

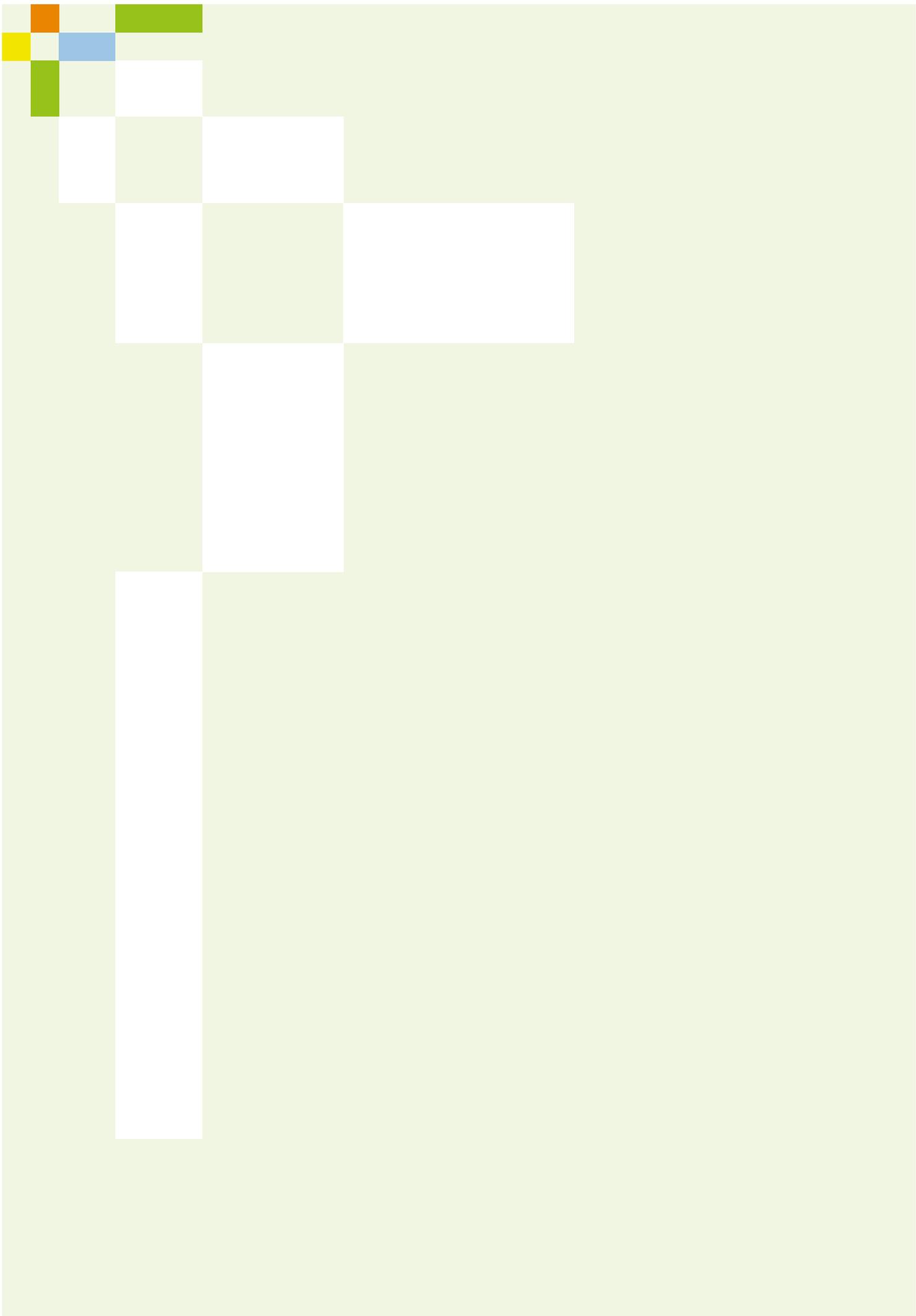


acatech **STUDIE**

# Industrie 4.0 Maturity Index

Die digitale Transformation von  
Unternehmen gestalten

Günther Schuh, Reiner Anderl,  
Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel,  
Wolfgang Wahlster (Hrsg.)



acatech STUDIE

# Industrie 4.0 Maturity Index

Die digitale Transformation von  
Unternehmen gestalten

Günther Schuh, Reiner Anderl,  
Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel,  
Wolfgang Wahlster (Hrsg.)



## Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter [www.acatech.de/publikationen](http://www.acatech.de/publikationen) zur Verfügung.

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>Projekt</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>10</b>
<b>2 Zielsetzung und Methodik</b>	<b>13</b>
2.1 Methodisches Vorgehen	13
2.2 Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index	14
<b>3 Modellaufbau</b>	<b>15</b>
3.1 Nutzenorientierte Entwicklungsstufen	15
3.1.1 Stufe eins: Computerisierung	15
3.1.2 Stufe zwei: Konnektivität	16
3.1.3 Stufe drei: Sichtbarkeit	16
3.1.4 Stufe vier: Transparenz	17
3.1.5 Stufe fünf: Prognosefähigkeit	18
3.1.6 Stufe sechs: Adaptierbarkeit	18
3.2 Allgemeiner Modellaufbau	18
<b>4 Fähigkeiten für Industrie 4.0-Unternehmen</b>	<b>21</b>
4.1 Ressourcen	21
4.1.1 Digitale Befähigung	22
4.1.2 Geregelte Kommunikation	23
4.1.3 Zusammenfassung	24
4.2 Informationssysteme	25
4.2.1 Selbstlernende Informationsverarbeitung	26
4.2.2 Integration der Informationssysteme	28
4.2.3 Zusammenfassung	29
4.3 Organisationsstruktur	29
4.3.1 Organische interne Organisation	30
4.3.2 Dynamische Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk	32
4.3.3 Zusammenfassung	33
4.4 Kultur	34
4.4.1 Bereitschaft zur Veränderung	34
4.4.2 Soziale Kollaboration	36
4.4.3 Zusammenfassung	36



<b>5 Funktionsbereiche im Unternehmen</b>	<b>38</b>
5.1 Entwicklung	38
5.2 Produktion	40
5.3 Logistik	42
5.4 Service	42
5.5 Marketing und Vertrieb	44
<b>6 Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index</b>	<b>46</b>
6.1 Prinzipien der Anwendung	46
6.2 Nutzenbewertung	49
6.3 Beispielhafte Anwendung in einem Unternehmen	51
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>53</b>
<b>Literatur</b>	<b>54</b>

## Vorwort

Unternehmen und Politik haben erkannt, dass Digitalisierung, Vernetzung und neue Fertigungstechnologien immense Wachstumschancen mit sich bringen. Zusammen sind sie die Treiber für neue Geschäftsmodelle, einen nachhaltigen und effizienten Umgang mit begrenzten Ressourcen sowie die wirtschaftliche Herstellung hochindividualisierbarer Produkte. Diese Entwicklungen werden unter dem Begriff Industrie 4.0 zusammengefasst und beschreiben damit nicht weniger als einen Wandel der Industrie, der Flexibilität und Agilität in einem bisher nie dagewesenen Ausmaß verspricht.

Zahlreiche Untersuchungen setzen sich damit auseinander, wie Unternehmen der digitalen Transformation gegenüberstehen und wo Potenziale und zentrale Hemmnisse existieren. Letztere bestehen selten alleine aus fehlenden Technologien oder Standards. Oftmals sind organisch gewachsene, starre Organisationsstrukturen sowie eine Kultur des Bewahrens und fehlender Wagemut Ursache für die stockende Umsetzung von Industrie 4.0.

Die seit den neunziger Jahren laufende Umsetzung des Lean-Gedankens hat uns gelehrt: Eine simple Adaption ohne tiefgreifendes Verständnis und umfassende Bereitschaft zur Veränderung führt nicht zum Erfolg. Ebenso wie Lean Production weit mehr als das Vermeiden von Verschwendung ist, entsteht Industrie 4.0 nicht aus der bloßen Vernetzung von Maschinen und Produkten über das Internet. Die vorliegende Studie unterstreicht die Notwendigkeit dieses Paradigmenwechsels.

