anpassungs- und Change-Managementprozessen. Es ist weder hinreichend geklärt, welche „Industrie 4.0“-Technologien in naher Zukunft die Rolle von Basistechnologien zur horizontalen und vertikalen Vernetzung in Echtzeit leisten können, wie die damit zusammenhängenden Schnittstellenprobleme gelöst werden können oder wie die Vernetzung von Mensch und Maschine vonstatten gehen soll. Und nicht zuletzt stecken Produktinnovation und Geschäftsmodellentwicklung sowie die dahinterliegenden Smart-Data-Lösungen erkennbar noch in den Kinderschuhen, auch eine Reihe rechtlicher Fragen ist noch ungeklärt.

Selbst wenn eine Reihe dieser und der vorhin aufgeworfenen Fragen in diesem Tagungsband diskutiert werden, können die vorgelegten achtzehn Arbeiten das Themenfeld „Industrie 4.0“ weder vollumfänglich noch abschließend behandeln. Sie zeigen aber in ihrer Vielfalt, welches spannende Forschungsfeld sich für die Betriebswirtschaftslehre und ihre Nachbardisziplinen auftut. Dafür ein Startpunkt zu sein, war der Anspruch der Passauer „Industrie 4.0“-Tagung.

Der Dank gilt allen, die zum Gelingen der Tagung beigetragen haben. Vor allem natürlich den Referenten, die mit ihren Beiträgen den wissenschaftlichen Diskurs erst ermöglicht haben, sowie den Diskutanten, die mit ihren Fragen zur Weiterentwicklung von



Ideen beigetragen haben. Aber auch allen, die zur Organisation und damit zum Gelingen der Tagung beigetragen haben, namentlich die Mitarbeiter meines Lehrstuhls und stellvertretend hierfür meine Sekretärin Ulrike Haberl und Florian Kaiser, sind in den Dank einzuschließen. Schließlich ist die großzügige Förderung durch die *Industrie- und Handelskammer Niederbayern* zu würdigen, die die Drucklegung dieses Tagungsbandes erst möglich gemacht hat.

Weitere Informationen und Photos zur Tagung sowie Videoaufnahmen unter anderem der Keynote-Speeches von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August Wilhelm Scheer sowie von Prof. Dr. Wegener sind unter der Internetadresse

[www.industrie-viernull.de](http://www.industrie-viernull.de)

abrufbar. Unter dieser Adresse soll auch in Zukunft eine Informationsplattform rund um das Thema „Industrie 4.0“ etabliert werden, um die Entwicklungen in diesem wahrlich dynamischen Gebiet weiterverfolgen zu können.

Es ist zudem beabsichtigt, den vorliegenden Tagungsband in künftigen Auflagen durch Aufnahme maßgeblicher weiterer Beiträge fortzuentwickeln und ihn so zu einem betriebswirtschaftlichen Kompendium zum Thema „Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe“ zu machen.

Passau, August 2015

Prof. Dr. Robert Obermaier

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Industrie 4.0: Vision, Innovation, Konzeption

|  |    |
|--|----|
| <b>Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe:<br/>Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe</b> ..... | 3  |
| Robert Obermaier   |    |
| <b>Industrie 4.0: Von der Vision zur Implementierung</b> .....   | 35 |
| August-Wilhelm Scheer  |    |
| <b>Industrie 4.0: Strategische Innovation durch Strategische Sensitivität</b> .....  | 53 |
| Andreas König und Lorenz Graf-Vlachy   |    |
| <b>Rechtliche Herausforderungen der Industrie 4.0</b> .....  | 69 |
| Gerrit Hornung   |    |

## Teil II Industrie 4.0: Stand und Perspektiven

|   |    |
|---|----|
| <b>Stand und Entwicklungspfade der Digitalen<br/>Transformation in Deutschland</b> .....  | 85 |
| Stephan Wildner, Oliver Koch und Uwe Weber  |    |
| <b>Controlling von Digitalisierungsprozessen – Veränderungstendenzen<br/>und empirische Erfahrungswerte aus dem Mittelstand</b> ..... | 97 |
| Wolfgang Becker, Patrick Ulrich, Tim Botzkowski und Sebastian Eurich  |    |

## Teil III Industrie 4.0: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Lösungsansätze

|   |     |
|---|-----|
| <b>„Smart Decisions“ als integraler Bestandteil von Industrie 4.0</b> ..... | 121 |
| Günter Bitsch   |     |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Optimierung Anlagenanlauf und Fertigungsumstellung</b> .....   | 137 |
| Roland Willmann   |     |
| <b>Von der Digitalen Fabrik zur Digitalen Lieferkette in der Halbleiterindustrie: Bestandsaufnahme, Lösungsansätze und viele Herausforderungen</b> .....                                  | 149 |
| Hans Ehm und Lars Mönch   |     |
| <b>Industrie 4.0 in der Dienstleistungsproduktion – eine Konzeptanalyse am Beispiel universitärer Leistungsprozesse in Forschung und Lehre</b> .....                                      | 159 |
| Matthias Klumpp   |     |
| <b>Datenschutz in der Industrie 4.0</b> .....   | 171 |
| Kai Hofmann   |     |
| <b>Teil IV Industrie 4.0: Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Kalkulation</b>   |     |
| <b>Betriebswirtschaftliche Wirkungen digital vernetzter Fertigungssysteme – Eine Analyse des Einsatzes moderner Manufacturing Execution Systeme in der verarbeitenden Industrie</b> ..... | 191 |
| Robert Obermaier und Victoria Kirsch  |     |
| <b>Effizienzbewertung und -darstellung in der Produktion im Kontext von Industrie 4.0</b> .....   | 219 |
| Herwig Winkler, Gottfried Seebacher und Bernhard Oberegger  |     |
| <b>Produktkalkulation im Kontext von Industrie 4.0</b> .....  | 245 |
| Clemens Haußmann, Jens Lachenmaier, Heiner Lasi und Hans-Georg Kemper   |     |
| <b>Teil V Industrie 4.0: Voraussetzungen, Veränderungen und Akzeptanz</b>   |     |
| <b>Voraussetzungen für den Einsatz von MES schaffen – Erfahrungsbericht aus Sicht einer Fertigung</b> .....   | 255 |
| Johann Hofmann  |     |
| <b>Industrie 4.0 durch strategische Organisationsgestaltung managen</b> .....   | 271 |
| Georg Reischauer und Lukas Schober  |     |
| <b>Akzeptanzanalyse in der Industrie 4.0-Fabrik</b> .....   | 291 |
| André Ullrich, Gergana Vladova, Norbert Gronau und Nicole Jungbauer   |     |
| <b>Unternehmerische Herausforderungen bei Industrie 4.0-Projekten – Einsichten aus zwei Prozessstudien</b> .....  | 309 |
| Markus Grottko und Robert Obermaier   |     |

