

Industrie 4.0

Kern, Architektur und Herausforderungen

Prof. Dr. Ulrich Anders, Cologne Business School

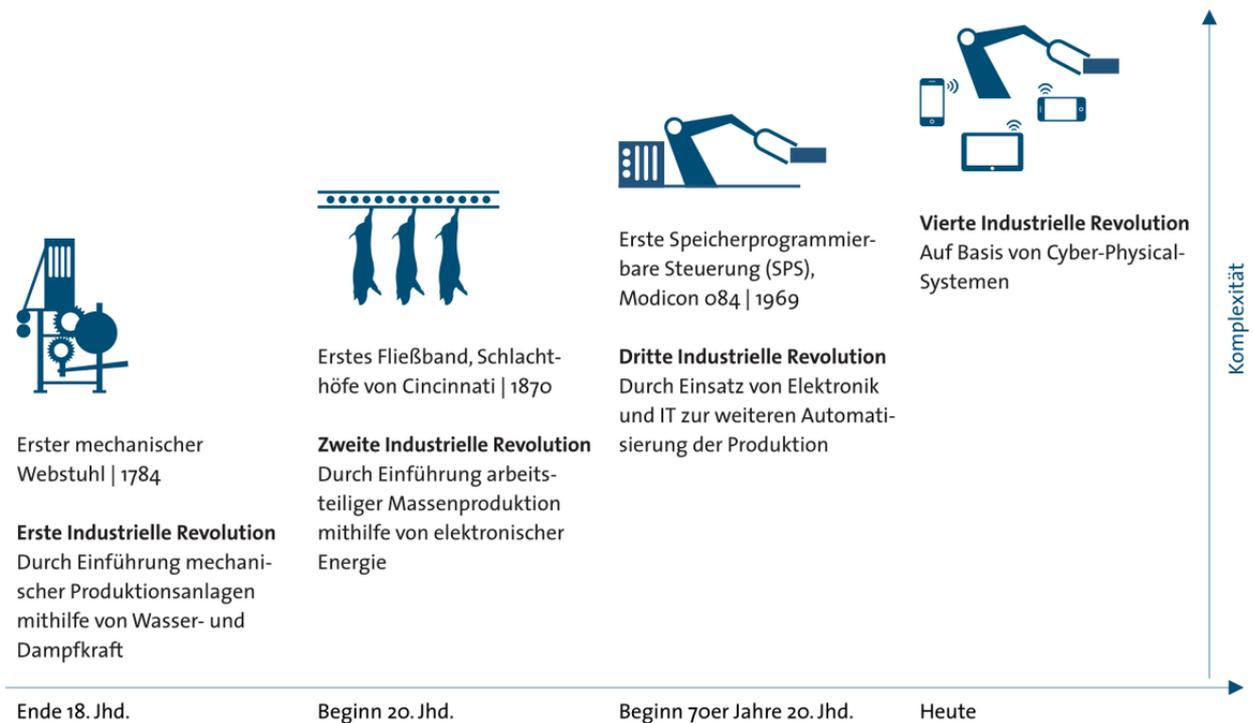
Version 1.0.1 · 26. Oktober 2016

mit freundlicher Genehmigung durch VDMA, IMPULS-Stiftung und Forum Industrie 4.0

1 Schlagwort: Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist als Schlagwort in Industrie und Politik in aller Munde. Aber was genau verbirgt sich hinter diesem Schlagwort? Man muss etwas Zeit investieren, bis man sich zum konzeptionellen Kern von Industrie 4.0 vorarbeitet. Deshalb soll hier ein kurzer Überblick gegeben werden.

Zunächst der Name. Industrie 4.0 unterstellt, dass wir uns auf der Schwelle zur vierten industriellen Revolution befinden.



Quelle: BitKom

Die erste industrielle Revolution begann mit Einführung von mechanischen Anlagen. Die zweite industrielle Revolution fing mit der Einführung des Fließbands und der damit verbundenen Arbeitsteilung an. Die dritte industrielle Revolution wurde durch den Einsatz von IT und Elektronik ausgelöst. Die vierte industrielle Revolution beginnt jetzt durch die Möglichkeiten der Vernetzung.