Aus dem Einsatz neuer Technologien und der Gewinnung von Wissen aus einer zielgerichteten Informationsverarbeitung ergeben sich zweifelsohne neue Aufgaben und Arbeitsweisen. Es bedarf daher neuer Strukturen innerhalb von Unternehmen sowie veränderten Beziehungen zwischen Unternehmen. Bestehende Denkmuster und die vorherrschende Unternehmenskultur zu hinterfragen, sind dabei kritische Erfolgsfaktoren. Die eigene Interpretation des Begriffs Industrie 4.0 und die systematische Entwicklung einer geeigneten Umsetzungsstrategie gelten damit als zentrale Herausforderungen für Unternehmen. In der vorliegenden Studie findet dies ebenso Beachtung wie die Anforderungen an Informationstechnologien und Ressourcen, die Industrie 4.0 mit sich bringt.

acatech hat sich dem Austausch von Wissenschaft und Wirtschaft verschrieben. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index ist ein mustergültiges Beispiel dafür: Ein interdisziplinäres Konsortium aus Forschungseinrichtungen verschiedener Fachgebiete hat entlang der industriellen Wertschöpfungskette gemeinsam mit Industriepartnern ein Vorgehen entwickelt, um den Industrie 4.0-Reifegrad produzierender Unternehmen zu erheben und Handlungsfelder sichtbar zu machen. Die dadurch systematisch identifizierten Defizite und Potenziale schaffen die Grundlage für die Umsetzungsstrategie. Das Ergebnis der vorliegenden acatech STUDIE ist ein praxisorientierter Leitfaden, der es produzierenden Unternehmen ermöglicht, eine individuelle Umsetzungsstrategie für Industrie 4.0 zu entwickeln, die auf die Geschäftsstrategie abgestimmt ist.

Viel Freude bei der Lektüre

**Henning Kagermann**

Präsident acatech



## Kurzfassung

Der Begriff „Industrie 4.0“ steht seit 2011 für die massenhafte Verbindung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit der industriellen Produktion. Die rein technologische Betrachtung beschreibt die Entwicklungen der vierten industriellen Revolution jedoch zu kurz. Vielmehr müssen sich im Zuge der Digitalisierung auch organisationale und kulturelle Bereiche eines Unternehmens transformieren. Moderne Technologien ermöglichen zwar den Aufbau einer immer breiteren Datenbasis, die Nutzung der dahinterliegenden Potenziale hängt allerdings ebenso stark von der Organisationsstruktur und der Kultur im Unternehmen ab. Das übergeordnete Ziel ist das lernende, agile Unternehmen, das sich einer wandelnden Umwelt kontinuierlich anpassen kann. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index dient dabei als Leitfaden für die geforderte Entwicklung. Er ist als sechsstufiges Reifegradmodell aufgebaut, wobei jede einzelne Entwicklungsstufe einen Nutzenzuwachs verspricht.

Bei der Entwicklung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index wurden vier zentrale Gestaltungsfelder identifiziert, aus welchen jeweils zwei fundamentale Prinzipien abgeleitet wurden. Die Befolgung dieser Prinzipien durch den Aufbau zahlreicher beschriebener Fähigkeiten stellt die Hauptaufgabe für Unternehmen dar,

die sich mit der Umsetzung von Industrie 4.0 befassen. Ziel sollte dabei sein, durch Wissensgenerierung aus Daten schnelle Entscheidungs- und Anpassungsprozesse in allen Unternehmensbereichen zu ermöglichen. Diese Agilität stellt einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil in einer sich ständig wandelnden Umgebung für Unternehmen dar.

Die im acatech Industrie 4.0 Maturity Index definierten Fähigkeiten wurden mit den Herausforderungen und derzeitigen Aktivitäten produzierender Unternehmen abgeglichen und das Modell in der praktischen Anwendung validiert. Dabei bestätigten sich die entwickelten Prinzipien. Zugleich zeigte sich, dass diese bei strategischen Überlegungen der Unternehmen bisher nicht im notwendigen Umfang beachtet werden. Häufig mangelt es in Unternehmen bereits an einem grundlegenden Verständnis für die Kerninhalte von Industrie 4.0. So wird Industrie 4.0 oft fälschlicherweise mit der Digitalisierung oder der vollständigen Automatisierung gleichgesetzt. Bisherige Aktivitäten folgen zudem häufig nicht einem gemeinsamen Gesamtziel, sondern stellen isolierte Piloten dar.

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index ermöglicht es, eine auf produzierende Unternehmen passgenau zugeschnittene digitale Roadmap zu entwickeln, die dabei hilft, Industrie 4.0 einzuführen und das Unternehmen in eine lernende, agile Organisation zu transformieren.