---

## Mitarbeiterverzeichnis

**Wolfgang Becker** Universität Bamberg, Bamberg, Deutschland

**Günter Bitsch** becos GmbH, Stuttgart, Deutschland

**Tim Botzkowski** Universität Bamberg, Bamberg, Deutschland

**Hans Ehm** Infineon Technologies AG, Neubiberg, Deutschland

**Sebastian Eurich** Universität Bamberg, Bamberg, Deutschland

**Lorenz Graf-Vlachy** Universität Passau, Passau, Deutschland

**Norbert Gronau** Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

**Markus Grottke** Universität Passau, Passau, Deutschland

**Clemens Haußmann** Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

**Kai Hofmann** Universität Passau, Passau, Deutschland

**Johann Hofmann** Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg, Deutschland

**Gerrit Hornung** Universität Kassel, Kassel, Deutschland

**Nicole Jungbauer** Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

**Hans-Georg Kemper** Ferdinand-Steinbeis-Institut der Steinbeis-Stiftung, Stuttgart, Deutschland

**Victoria Kirsch** Maschinenfabrik Reinhausen, Regensburg, Deutschland

**Matthias Klumpp** Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland

**Oliver Koch** Kassel, Deutschland

**Andreas König** Universität Passau, Passau, Deutschland

**Jens Lachenmaier** Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

**Heiner Lasi** Ferdinand-Steinbeis-Institut der Steinbeis-Stiftung, Stuttgart, Deutschland

**Lars Mönch** FernUniversität Hagen, Hagen, Deutschland

**Bernhard Oberegger** Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Klagenfurt, Österreich

**Robert Obermaier** Passau, Deutschland

**Georg Reischauer** Wien, Österreich

**August-Wilhelm Scheer** Scheer Holding, Saarbrücken, Deutschland

**Lukas Schober** Wien, Österreich

**Gottfried Seebacher** Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Klagenfurt, Österreich

**André Ullrich** Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

**Patrick Ulrich** Universität Bamberg, Bamberg, Deutschland

**Gergana Vladova** Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

**Uwe Weber** Kassel, Deutschland

**Stephan Wildner** Kassel, Deutschland

**Roland Willmann** PEER Group GmbH, Dresden, Deutschland

**Herwig Winkler** Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg,  
Cottbus, Deutschland

---

**Teil I**

**Industrie 4.0: Vision, Innovation,  
Konzeption**

---

# Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe

Robert Obermaier

---

## 1 Problemstellung

Das Schlagwort „Industrie 4.0“ dient gegenwärtig dazu, das Bild einer sich anbahnenden vierten industriellen Revolution zu zeichnen. Kennzeichnend für die bisherigen industriellen Revolutionen waren technologische Innovationen als auslösendes Moment: 1) die *Mechanisierung* durch Ersatz von Muskelkraft durch Wasserkraft und Dampf, 2) die *Automatisierung* durch Einsatz elektrischer Energie und Arbeitsteilung und 3) die *Digitalisierung* durch Einsatz programmierbarer Maschinensteuerungen zur weitgehenden Automatisierung und Standardisierung weiterer Bereiche der Fertigung aber auch vieler administrativer Prozesse mit Hilfe von IT. Den Kern der nunmehr ausgerufenen vierten industriellen Revolution stellt nach den bisherigen Stufen Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung nun 4) die *Vernetzung* von industrieller Infrastruktur (Maschinen, Werkstücke, Produkte und Menschen) im Bereich der industriellen Produktion mittels sog. Cyber-Physischer Systeme (CPS) dar (Abb. 1).

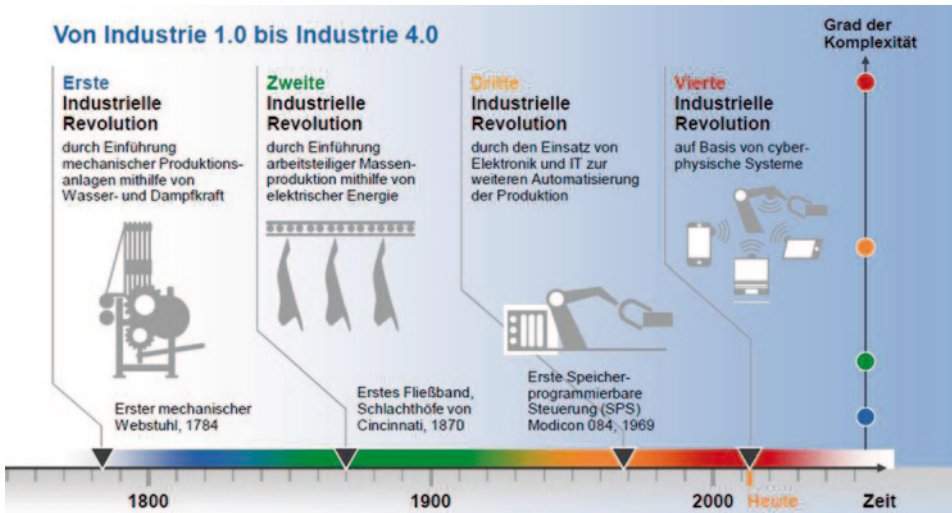
Die verwendete Zählweise ist nicht unumstritten, spielt im Rahmen dieser Ausführungen aber keine Rolle.<sup>1</sup> Unumstritten ist freilich auch die durchaus angreifbare Auffassung

---

<sup>1</sup> Insbesondere das eher historisch oder sozialwissenschaftlich ausgerichtete Schrifttum versteht unter der *Industriellen Revolution* den tiefgreifenden und dauerhaften Umbruch der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse im ausgehenden 18. und dann vor allem im 19. Jahrhundert. Als zweite industrielle Revolution beschreibt die Wirtschaftsgeschichte die Phase Hochindustrialisierung im ausgehenden 19. Jahrhundert, während als dritte industrielle Revolution zumeist die Phase zunehmender Digitalisierung und Ausbreitung der Computertechnik genannt wird, die als noch nicht abgeschlossen gilt. Vgl. Clark (2007); Pierenkemper (1996) und insbesondere Rifkin (2011, 2014).

---

R. Obermaier (✉)  
Innstraße 27, 94032 Passau, Deutschland  
E-Mail: [controlling@uni-passau.de](mailto:controlling@uni-passau.de)



**Abb. 1** Von „Industrie 1.0“ bis „Industrie 4.0“. (Quelle: in Anlehnung an Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft 2012)

nicht, eine vierte industrielle Revolution ex cathedra zu verkünden. Verknüpft wird die Kritik daran zumeist mit der – etwas müßigen – Frage, ob es sich nicht vielmehr um eine Evolution, als um eine Revolution handeln würde, da diese nur ex post, nicht aber ex ante beantwortbar ist. Allerdings sollte nicht verkannt werden, dass sich, in der Rückschau und von den festgestellten Wirkungen ausgehend, Revolutionen stets nur gegen die Richtung der Zeit erkennen lassen, während deren (schrittweiser) Ablauf nur mit der Zeit beschrieben werden kann und sie dabei regelmäßig den Charakter einer evolutionären Entwicklung aufweisen. Und so lehren uns frühere industrielle Revolutionen, dass sie sich mitunter langsam ausbreiten, prozeßhaft ablaufen aber mit einem Mal eine Dynamik erlangen können, die etablierte Produktionsweisen, Produkte und Geschäftsmodelle nachhaltig verändern, neue entstehen lassen und manche dafür auch auslöschen.

Zeuge derartiger Entwicklungen war die gegenwärtige Generation ja zuletzt bei der Ausbreitung des Internets. Die sog. Internet-Revolution hat z. B. in der Musikindustrie ehemals angestammte datenträgerbasierte Geschäftsmodelle (Schallplatte, Kassette, Compact Disc) nahezu völlig ausgelöscht und sich stattdessen zu rein digitalen Plattformen (*Apple iTunes*, diverse Streamingdienste, etc.) hin entwickelt. Der leise Abbau von Telefonzellen und die hingegen massenweise Ausbreitung von Mobiltelefonen und in den vergangenen Jahren zuletzt von sog. Smartphones sprechen Bände. Ähnliches war und ist vor allem im Handel zu beobachten: stationärer Handel und Versandhandel (*Quelle*,

---

Demnach fiel die derzeit diskutierte Vision „Industrie 4.0“ noch unter die dritte industrielle Revolution. Einer anderen Einteilung folgen Teile der Volkswirtschaftslehre unter Rückgriff auf sog. *Kondratieff-Zyklen*, die eine Theorie innovationsinduzierter Wachstumszyklen propagieren und deren Zahl auf derzeit etwa fünf geschätzt wird. Vgl. z. B. Korotayev und Tsirel (2010).



*Neckermann*) haben Marktanteile in erheblichem Umfang an Internethändler oder Plattformen wie *Amazon*, *Zalando* oder *Ebay* abgeben müssen. Und auch einst bildungsbürgerliche Statussymbole wie *Brockhaus* oder die *Encyclopedia Britannica* konnten gegen *Google* und *Wikipedia* nicht bestehen.