Die Frage, wie die technischen Möglichkeiten der Vernetzung jetzt konkret im Bereich der Industrieproduktion zum Einsatz kommen können, ist Objekt der Forschung und Entwicklung in

Universitäten und in fortschrittlichen Industrieunternehmen. Ebenso ist natürlich auch die Frage nach dem [volkswirtschaftlichen Potential](#) relevant.

1.1 Alles wird smart

Dabei ist klar, dass die Vernetzung natürlich bereits jetzt einen deutlichen Einfluss auf die Beziehung zwischen Kunde und Hersteller ausübt.

Denn im Gegensatz zu früher kann der Kunde heute viel stärker im unmittelbaren Kontakt zum Hersteller von Produkten stehen. Diese Vernetzung wird sich über die Zeit noch weiter intensivieren und auch den Zwischenhandel überbrücken. Als Folge dieser unmittelbaren Beziehung zwischen Kunde und Hersteller werden Produkte individueller auf einzelne Kundenbedürfnisse zugeschnitten werden. Ebenso wird weniger auf Vorrat, sondern mehr auf Anforderung produziert werden. Im Ergebnis werden die Stückzahlen gleicher Produkte und die Fertigungseinheiten kleiner werden. Neue Produktionstechnologien, wie beispielsweise 3D-Drucker, unterstützen solche Ansätze.

Für die Industrie ergibt sich die Notwendigkeit, sich auf diese neuen Bedingungen einzustellen. Die industrielle Fertigung muss auch für kleinere, individuellere Stückzahlen möglich sein. Die Produktion muss flexibilisiert und modularisiert werden, damit auf einer Produktionsstraße mehrere Produktvarianten produziert werden können. Damit die Umstellung effizient geschieht, müssen die Rüstkosten und -zeiten abnehmen.

Die Produkte werden sich in Zukunft immer schneller verändern, weshalb die Phasen der Produktlebenszyklen ebenfalls kürzer werden. Um dies auch in der Industrie widerzuspiegeln, müssen die Produktentwicklung und Einrichtung der Produktionsverfahren also so weit wie möglich parallelisiert werden. Ebenso ist es für effiziente Prozesse notwendig, die Produktion soweit wie möglich autonom zu gestalten. Statt des Begriffs autonom wird gern auch das Schlagwort SMART verwendet, in diesem Fall also SMART PRODUCTION oder SMART FACTORY.

Alle Fragen, wie das im Einzelnen funktionieren kann, und alle Antworten, die in diesem Kontext dazu gegeben werden, werden unter dem Schlagwort »Industrie 4.0« subsumiert.

2 Industrie 4.0 — politisch gewollt und gefördert

Deutschland ist wirtschaftlich stark von seiner Industrie abhängig. Einige Hochtechnologien, wie z.B. die Elektronik, werden fast nur noch im Ausland produziert. In der Telekommunikationsbranche kommen die Impulse ebenfalls nicht aus Deutschland und auch im Netzausbau ist Deutschland international nicht führend. Plattformen und neue Geschäftsmodelle im Internet stammen sehr gern aus dem Silicon Valley. Da ist es wichtig, dass die Industrie nicht den Schritt in die Vernetzung verpasst und neue innovative Produktionsunternehmen aus dem Ausland dem deutschen Mittelstand den Rang ablaufen.

Die Bundesregierung hat daher starkes Interesse an dem Thema Industrie 4.0 und fördert dies großzügig auf verschiedenen Wegen, unter anderem über das [Bundesministerium für Bildung und Forschung \(BMBF\)](#) und das [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\)](#). Sie hat zu diesem Zweck sogar eine eigene [Plattform Industrie 4.0](#) zur Koordination der Themen, Forschungsarbeiten und Industrieverbände eingerichtet.

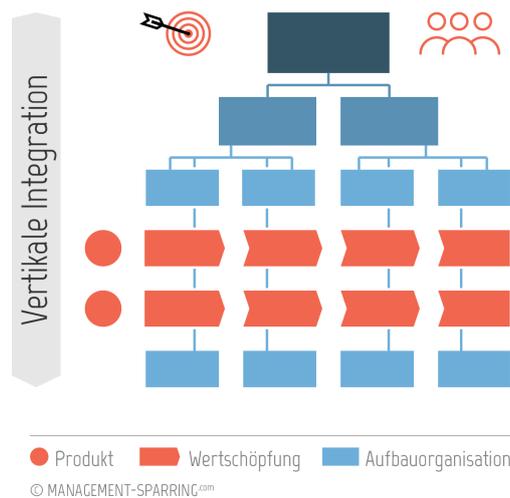
3 Wie geht Industrie 4.0?