# Projekt

## Projektleitung

- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen/acatech Präsidiumsmitglied

## Projektgruppe

- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn/acatech Präsidiumsmitglied
- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen/acatech Präsidiumsmitglied
- Prof. Dr. Michael ten Hompel, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Technische Universität Dortmund/acatech
- Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI/acatech

## Konsortialpartner/Projektteam

- Dr. Tilman Becker, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI
- Dr. Anselm Blocher, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI
- Isabel Bücker, Graduate School of Logistics, Technische Universität Dortmund
- Marvin Drewel, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
- Andreas Faath, Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt
- Tobias Harland, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Mario Hermann, Technische Universität Dortmund
- Gerd Herzog, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI
- Dr. Philipp Jussen, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Ulrike Krebs, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Maximilian Lukas, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Benedikt Moser, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Katrin Pitz, Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt

- Daniel Porta, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, DFKI
- Jan Reschke, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Sebastian Schmitz, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Moritz Schröter, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Moritz Weber, Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK), Technische Universität Darmstadt
- Lucas Wenger, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Thorsten Westermann, Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM
- Violett Zeller, FIR e. V. an der RWTH Aachen

## Projektkoordination

- Christian Hocken, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Dr. Alexander Werbik, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Johannes Winter, acatech Geschäftsstelle

## Expertinnen und Experten

- Ulrich Ahle, Atos IT Solutions and Services GmbH
- Dr. Sebastian Busse, UNITY AG
- Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, it's OWL Clustermanagement GmbH
- Nampuraja Enose, Infosys Ltd.
- Kent Eriksson, PTC Inc.
- Dr. Ursula Frank, Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
- Dr. Bertolt Gärtner, TÜV SÜD AG
- Markus Hannen, PTC Inc.
- Dr. Florian Harzenetter, PTC Inc.
- Dr. Andreas Hauser, TÜV SÜD Asia Pacific Pte. Ltd
- Craig Hayman, PTC Inc.
- Howard Heppelmann, PTC Inc.
- Claus Hilger, HARTING IT System Integration GmbH & Co. KG
- Ulrich Kreitz, itelligence AG
- David Kronmüller, TÜV SÜD Industrie Service GmbH
- Dr. Ravi Kumar G.V.V., Infosys Ltd.
- Udo Lange, itelligence AG
- Dr. Jan Stefan Michels, Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
- Jeff Miller, PTC Inc.
- Gordon Mühl, Infosys Ltd.
- Prof. Dr.-Ing. Boris Otto, Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST, Technische Universität Dortmund
- Felisa Palagi, PTC Inc.
- Dr. Thomas Roser, PTC Inc.
- Sudip Singh, Infosys Ltd.

- Prof. Dr.-Ing. Volker Stich, FIR e. V. an der RWTH Aachen
- Klaus Strack, itelligence AG
- Erwin Tanger, Atos IT Solutions and Services GmbH
- Dr. Adeline Thomas, itelligence AG
- Frank Tüg, PTC Inc.
- Werner Varro, TÜV SÜD Product Service GmbH
- Kevin Wrenn, PTC Inc.
- Rene Zöfl, PTC Inc.

## Projektlaufzeit

04/2016-04/2017

## Finanzierung und Projektträger

Die acatech STUDIE wird durch einen Zusammenschluss der Industrie gefördert. Wir danken folgenden Partnern für ihre Unterstützung:

- Infosys Ltd.
- PTC Inc.
- TÜV SÜD AG
- Spitzencluster it's OWL und verbundene Unternehmen
  - Atos IT Solutions and Services GmbH
  - Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
  - HARTING Technologiegruppe
  - itelligence AG
  - UNITY AG
  - Weidmüller Interface GmbH & Co. KG

# 1 Einleitung

Im Jahr 2011 wurde der Begriff „Industrie 4.0“ als Bezeichnung für die massenhafte Verbindung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit der industriellen Produktion durch die Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaftswissenschaft eingeführt. Der Zusatz 4.0 charakterisiert die Auswirkungen dieser Entwicklung als potenziell revolutionär und steht in direkter Tradition zu den drei bisherigen industriellen Revolutionen. Mit der digital vernetzten industriellen Produktion befassen sich seitdem auf internationaler Ebene verschiedene Initiativen, beispielsweise das Industrial Internet Consortium in den USA oder die Industrial Value Chain Initiative in Japan.