Angesichts der mit der Digitalisierung einhergehenden Veränderungen mag die damit verbundene unglaublich rasante Entwicklung aus heutiger Sicht unvermeidlich erscheinen, vor allem aber wird sie als unumkehrbar einzuschätzen sein. Überraschend ist dennoch, dass bis dato der klassische Industriebetrieb (zumindest scheinbar) im Schatten dieser Dynamik stand. Die Hauptwirkungsfelder der Internet-Revolution waren und sind (noch) im Bereich Handel und Dienstleistungen zu finden.

Und eine Zeitlang sah es auch so aus, als hätte industrielle Produktion angesichts abnehmender Wertschöpfungstiefen und Fertigungsverlagerungen in das weniger lohnkostenintensive Ausland ohnehin kaum Zukunft in industrialisierten Volkswirtschaften. Auch gemäß der klassischen Dreiteilung von primärem, sekundärem und tertiärem Sektor wird tendenziell erwartet, dass sich die Beschäftigtenzahlen im Zuge allgemeiner wirtschaftlicher Entwicklung vom primären Wirtschaftssektor (Rohstoff) auf den sekundären (Industrie) und von dort schließlich auf den tertiären Sektor (Dienstleistung) verlagern (Fourastié 1949). Für hochentwickelte Industrieländer ist demzufolge kein umfangreiches Beschäftigungswachstum aus dem industriellen Sektor zu erwarten. Empirisch läßt sich diese Entwicklung sowohl für die hochentwickelten Industrieländer als auch für Schwellenländer belegen (Szirmai 2012). Während in Schwellenländern in den vergangenen zwei Jahrzehnten die Beschäftigtenzahl anstieg, ging sie im selben Zeitraum in entwickelten Industrieländern sogar zurück. Dennoch läßt sich zeigen, dass ein starker industrieller Sektor als *conditio sine qua non* für ein Wachstum im dritten Sektor gilt. Es ist vielmehr kennzeichnend für den industriellen Sektor, dass eine „systematic tendency of productivity in manufacturing to grow faster than in services“ (Rowthorne und Ramaswamy 1999) besteht. Genau dies erklärt zwar einerseits den relativen Rückgang der Beschäftigung, aber andererseits die technologisch induzierten Wachstumsimpulse aus dem industriellen Sektor.

Die lange Zeit vorherrschende dichotome Sicht auf die sich vermeintlich ablösenden Sektoren verkennt dabei deren komplementären Charakter (Guerrieri und Meliciani 2005). Länder mit vergleichsweise umfangreichem industriellem Sektor weisen z. B. eine ausgeprägte Exportorientierung, höhere Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung aber auch bei langlebigen Investitionsgütern auf, haben höhere Innovationsraten und eine durch den technologischen Fortschritt steigende totale Faktorproduktivität (Aghion und Howitt 2009; McKinsey 2012). Zudem zeichnen sie sich durch höherwertige Arbeitsplätze und industrielle Cluster, die in engen Austauschbeziehungen stehen, sowie ausgeprägte wirtschaftliche Stabilität aus (Marsh 2012; Foresight 2013; UNIDO 2013). Das läßt sich erklären: Der industrielle Sektor ist Kernelement nahezu aller Wertschöpfungsketten. Industriebetriebe, die ihre Fertigungsstandorte verlagern, verlagern nicht selten auch Beschäftigung und Wissen anderer Bereiche mit: Forschung und Entwicklung oder Marketing und Vertrieb. Hinzu kommt die enge Verzahnung von industriellem Sektor und Dienstleistungssektor, denn Dienstleistungen stellen einen ganz wesentlichen Inputfaktor

für Industriebetriebe dar. Der industrielle Kern von Volkswirtschaften wird daher – vielfach auch aus den Erfahrungen der Finanzkrise 2008 – mittlerweile als „Rückgrat“ und „Stabilitätsgarant“ einer Volkswirtschaft gesehen.

In der Konsequenz verwundert es daher nicht, dass die lange Zeit vorherrschenden Trends der Produktionsverlagerung nunmehr differenzierter betrachtet werden. Während über einen längeren Zeitraum ein schleichendes Entfernen der Industriebetriebe aus entwickelten Volkswirtschaften zu beobachten war, mag dies zum einen ein Teil der Erklärung sein, weshalb der „klassische“ Industriebetrieb bislang von der Dynamik der Digitalisierung verschont blieb. Zum anderen ist jedoch die Einsicht in den komplementären Charakter von Industrie- und Dienstleistungssektor zentraler Ausgangspunkt für weltweite Bemühungen um wettbewerbsfähige industrielle Strukturen.

Ganz im Zeichen dieser Entwicklung steht der Begriff „Industrie 4.0“ dabei für ein Zukunftsprojekt der deutschen Bundesregierung, mit dem die digitale Vernetzung klassischer Fertigungsindustrien vorangetrieben werden sollte. Das verfolgte Ziel ist der Auf- und Ausbau wettbewerbsfähiger industrieller Strukturen, um „die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein“ (BMBF 2014).

Dabei sind die Bemühungen darum keineswegs auf Deutschland beschränkt. Das über lange Jahre regelrecht deindustrialisierte Vereinigte Königreich forciert ähnliche Maßnahmen mit dem Projekt „The Future of Manufacturing“ (Foresight 2013). Auch auf EU-Ebene gibt es mit dem Projekt „Factories of the Future“ entsprechende Initiativen (EFFRA 2013), die die verarbeitende Industrie in den Mittelpunkt der Bemühungen um mehr Wachstum, Innovation und Beschäftigung stellen. In den USA wird im selben Zusammenhang von „Industrial Internet“, dem „Internet of Things“ oder dem „Internet of Everything“ gesprochen. Zudem hat sich dort mit dem Industrial Internet Consortium (IIC) eine schlagkräftige Promotorenorganisation aus Industrie, Regierung und Wissenschaft gebildet.

Der sich aus diesen Bemühungen ergebende volkswirtschaftliche Nutzen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwer vorherzusehen. Optimistische Schätzungen insbesondere von Beratungshäusern schießen derzeit dennoch ins Kraut. Für Deutschland werden z. B. von BCG (2015) erhebliche Produktivitätszuwächse (15–25%), Umsatzsteigerungen (30 Mrd. EUR p. a.) und Investitionsschübe (250 Mrd. EUR in den kommenden zehn Jahren) erwartet. Sogar mit signifikanter Beschäftigungssteigerung im industriellen Sektor (i. H. v. 6% in den nächsten zehn Jahren) wird gerechnet; ähnliche Zahlen finden sich u. a. bei PwC (2014). Eine Studie von BITKOM (2014) erwartet bis 2015 ein kumuliertes Wertschöpfungspotential von bis zu 78 Mrd. EUR, was einer jährlichen Steigerung von 1,7% für die betrachteten Branchen entspricht. Einschränkend ist zu all diesen Studien anzumerken, dass es sich methodisch um eher simple Hochrechnungen und selektive Einschätzungen handelt.

Zudem gibt es auch zweifelndere Stimmen, insbesondere die Beschäftigung betreffend. Brynolfsson und McAfee (2014) zeichnen das Bild eines „Race against the Machine“, bei dem „der technische Fortschritt den ein oder anderen hinter sich lassen [wird] – möglicherweise auch viele.“ So gab es zwar nie „eine bessere Zeit für Arbeitskräfte mit speziellen Kompetenzen oder der richtigen Ausbildung, denn solche Menschen können die Technik nutzen, um Wert zu generieren und abzuschöpfen. Für Arbeitnehmer mit „gewöhnlichen“

Kompetenzen und Fähigkeiten gab es dagegen kaum eine schlechtere Zeit, denn Computer, Roboter und andere digitale Technik erwerben solche Kompetenzen und Fähigkeiten mit beispielloser Geschwindigkeit.“<sup>2</sup>

Die damit proklamierte Renaissance des Industriebetriebs im Zeichen einer vierten industriellen Revolution darf daher nicht falsch verstanden werden. Nicht der Nachbau erfolgreicher industrieller Strukturen, sondern der Neubau zukunftsfähiger Industriestrukturen steht im Vordergrund der Debatte. Es geht also weniger um die „Fabrik der Zukunft“ sondern eher um die „Fabrik mit Zukunft“. Daher wird in der Vision „Industrie 4.0“ der Industriebetrieb selbst zum Gegenstand der nächsten Internet-Revolution gemacht: dem „Industrial Internet of Things“.