Um den oben beschriebenen Anforderungen an eine schnellere, autonomere und effizienter Produktion zu genügen, die in immer kürzeren Produktlebenszyklen immer individueller produzierte Produkte auswirft, muss sich die Industrie digitalisieren. Dabei reicht es aber nicht, dass nur die Produktionssysteme digitalisiert werden.

3.1 Vertikale Integration

Jede Produktion ist in den betriebswirtschaftlichen Unternehmenskontext eingebunden. Dazu gehören die unternehmerische Leitungs- und Entscheidungsebene, das Controlling und Rechnungswesen, der Vertrieb, das Personalwesen, der Einkauf, die IT und viele Funktionen mehr. Eine digitale Produktion beschleunigt die Abläufe eines Unternehmens nur dann signifikant, wenn auch alle anderen Funktionen eines Unternehmens auf die gleiche Geschwindigkeit getaktet sind. Was nützt eine viel modularere Produktionsstraße, wenn die Entscheidungsträger aufgrund von Informationsmangel keine Entscheidungen treffen können, wenn kein adäquates Personal zur Verfügung steht oder wenn der Einkauf und die Materialwirtschaft nicht hinterherkommen?

Aus diesem Grund muss nicht nur die Produktion durch Digitalisierung und Vernetzung autonomer und effizienter werden, sondern das ganze Unternehmen. Diese Überlegung nennt man vertikale Integration.

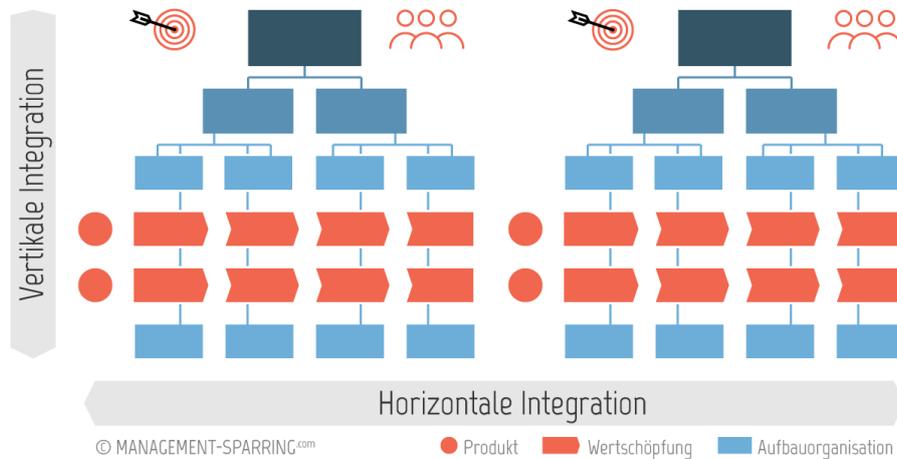


Vertikale Integration deshalb, weil sich die Digitalisierung einmal vertikal durch das Unternehmen ziehen muss: von der Spitze des Unternehmens, über die zentralen Funktionen, über die Produktion und Wertschöpfung bis zu den internen Ressourcenmanagement-Funktionen.

3.2 Horizontale Integration

Nehmen wir nun an, ein Unternehmen sei perfekt vertikal integriert. In der Regel ist das aber für die oben definierte Zielsetzung noch nicht ausreichend, denn die Produktion eines Unternehmens hängt gewöhnlich von Zulieferungen anderer Unternehmen ab. Oft benötigen Produkte bestimmte Materialien, Komponenten oder Bauteile, die von Dritten zugeliefert werden. Würde die Produktion jetzt also jedes Mal stocken, sobald bestimmte Zulieferungen notwendig sind, wäre mit der vertikalen Integration nicht viel gewonnen. Nein, um eine autonomere Produktion zu erreichen, muss auch eine

horizontale Integration gegeben sein. Die Produktion des einen Unternehmens bestellt die benötigten Komponenten autonom bei dem Zulieferer. Der Zulieferer weiß, welche Komponenten wann und wo benötigt werden, und liefert sie an die richtige Stelle zum richtigen Zeitpunkt.