Diverse Studien beziffern das **Wertschöpfungspotenzial von Industrie 4.0** allein für die deutsche Wirtschaft auf 100 bis 150 Milliarden Euro in den nächsten fünf Jahren. Realistisch betrachtet, scheinen Potenziale dieser Größenordnung in der industriellen Realität noch in weiter Ferne.<sup>1</sup> Wesentlicher Grund hierfür ist, dass für viele Unternehmen der konkrete Nutzen von Industrie 4.0 nicht erkennbar ist. Dies bestätigt eine Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), aus der die fehlende Nutzentransparenz als eines der zentralen Hemmnisse für die Einführung von Industrie 4.0 hervorgeht. Dies gilt insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). In Verbindung mit den vermeintlichen technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten und zu langen Zeithorizonten bei der Umsetzung ergeben sich in den deutschen Unternehmen heute erhebliche Investitionshemmnisse.<sup>2</sup>

In der Umsetzung befinden sich zurzeit häufig lediglich singuläre Piloten in den Unternehmen, die eher den Charakter einer technologischen Machbarkeitsstudie haben. Diese Form von Projekten kann längst nicht das Gesamtpotenzial von Industrie 4.0 aufzeigen, da wesentliche Aspekte zur Realisierung – zum Beispiel die Organisationsgestaltung und Kulturausprägung eines Unternehmens – vernachlässigt werden. So ergeben sich lediglich evolutionäre Entwicklungen, die häufig an den tatsächlichen Prozessen vorbeientwickelt werden und die Bedürfnisse produzierender Unternehmen verfehlen. Transformatorische Entwicklungen in Unternehmen oder gar auf volkswirtschaftlicher Ebene finden nur in Einzelfällen statt.

Gleichzeitig agieren produzierende Unternehmen, insbesondere in Deutschland, in einem zunehmend kompetitiveren Marktumfeld.

Diese Dynamik und die daraus resultierende Komplexität verlangen ihnen schnellere und bessere Entscheidungen ab, um langfristig am Markt bestehen zu können. Der unternehmerische Alltag wird diesem Anspruch heute vielfach nicht gerecht; Unternehmen laufen Gefahr, die zentralen Kontrollpunkte ihres Geschäfts zu verlieren. Entscheidungsprozesse ziehen sich häufig über viele Wochen und Monate und werden zum Teil mehr mit Bauchgefühl denn auf Grundlage einer fundierten Datenbasis getroffen. In Produktentwicklungsprozessen werden Lastenhefte formuliert und detailreich Produkteigenschaften formuliert, ohne dass die Kundenanforderungen verstanden wurden. Nachträgliche Änderungen im Entwicklungs- oder Produktionsprozess aufgrund von Lerneffekten sind häufig nur sehr begrenzt und mit erheblichem Zeitaufwand möglich. Der Alltag vieler Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie Entscheidungsträgerinnen und -träger in Unternehmen ist geprägt vom Suchen und Warten auf die richtigen Informationen. Dies sind nur einige Beispiele, die den enormen Handlungsbedarf und das mögliche Potenzial für einen grundlegenden Wandel aufzeigen.

In der notwendigen Beschleunigung unternehmerischer Entscheidungs- und Anpassungsprozesse liegt der wesentliche wirtschaftliche Hebel von Industrie 4.0. Dies gilt sowohl für Effizienzverbesserungsprozesse in Entwicklung, Produktion, Service, Marketing und Vertrieb als auch für die Ausrichtung ganzer Unternehmensbereiche oder Anpassungen im Geschäftsmodell. Industrie 4.0 ist im Verständnis der Autoren die echtzeitfähige, datenvolumenstarke und multimodale Kommunikation und Vernetzung zwischen cyber-physischen Systemen und Menschen. Die massenhafte, wirtschaftliche Verfügbarkeit von Daten und Informationen – wenn notwendig, in Echtzeit – ermöglicht ein Verständnis über Zusammenhänge und ist die Basis für schnellere Entscheidungsprozesse. Gepaart mit den richtigen organisatorischen Voraussetzungen können Unternehmen auf die zunehmende Marktdynamik ihrer Kunden schneller reagieren, neue Produkte auf Basis der Kundenwünsche zügiger und passgenauer entwickeln und diese mit einem erheblichen Vorsprung auf den Markt bringen. Die Verbindung der technologischen, vor allem aber auch organisatorischen Bausteine ermöglicht so Agilität – die zentrale Fähigkeit für Unternehmen in Industrie 4.0. Das agile Unternehmen ist die wesentliche Chance für produzierende Unternehmen in Industrie 4.0. Das gesamte Potenzial von Industrie 4.0 können Unternehmen aber nur heben, wenn sie die beschriebenen Prinzipien unternehmensweit implementieren und die gewonnenen Daten und Informationen ebenfalls innerhalb der gesamten Organisation sichtbar machen.