Aufzuzeigen, welche betriebswirtschaftlichen Handlungsoptionen damit verbunden sind, ist Gegenstand dieses Beitrags. Um die unternehmerischen Gestaltungsaufgaben herauszuarbeiten, die sich aus den technischen Möglichkeiten der Produktionsvision „Industrie 4.0“ ergeben, soll zunächst ein (betriebswirtschaftlich orientiertes) Begriffsverständnis für „Industrie 4.0“ entwickelt werden, bevor im Anschluß Trends, relevante Technologien und Anwendungen für wettbewerbsfähige industrielle Strukturen analysiert und die sich durch „Industrie 4.0“ ergebenden Strategieoptionen entwickelt werden. Die Studie wird dabei insbesondere 1) auf die Steigerung der Effizienz von Prozessen industrieller Wertschöpfung und 2) auf die Steigerung der Effektivität von Produkten und damit zusammenhängenden Geschäftsmodellen eingehen.

---

## 2 Zum Begriff „Industrie 4.0“

„Industrie 4.0“ steht ursprünglich für ein Zukunftsprojekt der deutschen Bundesregierung, mit dem die digitale Vernetzung klassischer Fertigungsindustrien vorangetrieben werden soll. Es geht um den Auf- und Ausbau wettbewerbsfähiger industrieller Strukturen, um „die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein“ (BMBF 2014). Mittlerweile hat sich der Begriff rasant verbreitet und es kursieren verschiedenste Auffassungen zu diesem Schlagwort. In Deutschland haben sich mehrere Industrieverbände (*BITKOM*, *VDMA* und *ZVEI*) unter Leitung des Bundeswirtschafts- und des Bundesforschungsministeriums zu einer „Plattform Industrie 4.0“ zusammengefunden und folgendes Begriffsverständnis verlautbart:

Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Aus-

---

<sup>2</sup> Eine spannende Rückschau mit Ausblick liefert *Autor (2015)* mit seiner Analyse von „History and Future of Workplace Automation“. Siehe analog zu „Technological Anxiety and the Future of Economic Growth“ auch *Mokyr et al. (2015)*.

lieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.

Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen. (Plattform Industrie 4.0 2014)

Was läßt sich betriebswirtschaftlich aus dieser – doch etwas unhandlichen und unscharfen – „Definition“ (im Umfang von 130 Wörtern) gewinnen?

Der erste Teil thematisiert die Funktion von „Industrie 4.0“: die Verschränkung von technischer Produktplanung und -realisierung (Design und Konstruktion) mit betriebswirtschaftlicher Produktionsplanung und -steuerung (Produktion und Logistik) über die gesamte Wertschöpfungskette. Indes geht der Anspruch von „Industrie 4.0“ noch darüber hinaus. So soll es möglich werden, die „klassische“ Zweiteilung zu überwinden, nach der kurzfristig die Kundenbedürfnisse an das (gegebene) Produktprogramm anzupassen seien, während langfristig die Produkte an die Kundenbedürfnisse angepaßt werden könnten. Mit anderen Worten geht es darum, auch kurzfristig kundenindividuelle Produkte nach industriellem Maßstab herstellen zu können. Dies kann Auswirkungen auf das Geschäftsmodell eines Industriebetriebs haben.

Damit kommt man zu dem zweiten – eher technisch ausgerichteten – Teil der o. g. Definition; dieser thematisiert Struktur und Prozeß von Industrie 4.0: die Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure zu sog. *Cyber-Physischen Systemen* (CPS); obgleich diese nicht explizit genannt werden. CPS zeichnen sich dadurch aus, dass sie mittels Sensoren Daten erfassen, mittels eingebetteter Software aufbereiten und mittels Aktoren auf reale Vorgänge einwirken, über eine Dateninfrastruktur, wie z. B. das Internet, kommunizieren und über Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen, um so eine Optimierung hinsichtlich vorzugebender Kriterien auf der Ebene der Leistungserstellung zu ermöglichen.

Wenngleich also einige betriebswirtschaftliche Überlegungen aus der „Industrie 4.0“-Definition der Verbändeplattform entwickelt werden können, so vermag sie aufgrund ihres Umfangs aber auch aufgrund ihrer eher sperrigen technischen Ausrichtung indes nicht voll zu überzeugen.

Deutlich knapper, dennoch vollständig und mit betriebswirtschaftlichem Bezug soll daher im weiteren als *Arbeitsdefinition für „Industrie 4.0“* formuliert werden:

„Industrie 4.0“ beschreibt eine Form industrieller Wertschöpfung, die durch Digitalisierung, Automatisierung sowie Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure charakterisiert ist und auf Prozesse, Produkte oder Geschäftsmodelle von Industriebetrieben einwirkt.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Diese „klassische“ Form einer Definition bezeichnet das Definiendum „Industrie 4.0“ durch die Nennung des „Genus Proximum“ sowie der „Differentia Specifica“: Ersterer führt das zu definierende Phänomen „Industrie 4.0“ auf einen bereits bekannten Begriff (hier: eine Form industrieller Wertschöpfung) zurück. Letztere nennt den artbildenden Unterschied (hier: Digitalisierung, Auto-

### 3 „Gesetze der Digitalisierung“ als Treiber von Industrie 4.0

Was den Industriebetrieb betrifft, so wurde schon vor mehr als dreißig Jahren mit dem Konzept des Computer-Integrated Manufacturing (CIM) eine weitgehende Digitalisierung im Bereich der Fertigung und mit dem Konzept des Enterprise Resource Planning (ERP) im Bereich der allgemeinen administrativen Geschäftsprozesse angestrebt. Die wesentlichen Effekte dieser Entwicklungen schlugen sich in der Standardisierung von Geschäftsprozessen, weitgehender Automatisierung und damit einhergehenden Produktivitätszuwächsen nieder.

Darüber hinaus begannen vor etwa zwanzig Jahren Bemühungen, mit dem Konzept des Supply Chain Management (SCM) eine (horizontale) Integration der Wertschöpfungsketten mit Kunden und Lieferanten über Unternehmensgrenzen hinweg zu erreichen. Vor allem die sich in den 1990er Jahren rasch ausbreitende Internettechnologie wurde alsbald dazu genutzt, neue und vor allem engere Formen der Koordination mit Kunden und Lieferanten zu erschließen (Otto und Obermaier 2009). Daraus entstanden vielfältige Lösungen für das Supply Chain Management, die insbesondere auch die effiziente Steuerung globaler Lieferketten ermöglichten. Zudem wurden rasch neue Vertriebsformen und Geschäftsmodelle (E-Commerce) durch Nutzung der Internettechnologie erschlossen. Interessanterweise blieben sowohl die eigentlichen Produkte als auch die betrieblichen Produktionsprozesse von der Entwicklung des Internet zunächst weitgehend unberührt.

Und genau diese sind nun Ansatzpunkt der als „Industrie 4.0“ angekündigten vierten industriellen Revolution. Konsequenterweise wird dabei davon ausgegangen, dass die Internettechnologie nicht nur zu engerer Kooperation zwischen Unternehmen, Kunden und Lieferanten, sondern auch zu einer intelligenten Vernetzung sämtlicher Akteure einer industriellen Fertigung beitragen kann.

Damit aber wird deutlich, dass mit dem Aufkommen insbesondere der Internettechnologie „Industrie 4.0“ in gewisser Weise für eine Weiterentwicklung eines Computer Integrated Manufacturing (CIM) sorgen kann; allerdings durchaus anders als ursprünglich angedacht. Während CIM durch die damals vorherrschende Technologie einen zentralen Planungsansatz verfolgt, läßt die Internettechnologie eine dezentrale Vernetzung aller möglichen Akteure zu.