Unternehmensübergreifend organisierte Produktionsprozesse nennt man horizontale Integration. Horizontale Integration deshalb, weil sich die verschiedenen Produktionsunternehmen in der horizontalen Steuerungs-, Liefer-, Leistungs- und Produktionskette integrieren müssen.

3.3 Verwaltungsschale

Nachdem die Notwendigkeit einer vertikalen und horizontalen Integration geklärt worden ist, stellt sich die Frage der Realisierung. Wie gelingt es, dass alle vertikalen Funktionen und alle horizontalen Dienstleister über alle notwendigen Informationen einheitlich verfügen und über die jeweiligen Zustände einheitlich informiert sind?

Die Lösung besteht darin, die physische Welt der Gegenstände und Objekte im Produktionsprozess, also die Welt der Maschinen, Roboter, Liefer- und Transportsysteme, sowie der Werkstücke und Komponenten in ihrem jeweiligen Fertigungszustand in einem virtuellen System nachzubilden. Wenn sich also etwas in der physischen Welt verändert, verändert es sich äquivalent auch in der virtuellen Welt. Die Daten dieses virtuellen Systems, die den Zuständen der physischen Welt entsprechen, können nun je nach Bedarf beliebig ausgetauscht, weitergegeben und zu Steuerungszwecken verwendet werden.



Quelle: MANAGEMENT SPARRING

Damit dies gelingt, müssen zwei Voraussetzungen existieren. Erstens muss natürlich das virtuelle System gegeben sein, in dem jeder Gegenstand der physischen Welt virtuell nachgebildet ist. Zweitens muss der Gegenstand selbst nun mit dem virtuellen System »kommunizieren«. Dies geschieht entweder darüber, dass der Gegenstand selbst mit dem virtuellen System über Kabel oder *wireless* verbunden

ist und seine Zustände meldet oder durch andere Sensoren überwacht wird.

Alle virtuellen Gegenstände besitzen eine Komponente, die sich Verwaltungsschale nennt. Diese Verwaltungsschale verwaltet den physischen Gegenstand. Sie nimmt die Zustandsinformationen entgegen, sendet Steuerungsbefehle und gibt relevante Information an andere Teile des virtuellen Systems weiter.

Für Systeme, in denen die physische Welt in einem virtuellen System gespiegelt wird, hat sich der etwas komplizierte Begriff der »cyber-physischen Systeme« eingebürgert.

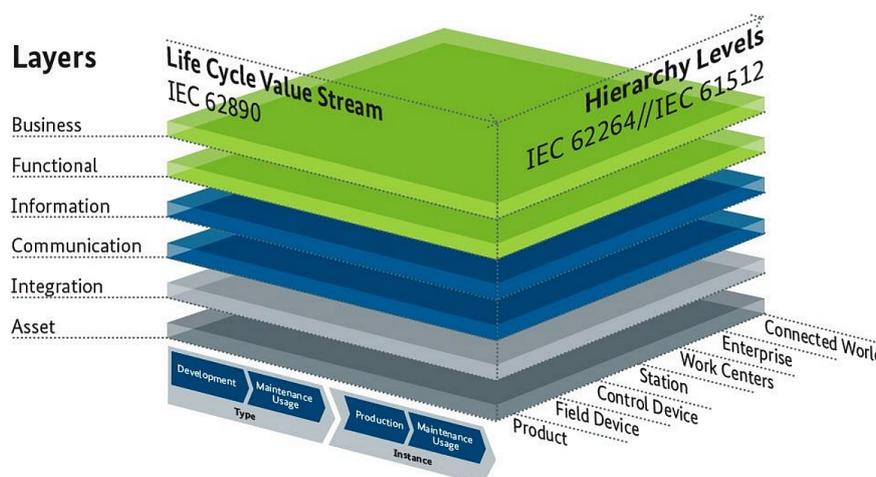
3.4 Der Kern von Industrie 4.0

In der Zusammenfassung liegt der Kern von Industrie 4.0 also in drei Aspekten. Um den Anforderungen aus einer vernetzten Welt zu begegnen, muss sich die Produktion anpassen. Das bedarf einer **vertikalen Integration** innerhalb des Produktionsunternehmens und einer **horizontalen Integration** über die gesamte Wertschöpfungskette einschließlich der Zulieferbetriebe hinweg. Damit alle Beteiligten über die notwendigen Informationen einheitlich verfügen und entsprechend entscheiden und steuern können, ist es notwendig, die physische Welt in einer virtuellen Welt zu spiegeln. Denn nur in einer virtuellen Welt ist ein beliebiger Datenaustausch möglich. Die Erfassung der Daten über die Zustände der Objekte der physischen Welt sowie die Steuerung der Zustände der physischen Gegenstände geschieht mit Hilfe einer **Verwaltungsschale**.