1 | Vgl. BMWi 2015, S. 19.

2 | Vgl. ebd., S. 37.

## Das agile Unternehmen in der Industrie 4.0

Agilität wird zur strategischen Erfolgseigenschaft eines Unternehmens. Sie bedeutet in diesem Zusammenhang, in Echtzeit Veränderungen im Unternehmen vornehmen zu können – bis hin zu grundlegenden systemischen Veränderungen, beispielsweise in Bezug auf das Geschäftsmodell des Unternehmens.

Die zentrale Rolle der Informationsverarbeitung für die Geschwindigkeit in organisationalen Anpassungsprozessen begründet dabei die Bedeutung von Industrie 4.0. Je schneller sich eine Organisation einem veränderten Umstand aufgrund eines Ereignisses anpassen kann, desto größer ist der Nutzen daraus. Der allgemeine Begriff „Ereignis“ lässt sich dabei auf eine Vielzahl unternehmerischer Entscheidungen übertragen. Diese können sowohl kurzfristiger Natur sein (zum Beispiel der Ausfall einer Produktionsanlage) als auch mittel- oder langfristigen Charakter haben, wie zum Beispiel die Änderung der Anforderungen an ein Produkt und die damit einhergehenden Anpassungen in puncto Einkauf, Qualität und Service.

Tritt heute in einem Unternehmen ein Ereignis ein, sind dessen Ereignisdaten erst mit gewisser Verzögerung verfügbar; Entscheidungen mit einzuleitenden (Gegen-)Maßnahmen können ebenfalls nur verzögert getroffen werden (siehe Abbildung 1). Grund dafür ist unter anderem eine mangelnde Integration der eingesetzten Informationssysteme zur Realisierung einer durchgängigen Datenverarbeitung – von der Datenerfassung bis zur Datenanalyse.

Mit der Entwicklung von Industrie 4.0 erhalten produzierende Unternehmen die Möglichkeit, die Zeitspanne zwischen einem Ereignis und einer geeigneten Maßnahme drastisch zu reduzieren (siehe Abbildung 2). Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise durch Felddaten veränderte Kundenwünsche erkannt sowie in den laufenden Produktionsprozess eines Produkts integriert werden und sich das Unternehmen agil an die veränderten Umstände anpasst. Der Kundin oder dem Kunden wird so in deutlich kürzerer Zeit ein passgenaues und qualitativ hochwertiges Produkt angeboten.