Die mit der Digitalisierung einhergehenden Veränderungen erscheinen aus heutiger Sicht vielfach unvermeidlich, vor allem aber als unumkehrbar. Schon sehr früh hat Zuboff (1988) mit ihren „Gesetzen der Digitalisierung“, aus heutiger Sicht weitsichtige Trendausagen, Aufsehen erregt:

---

matisierung sowie Vernetzung als Industrie 4.0-Charakteristika) und stellt diese in den Wirkungskontext der Betriebswirtschaftslehre (hier: Wirkung auf Prozesse, Produkte bzw. Geschäftsmodelle von Industriebetrieben). Die Eignung der Definition hat sich vor allem an ihrer Adäquatheit (hier: betriebswirtschaftlicher Kontext) und ihrer Nützlichkeit (hier vor allem die gewählte Knappheit) zu orientieren.

- *Zuboffs erstes Gesetz*: Alles, was digitalisiert und in Information verwandelt werden kann, wird digitalisiert und in Information verwandelt.
- *Zuboffs zweites Gesetz*: Was automatisiert werden kann, wird automatisiert.
- *Zuboffs drittes Gesetz*: Jede Technologie, die zum Zwecke der Überwachung und Kontrolle kolonisiert werden kann, wird, was immer auch ihr ursprünglicher Zweck war, zum Zwecke der Überwachung und Kontrolle kolonisiert.

Angesichts des Aufkommens der Internettechnologie wäre in Anlehnung an *Zuboff* als „viertes Gesetz“ zu ergänzen: Alles, was zur Vernetzung eingesetzt werden kann, wird zur Vernetzung eingesetzt; womit bereits dem umfassenden Ausdruck vom „Internet of Things“ oder allumfassend, dem „Internet of Everything“ der Boden bereitet wäre.

Damit sind die zentralen Treiber, die auch unsere Industrie 4.0-Arbeitsdefinition aufgreift, adressiert: Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung zum Zwecke der Beeinflussung und Neuordnung von Strukturen und Prozessen der Geschäftsmodelle von Industriebetrieben.

Daneben gibt es freilich weitere – durchaus überlappende – Trends, denen sich Industriebetriebe seit einiger Zeit ausgesetzt sehen. Im weiteren sollen daher sechs ausgewählte Entwicklungen skizziert werden, die besondere Herausforderungen für die industrielle Fertigung darstellen.

1. Die zunehmende Internationalisierung der Märkte erlaubt Unternehmen einerseits die Realisierung komparativer Vorteile (z. B. bzgl. der Faktorkosten oder beim Zugang zu speziellen Ressourcen) durch Nutzung globaler Produktionsmärkte. Andererseits intensiviert sich der Wettbewerb in den erweiterten Absatzmärkten, was bei den davon betroffenen Unternehmen zu einer Erosion von Margen und vergleichsweise schlechterer Performance führen kann. Mit der zunehmenden Internationalisierung hängt der insbesondere durch komparative Faktorkostenvorteile in Niedriglohnländern ausgelöste Kostendruck zusammen, der auf jene Unternehmen wirkt, deren Kostenstrukturen an Wettbewerbsfähigkeit verlieren und die so eine schlechtere finanzielle Performance aufweisen. Häufig zu beobachten war daher die Verlagerung von Produktionszweigen in Niedriglohnländer (Offshoring), deren organisatorische Auslagerung (Outsourcing) bzw. eine Kombination davon (Offshore Outsourcing).
2. Da sich Unternehmen vor dem Hintergrund der Internationalisierung der Märkte und des zunehmenden Kostendrucks häufig zugunsten des „Buy“ anstatt des „Make“ entschieden haben, wurde die Auslagerung von Produktion zum Erfolgsfaktor erklärt; allerdings mit der Konsequenz steigender Komplexität und Störanfälligkeit der arbeitsteiligen Produktionsabläufe und Lieferbeziehungen. Die beschriebene Entwicklung manifestierte sich in einem weiteren Befund: dem Rückgang der Fertigungstiefe in den vergangenen Jahrzehnten; häufig begleitet von Schlagwörtern wie Konzentration auf Kernkompetenzen und „kapitalarme Produktion“.

3. (Nicht nur) im Bereich der Produktion werden seit mehr als zwei Jahrzehnten vermehrt dezentrale Planungs- und Steuerungskonzepte anstelle zentral organisierter Planung diskutiert. Als Schlagworte hielten insbesondere modulare, fraktale oder virtuelle Fabriken Einzug in den wissenschaftlichen Diskurs. Als wesentliche Strukturmerkmale lassen sich u. a. stärkere Prozeßorientierung, flachere Hierarchien, stärkere Vernetzung, Selbstorganisation und Autonomie erkennen. Drumm (1996) spricht hierbei vom „Paradigma der neuen Dezentralisation“. Bezogen auf die Wertschöpfungsorganisation folgen daraus Entwicklungen hin zu stärkerer Vernetzung und Integration der beteiligten Akteure, Selbststeuerung und individualisierte Produktion sowie ein erweitertes Produkt- und Dienstleistungsverständnis.
4. Henry Ford wird in diesem Zusammenhang das Bonmot zugeschrieben, sein berühmtes Model T in jeder beliebigen Farbe zu liefern, solange diese schwarz sei. Während dieser klassische Ansatz Massenfertigung unter dem Gesichtspunkt der Kostenminimierung ermöglichte, steht dem gegenüber heute eine ausgeprägt starke Individualisierung der Nachfrage. Damit sehen sich Unternehmen vor ganz anderen Herausforderungen, nämlich eine Vielzahl kundenindividueller Produkte zu Kosten herzustellen, die denen einer Massenfertigung entsprechen. Von Mass Customization ist in diesem Zusammenhang die Rede (Pine 1993). Unternehmen, die erfolgreich sein wollen, haben keine Wahl: Sie müssen eine Vielzahl von Varianten zu wettbewerbsfähigen Preisen anbieten können. Damit einher geht eine Änderung der Zielsetzung: Eine möglichst starke Individualisierung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-) Produktion zu gegebenen Kosten herstellen zu können. Eine hohe Variantenzahl steigert allerdings die technologische und organisatorische Komplexität der Fertigung und steht zwangsläufig im Konflikt mit niedrigen Produktionskosten. Hohe Variantenzahlen erlauben nicht mehr die klassische Frage nach der optimalen Losgröße, da diese im Extremfall gegen eins tendiert, sondern zwingen zu einer drastischen Reduktion der Rüstkosten und weiterer Maßnahmen zu erhöhter Flexibilisierung. Die Automobilindustrie gilt hierbei als Paradebeispiel, eine Vielzahl von Produktvarianten anbieten, diese aber im Rahmen einer industriellen Massenfertigung kostengünstig herstellen zu können. Ähnliche Beispiele liefern auch andere Branchen.
5. Als Weiterentwicklung der Mass Customization gilt das Open Innovation-Konzept, bei dem versucht wird, den Innovationsprozeß zu öffnen (und zu beschleunigen), um durch eine Integration der Unternehmensumwelt (insbesondere der Kunden) neue Produkte zu entwickeln (Chesbrough 2003). Als Kernprozesse gelten der Outside-in-Prozeß, der das im Unternehmen vorhandene Wissen mit externem Wissen von Kunden, Lieferanten oder anderen Akteuren anreichert sowie der Inside-out-Prozeß, der die externe Vermarktung z. B. durch Lizenzierung fördern soll.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Im übrigen ist die direkte Einbindung von Kunden und Geschäftspartnern in Wertschöpfungsprozesse nicht nur auf Innovationen beschränkt, sondern im Kontext des Supply Chain Management bereits seit längerem Gegenstand zunehmend arbeitsteiliger Wertschöpfungsketten.