4 Architektur, Standards und Schnittstellen

Will man verschiedene Unternehmen und Produktionseinheiten sowie verschiedene Objekte in der Produktion miteinander vernetzen, benötigt man eine vereinbarte Architektur, akzeptierte Standards und definierte Schnittstellen.

An all diesen Dingen wird gearbeitet — von der Industrie selbst, aber gerade auch übergreifend von den Verbänden BITKOM, ZVEI, VDMA, VDI. Eine wesentliche Grundlage ist dabei das [Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0](#). Es bietet einen Referenzrahmen, so dass bei der Entwicklung von Standards und Schnittstellen, die verschiedenen Parteien über das gleiche Thema an der gleichen Stelle sprechen.



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Auf Basis von RAMI 4.0 lassen sich nun an den einzelnen Stellen konkrete Standards entwickeln, z.B.

über die Struktur der Verwaltungsschale, über die Interaktion zwischen verschiedenen Verwaltungsschalen oder die Netzkommunikation selbst.

5 Geschäftsmodelle und Hilfestellungen

5.1 Geschäftsmodelle

Neben den mehr technischen Aspekten der Produktion und Integration wird im Kontext von Industrie 4.0 auch die zentrale Fragen nach neuen Geschäftsmodellen beleuchtet. Ohne Zweifel erfordert eine vertikale und horizontale Vernetzung der Produktion große Investitionen in Systeme und Technologien. Es stellt sich die Frage, ob sich diese Investitionen in einer klassischen Investitionsrechnung rentieren. Das heißt, werden die Investitionen durch einen zusätzlichen Return in einer überschaubaren Periode zurückgeführt?

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob es sogar neue Geschäftsmodelle gibt, die einen Ertrag versprechen, der sich im Kontext der Industrieproduktion ohne Vernetzung nicht hätte realisieren lassen.

Beide Frage sind derzeit nicht eindeutig und in der Gesamtheit zu beantworten. Im Gegenteil, unter den mittelständischen Unternehmen scheint ein gewisse Skepsis zu existieren.

Vielleicht ist aber die Frage nach neuen Geschäftsmodellen bzw. nach einer klassischen Investitionsrechnung auf mittlere Frist ohne Belang. Je mehr Unternehmen ihre Produktion vernetzen und damit schneller, modularer und effizienter produzieren können, desto höher wird der Druck auf alle anderen Unternehmen, mithalten zu müssen. Wem dies nicht gelingt, der wird wahrscheinlich auf kurz oder lang im Wettbewerb auf der Strecke bleiben.

5.2 Hilfestellung

Werkzeugkasten Industrie 4.0				
Industrie 4.0				
Produkte				
Integration von Sensoren / Aktoren				
Keine Nutzung von Sensoren/Aktoren	Sensoren/Aktoren sind eingebunden	Sensordaten werden vom Produkt verarbeitet	Daten werden vom Produkt für Analysen ausgewertet	Das Produkt reagiert auf Basis der gewonnenen Daten eigenständig
Kommunikation / Connectivity				
Keine Schnittstellen am Produkt	Das Produkt sendet bzw. empfängt I/O-Signale	Das Produkt verfügt über Feldbus-Schnittstellen	Das Produkt verfügt über Industrial Ethernet-Schnittstellen	Das Produkt verfügt über Zugang zum Internet
Funktionalitäten zu Datenspeicherung und Informationsaustausch				
Keine Funktionalitäten	Möglichkeit zur windraupigen Identifikation	Produkt verfügt über passiven Datenspeicher	Produkt mit Datenspeicher zum autonomen Informationsaustausch	Daten- und Informationsaustausch als integrierter Bestandteil
Monitoring				
Kein Monitoring durch das Produkt	Detektion von Ausfällen	Erfassung des Betriebszustands zur Diagnose	Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit	Selbstständige Maßnahmen zur Steuerung
Produktbezogene IT-Services				
Keine Services	Sensoren über Online-Portale	Service-Ausführung direkt über Produkt	Selbstständige Ausführung von Services	Vollständige Eingliederung in IT-Service-Infrastruktur
Geschäftsmodelle um das Produkt				
Gewinne durch Verkauf der Standardprodukte	Verkauf und Beratung zum Produkt	Verkauf, Beratung und Anpassung des Produktes an Kundenwünsche	Zusätzlicher Verkauf produktbezogener Dienstleistungen	Verkauf von Produktfunktionen