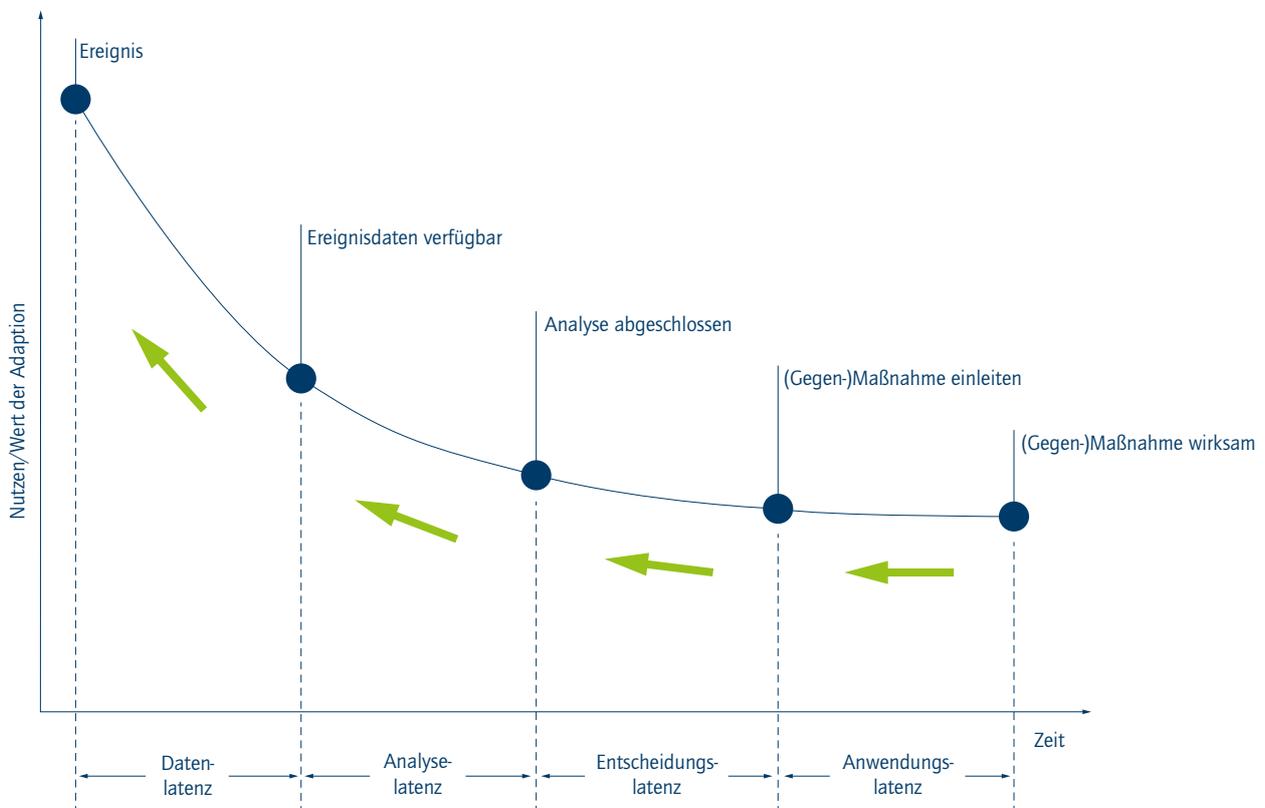


Abbildung 1: Anpassungsprozesse in Unternehmen (Quelle: in Anlehnung an Hackathom 2002; Muehlen/Shapiro 2010)

### Augmented Reality

Ein Beispiel, diese Latenzen zu reduzieren, bietet Augmented Reality: Die Übertragung digitaler Informationen auf die reale Welt schafft eine neue Dimension von Anwendungsfällen. Digitale Informationen aus 3-D-Modellen, Sensordaten oder Berechnungen aus den IT-Systemen werden mit der realen Welt in Kontext gesetzt. Dies ermöglicht einen umfassenden Informationsfluss aus der IT-Welt beispielsweise zu den Bedienern einer Maschine oder Servicetechnikerinnen und -technikern. Im Ergebnis können die zugeteilten Aufgaben wesentlich schneller und fehlerfreier umgesetzt werden, sobald die relevanten Daten vorliegen. Die manuelle oder telefonische Suche nach Informationen entfällt.

Um diesen Zielzustand zu erreichen, bedarf es unter anderem des Einsatzes verschiedener Technologien. Entscheidungsrelevante Informationen müssen durch das Aufbrechen von Datensilos zur Verfügung gestellt werden. Diese technologischen Veränderungen alleine sind jedoch nicht ausreichend. Entscheidend für die erfolgreiche Transformation sind neue Ansätze für die Organisation des Unternehmens und die innerbetriebliche Kultur. Hierzu gehört zum Beispiel die Bereitschaft der gesamten Organisation, diese ständigen Veränderungen mitzutragen und zu gestalten.

Das Ziel der Transformation ist ein **lernendes, agiles Unternehmen**. Dieses kann sich durch den Einsatz von geeigneten Technologien und organisationalem Lernen den sich verändernden Rahmenbedingungen ständig anpassen und ist fähig, digitale Kontrollpunkte dauerhaft zu besetzen. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index gibt produzierenden Unternehmen einen Leitfaden an die Hand, wie sie den Weg zu einem lernenden, agilen Unternehmen individuell gestalten können und welche Schritte zu einem konkreten Nutzen führen.