6. Getrieben wird diese Entwicklung durch die sich vornehmlich bei den Konsumgütern verkürzenden Produktlebenszyklen. Daraus folgt zwangsläufig eine geringere Zeitspanne zur Gewinnerzielung der davon betroffenen Unternehmen. Dies ist unmittelbar ergebniswirksam, falls es nicht gelingt, die vorgelagerte „Time to Market“ und damit zusammenhängende Entwicklungskosten entsprechend zu reduzieren. Überdies bewirken verkürzte Produktlebenszyklen einen höheren Flexibilisierungsdruck und erfordern entsprechende Wandlungsfähigkeit der Unternehmen. Weiterer Zeitdruck entsteht, wenn z. B. aufgrund von verlängerten Transportwegen infolge globaler Produktions- und Absatzmärkte die „Time to Consumer“ verkürzt werden muß. Dies setzt schließlich eine Verkürzung von Logistikprozessen und eine Beherrschung des Supply Chain Management voraus, was ohne entsprechend hohe Qualitätsstandards bezüglich der Produkte und Prozesse nicht möglich wäre. Während noch in den 1960er Jahren schlichte Qualitätskontrollen bei den Endprodukten als ausreichend galten, sind nunmehr viel umfassendere Qualitätsbegriffe von Nöten.

Zusammenfassend lassen sich neben den „Gesetzen der Digitalisierung“ drei Typen weiterer Treiber identifizieren: Zum ersten hat sich der Wettbewerbsdruck im Bereich der industriellen Produktion über die Jahre hinweg erhöht und die Margen erodieren lassen, zum zweiten wurde insbesondere durch den ausgelösten Kostendruck nicht selten die Fertigungstiefe durch Outsourcing reduziert. Demgegenüber stehen aber zum dritten gestiegene Anforderungen an die Produktion, die vor allem in Zeitdruck, Qualitätsdruck, Innovationdruck, Individualisierungsdruck und Variantendruck zum Ausdruck kommen. In der Summe macht all das die Beherrschung einer flexiblen Produktion zu einem kritischen Erfolgsfaktor für Unternehmen. Hier setzt die Vision „Industrie 4.0“ an, den Unternehmen in ihrem Kernbereich, der Leistungserstellung, zu erhöhter Wettbewerbsfähigkeit zu verhelfen. Entscheidend wird dabei sein, inwieweit es gelingt, die damit verbundenen Gestaltungsoptionen zum Zwecke der Erfüllung von Kundenerwartungen zu realisieren.

---

## 4 Technologieinnovationen als Befähiger von Industrie 4.0

Am Beginn industrieller Revolutionen standen stets technologische Innovationen. Die Produktionsvision „Industrie 4.0“ steht nicht mit leeren Händen da. Sie fußt im Kern auf fünf technologischen Innovationen, die im folgenden kurz skizziert werden sollen und deren Zusammenwirken sog. Cyber-Physische Systeme (CPS), mithin also ein „Internet of Things“ etabliert.

Ausgangspunkt zum Verständnis Cyber-Physischer Systeme sind jegliche Objekte („things“), die auf der Basis sog. eingebetteter Systeme („embedded systems“) mit Fähigkeit zur Selbststeuerung ausgestattet sind und mittels Sensoren Daten erfassen, mittels eingebetteter Software aufbereiten und mittels Aktoren auf reale Vorgänge einwirken, über eine Dateninfrastruktur, wie z. B. das Internet, kommunizieren und über Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen und ihrerseits selbst wiederum mit anderen CPS zu einem „Internet of Things“ vernetzt werden können.



Die im Kontext von Industrie 4.0 relevanten Technologien sind solche, die zur Etablierung von CPS beitragen. Sie werden im folgenden durch die fünf Felder 1) Internet- und Kommunikationstechnologie, 2) Automatisierung, Fertigungstechnologie und Robotik, 3) Sensorik und Aktorik, 4) Eingebettete Systeme, Analytik und Systemtechnik sowie 5) Mensch-Maschine-Schnittstellen zusammengefaßt und hinsichtlich des Reifegrads entsprechender Anwendungen unter Rückgriff auf den sog. *Technology Readiness Level* (TRL) eingeschätzt. Dabei gelten TRL von 1 bis 3, 4 bis bzw. 7 bis 9 als Technologien mit geringem, mittlerem bzw. hohem Reifegrad (Tab. 1).

---

## 5 Unternehmerische Gestaltungsfelder im Kontext von Industrie 4.0

### 5.1 Produktionsfaktoren

Um ein besseres Verständnis davon zu bekommen, wie „Industrie 4.0“ betriebswirtschaftlich wirken kann, lohnt ein Blick in das Innere der Betriebswirtschaftslehre: den Industriebetrieb.

Allen voran Gutenberg (1971) hat aus der theoretischen Analyse des Industriebetriebs das System der produktiven Faktoren (Elementarfaktoren Arbeit, Betriebsmittel, gegebenenfalls auch Werkstoffe und der dispositive Faktor) als Ausgangspunkt seiner Überlegungen gewählt (s. a. Bohr 1979). Diese Produktionsfaktoren werden über das Konzept der Produktionsfunktion miteinander kombiniert und mit der internen Unternehmensrechnung verknüpft, um so Aussagensysteme über wirtschaftliches Betriebsgebaren (Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität) zu entwickeln (Bohr 1992, 1993). Aus heutiger Sicht lassen sich viele Planungsverfahren, insbesondere Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme, hierauf zurückführen, denn es war gerade die Analyse der Komplexität des Industriebetriebs, die zu allgemeinen Aussagesystemen im Sinne einer Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre geführt hat. Wer die enorme Komplexität eines Industriebetriebs beherrscht, beherrscht auch weniger komplexe Systeme, könnte thesenförmig formuliert werden.

Überträgt man die oben genannten „Industrie 4.0“-Charakteristika unter Rückgriff auf konkrete Technologieinnovationen nun auf das System der Produktionsfaktoren, so lassen sich folgende potentielle Auswirkungen von „Industrie 4.0“ auf das Produktivsystem von Industriebetrieben herausarbeiten:

1. Zu den Betriebsmitteln gehören sämtliche materiellen und immateriellen Güter und Dienstleistungen, die Leistungspotentiale besitzen und diese im Rahmen von Leistungserstellungsprozessen längerfristig zur Verfügung stellen. Die im Kontext von „Industrie 4.0“ relevanten Technologien lassen sich durch die Felder Automatisierung und Robotik, additive Fertigungstechnologie (z. B. 3D-Druck), Sensorik, Aktorik, eingebettete Systeme, Software und Systemtechnik (z. B. Simulation, Big Data-Analytik, Cloud-Services) sowie Vernetzung mittels Internet- und Kommunikationstechnolo-

**Tab. 1** Industrie 4.0-Technologiefelder und Reifegrad. (in Anlehnung an: Agiplan 2015)

| Technologiefeld                                    | Anwendung mit geringem Reifegrad            | Anwendung mit mittlerem Reifegrad                   | Anwendung mit hohem Reifegrad             |                   |
|--|---|---|---|-------------------|
| Internet- und Kommunikationstechnologie            | Echtzeitfähige, drahtlose Kommunikation     | Horizontale und vertikale Systemintegration         | Echtzeitfähige Bus-Technologie            |                   |
|  | Selbstorganisierende Kommunikationsnetze    |   | Drahtgebundene Hochleistungskommunikation |                   |
|  | Kommunikationsstandards                     |   | IT-Sicherheit                             |                   |
| Automatisierung, Fertigungstechnologie und Robotik | Autonome Robotik                            | Additive Fertigungsverfahren                        | Mehrachsenroboter                         |                   |
|  | Humanoide Robotik                           |   |   | Sensitive Robotik |
|  | Cloud Robotik<br>Deep Learning              |   |   |                   |
| Sensorik und Aktorik                               | Miniaturisierte Sensorik                    | Vernetzte Sensorik                                  |   |                   |
|  | Intelligente Sensorik                       | Sensorfusion  |   |                   |
|  |   | Sicherheitssensorik                                 |   |                   |
|  |   | Intelligente Aktoren                                |   |                   |
|  |   | Vernetzte Aktoren<br>Sichere Aktoren                |   |                   |
| Eingebettete Systeme, Analytik und Systemtechnik   | Miniaturisierte eingebettete Systeme        | Energy-Harvesting                                   | Intelligente eingebettete Systeme         |                   |
|  | Simulationsumgebung                         | Multi-Agenten-Systeme                               | Identifikationsmittel                     |                   |
|  | Multikriterielle Situationsbewertung        | Maschinelles Lernen                                 | Big Data-Speicher- und Analyseverfahren   |                   |
| Mustererkennung                                    |   | Cloud-Computing                                     |   |                   |
| Mensch-Maschine-Schnittstellen                     | Verhaltensmodelle                           | Sprachsteuerung                                     | Intuitive Bedienelemente                  |                   |
|  | Kontextbasierte Informationsrepräsentierung | Gestensteuerung                                     | IT-Sicherheit (Zugang, Identifikation)    |                   |
|  | Semantik-Visualisierung                     | Wahrnehmungsgesteuerte Schnittstellen               |   |                   |
|  |   | Fernwartung<br>Augmented Reality<br>Virtual Reality |   |                   |