Werkzeugkasten Industrie 4.0				
Industrie 4.0				
Produktion				
Datenverarbeitung in der Produktion				
Keine Verarbeitung von Daten	Speicherung von Daten zur Dokumentation	Auswertung von Daten zur Prozessüberwachung	Auswertung zur Prozessplanung / -steuerung	Automatische Prozessplanung / -steuerung
Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M)				
Keine Kommunikation	Feldbus-Schnittstellen	Industrial Ethernet-Schnittstellen	Maschinen verfügen über Zugang zum Internet	Webdienste (M2M-Software)
Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion				
Keine Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen	Informationsaustausch über Mail / Telekommunikation	Einheitliche Datenformate und Regeln zum Datenaustausch	Einheitliche Datenformate und -regeln, vernetzte Datenserver	Abteilungsübergreifende, vollständig vernetzte IT-Lösungen
IKT-Infrastruktur in der Produktion				
Informationsaustausch über Mail / Telekommunikation	Zentrale Datenserver in der Produktion	Internetbasierte Portale zum gemeinsamen Datenaustausch	Automatisierter Informationsaustausch (z.B. Auftragsnachverfolgung)	Zulieferer / Kunden sind vollständig in Prozessgestaltung integriert
Mensch-Maschine-Schnittstellen				
Kein Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine	Einsatz lokaler Anzeigergeräte	Zentrale / dezentrale Produktionsüberwachung/-steuerung	Einsatz mobiler Anzeigergeräte	Erweiterte und assistierte Realität
Effizienz bei kleinen Losgrößen				
Starre Produktionsmittel und geringer Anteil von Gleichteilen	Nutzung von flexiblen Produktionsmitteln und Gleichteilen	Flexible Produktionsmittel und modulare Baukästen für die Produkte	Bestellgetriebene, flexible Produktion modularer Produkte im Unternehmen	Bestellgetriebene, modulare Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken

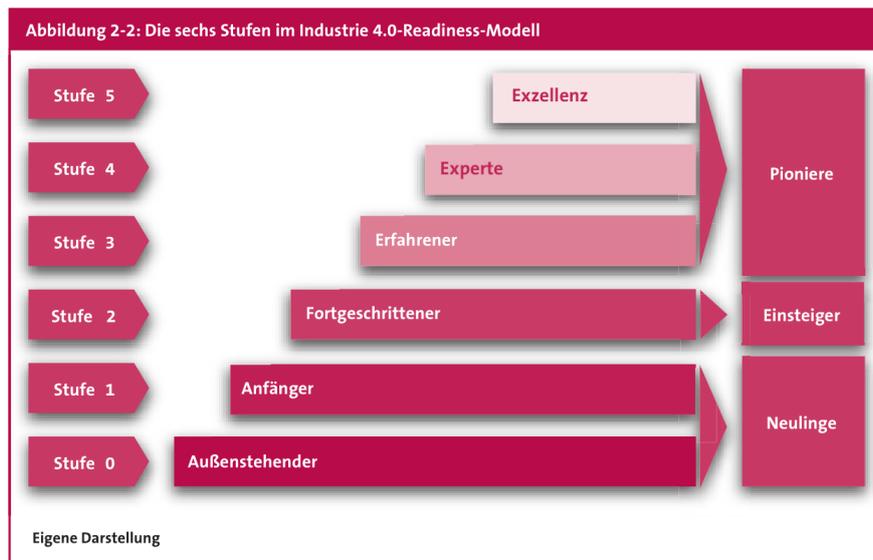
Quelle: VDMA

Um seinen Mitgliedern eine Hilfestellung bei der Bewertung zu geben, wo sich ein Unternehmen im Kontext von Industrie 4.0 einordnen muss, haben der VDMA, das KIT Karlsruhe (wbk) und die TU Darmstadt (DiK) einen **Leitfaden Industrie 4.0** einen sogenannten Werkzeugkasten entwickelt. Dieser soll helfen, die »Modernität« der Produkte und der Produktion eines Unternehmens einzuordnen.