gie („Internet der Dinge“) beschreiben. Beispielhaft ausgedrückt bedeutet das, dass Betriebsmittel über eingebettete Systeme und deren Vernetzung „intelligenter“ werden, indem sie Fähigkeiten wie Condition Monitoring, teilweise Selbststeuerung o. ä. entwickeln. Meist kommt dies durch das Adjektiv „smart“ zum Ausdruck.

2. Zum Elementarfaktor menschliche Arbeit zählen die in unmittelbarer Beziehung zur Leistungserstellung und den anderen betrieblichen Funktionen stehenden Tätigkeiten. Auch hier sind es zunächst wieder neue Technologien, die besondere Formen insbesondere von Mensch-Maschine-Interaktion in Zusammenhang mit den eben beschriebenen „smarten“ Betriebsmitteln erlauben. Diese können weitergehende Automatisierung bereitstellen, im Bedarfsfall (z. B. wenn Daten fehlen oder explizit Mitarbeiterexpertise benötigt wird) aber den Mitarbeiter z. B. für Verfahrenswahlentscheidungen o. ä. einschalten. Beginnend mit intuitiven Bedienelementen, kontextbasierter Informationsdarstellung, über Sprach- und Gestensteuerung oder wahrnehmungsgesteuerten Schnittstellen bis hin zu Augmented Reality-Systemen stehen Technologien bereit, die Mitarbeiter einerseits von automatisierbaren Routinen entlasten, sie aber andererseits durch Assistenzsysteme bei ihren Tätigkeiten unterstützen und so effizientere Arbeits- und Produktionsprozesse ermöglichen. Der Aufbau entsprechender Kompetenzen bei den Mitarbeitern gilt dabei unumstritten als wesentliche Herausforderung im Zuge der Digitalisierung von Industriebetrieben (Davenport und Kirby 2015).
3. Auch Werkstoffe, die als Verbrauchsfaktoren Bestandteil der Produkte werden, können durch den Einsatz von Sender-Empfänger-Systemen (z. B. RFID) zu „intelligenten“ Materialien werden. Diese sind in der Lage, Informationen über ihre Eigenschaften und erforderliche Arbeitsschritte (Arbeitspläne) auf einem Datenträger mit sich führen zu können, um so effizient transportiert, gelagert, be- oder verarbeitet bzw. montiert zu werden.

Jeweils für sich genommen sagt die Verfügbarkeit dieser Technologien noch nichts über deren betriebswirtschaftlichen Nutzen aus. Erst die explizite Nutzbarmachung im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung eröffnet Potentiale für Steigerung von Produktivität und Wirtschaftlichkeit des Industriebetriebs. Hinzu kommt: Die meisten der in der Diskussion stehenden Technologien erlauben vor allem in Kombination eine Reihe neuartiger Funktionalitäten im Bereich der industriellen Produktion.

Eine zentrale Rolle spielen dabei die bereits dargestellten Cyber-Physischen Systeme (CPS), die eine dezentrale, intelligente Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure ermöglichen. Das verwendete Adjektiv „intelligent“ deutet an, dass der Einsatz und die Kombination der Technologien primär dem Zweck besserer Entscheidungen dienen.

4. Damit wird die Bedeutung von „Industrie 4.0“ endlich für den dispositiven Faktor klar. Die Kombination neuartiger Technologien mit den Elementarfaktoren und deren Vernetzung zu CPS erlaubt wesentliche Fortschritte beim dispositiven Faktor, also all jener Instanzen (und den ihnen zugeordneten Unterstützungsbereichen) mit Entscheidungsbefugnis, insbesondere durch Datenerfassung und -verarbeitung in Echtzeit,

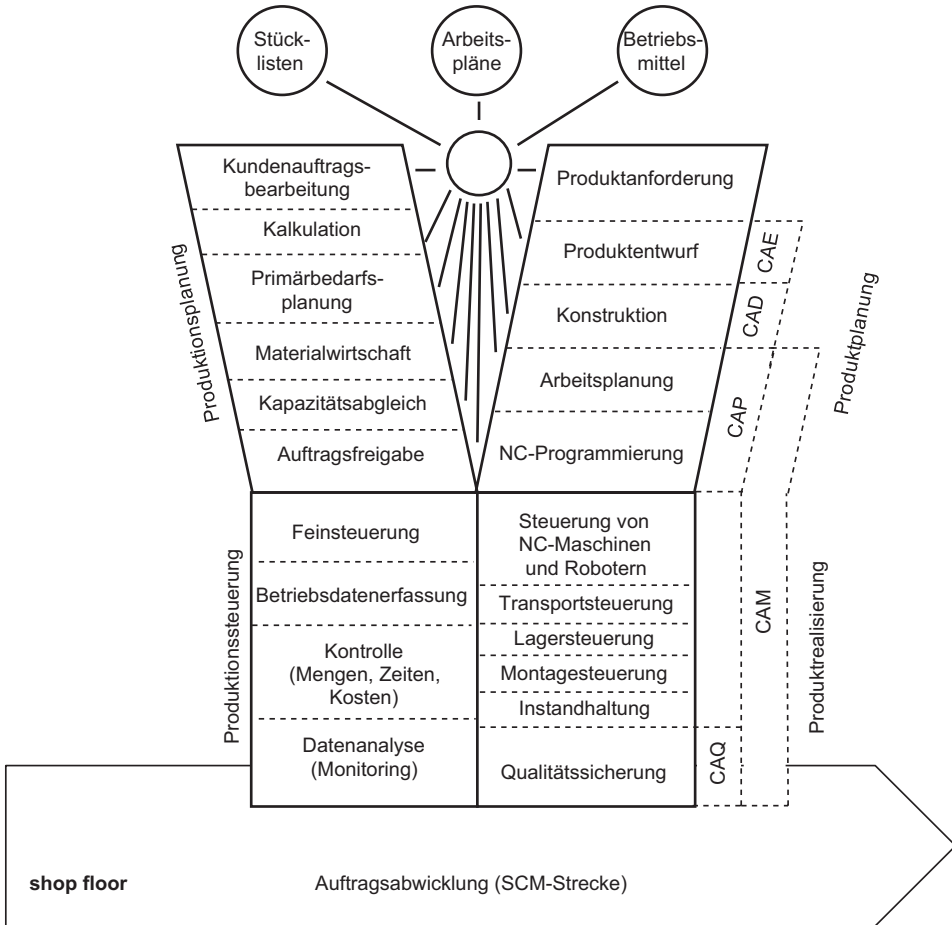
horizontale und vertikale Vernetzung (durch Internettechnologie) und den Einsatz von Assistenzsystemen sowie die Dezentralisierung der Steuerung. So wird beispielsweise im Rahmen der Einführung von integrierten Softwaresystemen für die Produktionsplanung und -steuerung und dem Product-Lifecycle-Management (PLM) eine vertikale Integration realisiert, die dann mittels Supply Chain Management zu einer horizontalen Vernetzung mit Kunden und Lieferanten über Unternehmensgrenzen hinweg erweitert werden kann.