Dazu stellt der Werkzeugkasten eine vertikale Skala zur Verfügung. Je weiter rechts auf der Skala verschiedene Aspekte der Produkte und Produktion eingeordnet werden, desto eher bewegt sich ein Unternehmen in einem Kontext von Industrie 4.0.

6 Wo steht die Industrie?

Um die Frage zu beantworten, wie weit deutsche Unternehmen bereits auf dem Weg in Hinsicht Industrie 4.0 fortgeschritten sind, hat der VDMA 2015 mittels seiner Stiftung Impuls eine große **Umfrage** unter seinen Mitgliedern durchgeführt. Je nach Entwicklungsstand wurden die Mitglieder in eine von sechs Klassen eingeteilt, die von »Außenstehender« bis zu »Exzellenz« reichen.



Quelle: Stiftung Impuls des VDMA

Unter dem Strich zeigte sich, dass die meisten mittelständischen Unternehmen noch ganz am Anfang stehen und sich im Segment »Außenstehender« bzw. »Anfänger« bewegen.

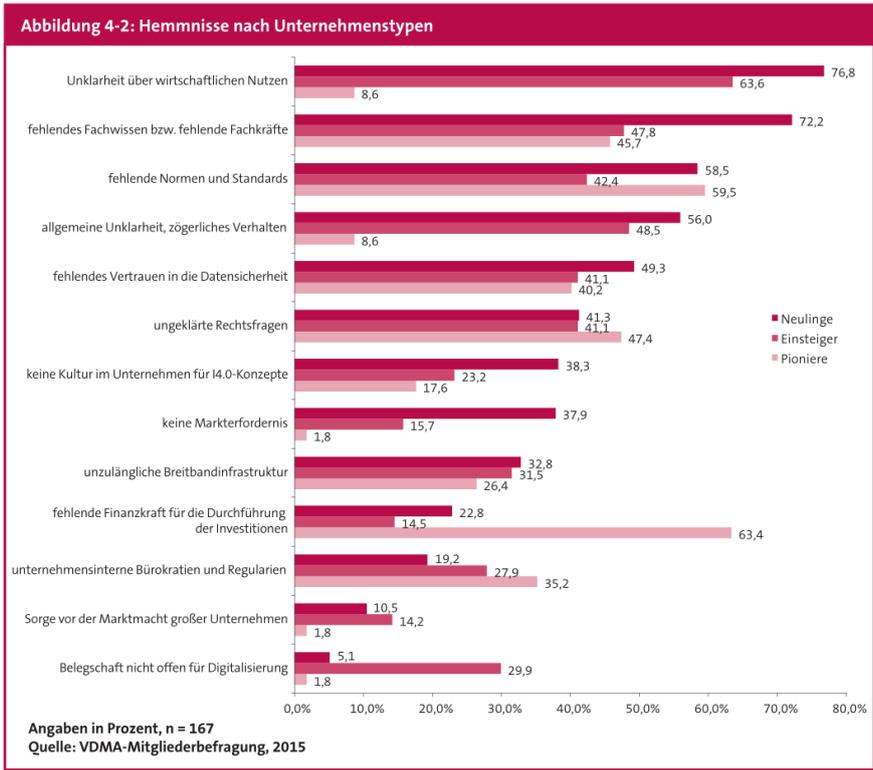
Tabelle 3-1: Gesamtergebnis der Industrie 4.0-Readiness

	Maschinen- und Anlagenbau	Verarbeitendes Gewerbe
Stufe 0 (Außenstehender)	38,9	58,2
Stufe 1 (Anfänger)	37,6	30,9
Stufe 2 (Fortgeschrittener)	17,9	8,6
Stufe 3 (Erfahrener)	4,6	1,7
Stufe 4 (Experte)	1,0	0,6
Stufe 5 (Exzellenz)	0,0	0,0
Durchschnittliche Readiness	0,9	0,6

Angaben für Readiness-Stufen 0 bis 5 in Prozent; Angabe für durchschnittliche Readiness: Skala 0 bis 5;
n= 234 (Maschinen- und Anlagenbau); n = 602 (Verarbeitendes Gewerbe)
Berücksichtigt sind nur Unternehmen mit mehr als 20 Beschäftigten.
Quellen: VDMA-Mitgliederbefragung, 2015; IW-Zukunftspanel 2015, 26. Befragungswelle

Quelle: Stiftung Impuls des VDMA

Die Gründe für diese Situation sind vielfältig. Zu den meistgenannten Ursachen gehören aber die Unklarheit über den wirtschaftlichen Nutzen, das fehlende Fachwissen sowie derzeit noch fehlenden Standards und Normen.