Diese Funktionalitäten führen auf den Wesenskern von „Industrie 4.0“ zurück und ermöglichen dem dispositiven Faktor die Bereitstellung und Nutzung entscheidungsrelevanter Informationen. Ein erster wesentlicher Vorzug ist die Möglichkeit ein Echtzeitabbild der Fertigung zu erhalten, mit dem erst eine „echte“ Produktionssteuerung von Fabriken und ganzen Wertschöpfungsnetzwerken mit intelligenteren Monitoring- und Entscheidungsprozessen durch Soll-Ist-Vergleiche möglich wird („Smart factory“). Dabei wird klar, dass der dispositive Faktor den jeweils relevanten Informationsbedarf definieren muß, während der Aufbau entsprechender Informationsversorgungssysteme und der Einsatz von Analyserwerkzeugen angesichts der zu erwartenden Datenmengen („Big Data“) eine besondere Herausforderung (z. B. für das Controlling) darstellt.

## 5.2 Produktionsprozesse

Nachdem dargelegt wurde, wo (und wie) die drei Industrie 4.0-Charakteristika Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung auf Produktionsfaktoren wirken, soll nun untersucht werden, welche Konsequenzen sich daraus auf die Produktionsprozesse eines Industriebetriebs ergeben können. Nicht alles ist neu, was derzeit in diesem Zusammenhang unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ diskutiert wird. (Teil-)Automatisierungen und der Einsatz von Industrierobotern sind seit langem bekannt. Was hingegen verstärkt Bedeutung erlangt, sind die Aspekte der Digitalisierung und Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligter Akteure; sowohl horizontal (auf der Ebene der Leistungserstellung) als auch vertikal (über die Ebenen der Produktionsplanung- und Steuerung).

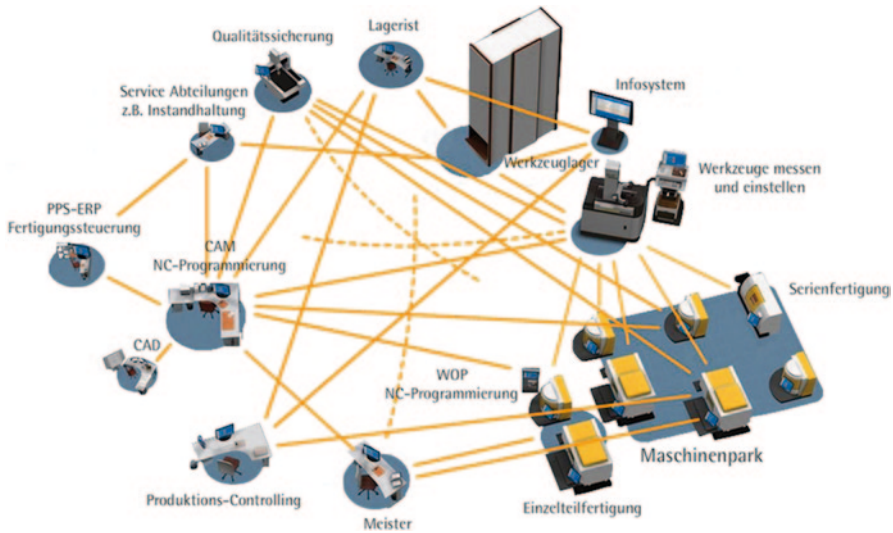
Diese Entwicklungsrichtung auf Prozezebene, als ein Wesenskern von „Industrie 4.0“, basiert vor allem auf einer Nutzung der Internettechnologie zur Vernetzung der gesamten industriellen Infrastruktur (Mensch, Maschine, Material) zu sog. *Cyber-Physischen Systemen* (CPS). Diese und andere Schlüsseltechnologien waren zur Zeit von CIM noch nicht verfügbar, so dass damals ein eher zentralistischer Planungs- und Steuerungsansatz in der Fertigung verfolgt wurde. Dessen Unzulänglichkeit beruht vor allem auf dem deterministischen Konzept von MRP-Systemen; d. h. dass die in diesen Systemen geplanten Daten, die zumeist auf historischen Durchschnittswerten basieren, keine Unsicherheit berücksichtigen und durch die fehlende Echtzeitfähigkeit keine Soll-Ist-Vergleiche zulassen. Außerdem finden sich in vielen Fertigungsbetrieben bis heute überwiegend informationstechnische „Insellösungen“. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Unter anderem liegt es an einer schrittweisen Implementierung nicht oder nur in geringem Umfang aufeinander



**Abb. 2** Y-Modell des Computer Integrated Manufacturing. (Quelle: Scheer 1987; Kiener et al. 2012)

abgestimmter Systeme. So gelang mit CIM eine (vertikale) Integration von betriebswirtschaftlichen Planungs- und Steuerungsaufgaben mit den primär technisch orientierten Aufgaben der Produktion nur in begrenztem Ausmaß (Astrop 1979; Kops 1980; Scheer 1987; Kiener et al. 2012) (Abb. 2).

Aus heutiger Sicht ist zu konstatieren, dass die betriebswirtschaftliche Produktionsplanung zumeist im Rahmen von etablierter ERP-Software weitgehend EDV-gestützt abläuft (linker Ast des Y-Modells), und auch die technischen Aufgaben, vornehmlich jene der Produktplanung, im Rahmen von CAD-CAM-Systemen (Product-Lifecycle-Management) integriert sind (rechter Ast des Y-Modells). Allerdings existieren zwischen den Subsystemen kaum Verbindungen. Ebenso fehlt eine Anbindung an die physische Fertigungssteuerung im sog. Shop floor nahezu völlig. Beim Versuch, diese Vernetzungen zu realisieren, tritt als offenkundiges Problem eine exponentiell wachsende Schnittstellenproblematik



**Abb. 3** Schnittstellenprobleme in der Fertigung. (Quelle: Maschinenfabrik Reinhausen)

zutage. Ein durchgängiger Datenfluß in der Fertigung scheidet daher schon an der Vielzahl und Vielfalt der beteiligten Akteure. Im Extremfall kommuniziert jeder Akteur in einer Fertigung mit Hilfe von unterschiedlichen Schnittstellen mit jedem anderen Akteur. Die Aufrechterhaltung eines solchen Systems stößt schnell an Grenzen. Damit bestehen aber Potentiale fort, mit dem Übergang zu einem digital vernetzten Gesamtsystem eine engere Abstimmung von betriebswirtschaftlicher und technischer Informationsverarbeitung (nicht nur) im Fertigungssektor zu erreichen (Abb. 3).

Dazu aber müssen bislang isoliert voneinander existierende Systeme industrieller Infrastruktur miteinander und mit dem Menschen in Verbindung treten können und über Sensorik und Aktorik sowohl ein Echtzeitbild der industriellen Fertigung liefern, als auch mittels eingebetteter Systeme Steuerungseingriffe mit dem Ziel einer effektiven Kopplung mit der Produktionsplanung und einer effizienten Produktionssteuerung auf dem Shop-floor erlauben.

Als Lösungsansatz einer entsprechend intelligenten Vernetzung industrieller Infrastruktur stehen unter anderem sog. *Manufacturing Execution Systeme* (MES) zur Verfügung (Obermaier et al. 2010). Solche Systeme integrieren alle in einer Fertigung Beteiligten horizontal, vertikal, über das Internet und in Echtzeit und erzeugen sog. Cyber-Physische Systeme (CPS) (Abb. 4).

Einerseits fungiert ein MES als Bindeglied zwischen dem PPS- oder ERP-System und der physischen Fertigung (vertikale Integration) und andererseits als Bindeglied zwischen den einzelnen den Fertigungsprozess ausführenden Akteuren (horizontale Integration).

Im Rahmen der vertikalen Integration wird ein vom PPS-System ausgelöster Fertigungsauftrag durch das MES übernommen und auf Shop floor-Ebene gesteuert, bis er abgeschlossen ist. Während das PPS-System Aufträge untereinander plant, koordiniert und terminiert (z. B. durch Vergabe von Start-/Endterminen), kommt dem MES eine