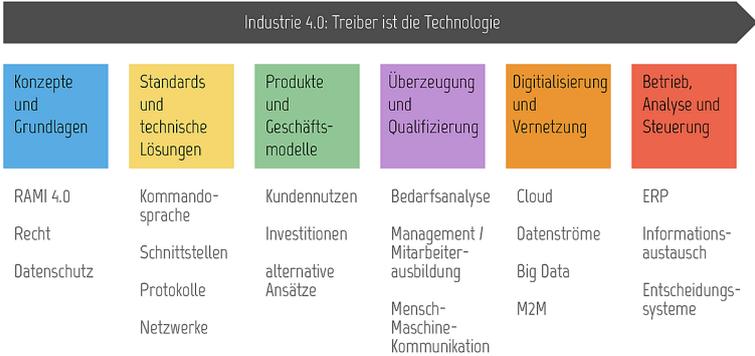


Quelle: Stiftung Impuls des VDMA

7 Herausforderungen

Mit der zunehmenden Vernetzung und Digitalisierung steht auch die Industrie vor großen Herausforderungen. Zunächst ist der Treiber für Industrie 4.0 eine technische Möglichkeit und nicht ein kaufmännischer Nutzen oder die Erfüllung von Kundenwünschen in Hinsicht auf ein Produkt. Ob und wie diese technischen Möglichkeiten sinnvoll und in der Breite in der Produktion genutzt werden können, ist derzeit noch schwierig zu beantworten. Im Moment gibt es wenig Erfahrung, kaum erprobte Standards, noch keine Geschäftsmodelle, die nachhaltig Orientierung bieten, und demzufolge eine große Unsicherheit.

Herausforderungen in Industrie 4.0



Quelle: MANAGEMENT SPARRING

In Hinsicht auf Industrie 4.0 stehen produzierende Unternehmen also vor großen Herausforderungen. Die Herausforderungen lassen sich in verschiedene Blöcke unterteilen: (a) Konzepte und Grundlagen, (b) Standards und technische Lösungen, (c) Produkte und Geschäftsmodelle, (d) Überzeugung und

Qualifizierung, (e) Digitalisierung und Vernetzung sowie (f) Betrieb, Analyse und Steuerung.

In all diesen Blöcken sind viele und detaillierte Fragen zu beantworten sowie teilweise umfangreiche Maßnahmen durchzuführen. Über die Zeit wird dies jedoch geschehen und Industrie 4.0 immer stärker zur Realität im produzierenden Gewerbe werden.

8 Referenzen

- BITKOM / Fraunhofer: »Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland«
- BITKOM / VDMA / ZVEI: »Umsetzungsstrategie Industrie 4.0«
- Plattform Industrie 4.0: »Digitalisierung der Industrie – Die Plattform Industrie 4.0«
- Plattform Industrie 4.0: »Interaktionsmodell für Industrie 4.0-Komponenten«
- Plattform Industrie 4.0: »Netzkommunikation für Industrie 4.0«
- Plass, Christoph (Unity): »Digitale Geschäftsprozesse und –modelle verändern die Arbeitswelt«
- DGB / Richert, Anja (FWTH Aachen): »Industrie 4.0 aus wissenschaftlicher Sicht«
- VDMA-Stiftung Impuls: »Industrie 4.0-Readiness«
- VDI/VDE/ZVEI: »Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0 – Komponente Struktur der Verwaltungsschale«
- VDMA, KIT Karlsruhe (wbk), TU Darmstadt (DiK): »Leitfaden Industrie 4.0: Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand«
- ZVEI: »Industrie 4.0: Auf dem Weg zur smarten Fabrik – die Elektroindustrie geht voran«
- ZVEI: »Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)«