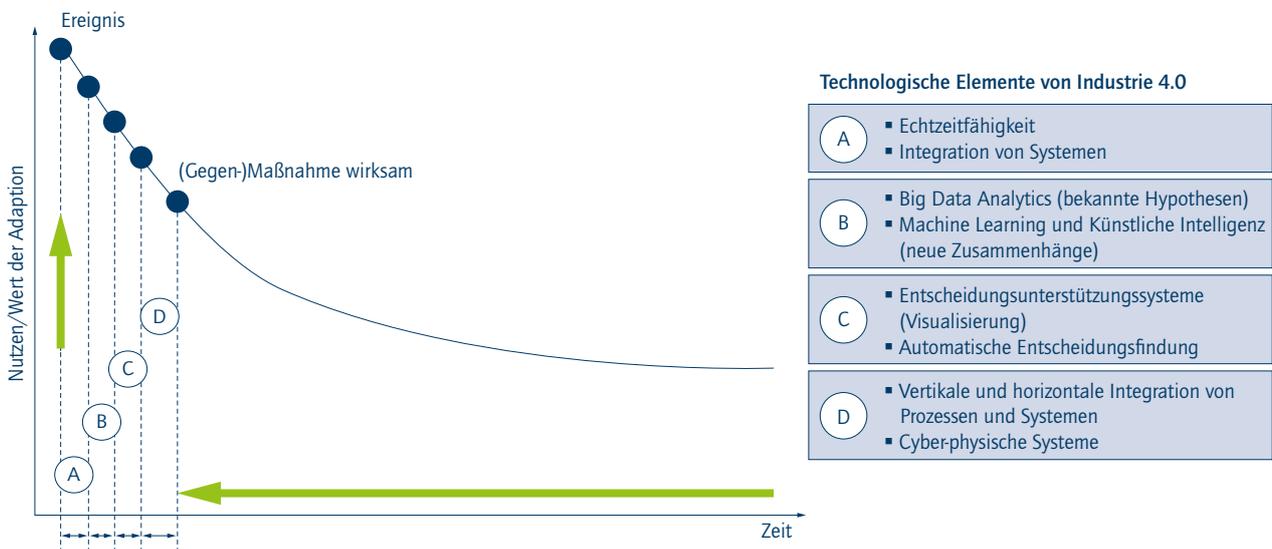


Abbildung 2: Steigerung des Nutzens einer Anpassung im organisationalen Lernen (Quelle: FIR e. V. an der RWTH Aachen)

## 2 Zielsetzung und Methodik

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden acatech STUDIE ist es, den aktuellen Industrie 4.0-Reifegrad eines Unternehmens zu bestimmen sowie konkrete Maßnahmen zu seiner Verbesserung zu identifizieren, um den wirtschaftlichen Nutzen von Industrie 4.0 und Digitalisierung ausschöpfen zu können. Durch die objektive Untersuchung und Bewertung bestehender Prozesse und die hierauf folgende Ableitung von Handlungsfeldern erhalten Unternehmen einen spezifischen und praktischen Leitfaden, um die digitale Transformation zu gestalten.

### 2.1 Methodisches Vorgehen

Die enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und die praxisorientierte Herangehensweise der Methodik gründen auf der Auswahl einer Kombination aus Workshop und Case Study. Der Case-Study-Ansatz ermöglicht, ein aktuelles Phänomen in seinem realen Kontext zu untersuchen, und wird angewendet, wenn die Grenzen zwischen Phänomen und Kontext nicht eindeutig sind.<sup>3</sup> Dieses Vorgehen wurde für die vorliegende acatech STUDIE gewählt, da es sich beim Themengebiet Industrie 4.0 in wissenschaftlicher Hinsicht um ein neues Phänomen handelt und die Grenzen aufgrund von fehlender Standardisierung und Generalisierung unklar sind.

Durch das Workshop-basierte Vorgehen konnten unterschiedliche Erfahrungen des Konsortiums gesammelt und genutzt werden. Gleichzeitig wurden der fachübergreifende Austausch und die Zusammenarbeit gefördert. Hierdurch wurden neue Kooperationen zwischen den beteiligten Stakeholdern initiiert. Insgesamt konnten so Projektplanung und Umsetzung in kurzer Zeit erfolgen.

Das methodische Vorgehen wurde in vier konstruktive Phasen gegliedert (siehe Abbildung 3). Drei davon bauen aufeinander auf. Die vierte Phase zog sich als kontinuierlicher Bestandteil durch den gesamten Studienverlauf.

Grundlage der Studie bildet die Zusammenarbeit eines Konsortiums aus Industrie und Forschung. Die intensive Unterstützung der beteiligten Industrie- und Forschungspartner über den Zeitraum von einem Jahr ermöglichte es, ein Gleichgewicht zwischen der wissenschaftlichen Basis und der praxisnahen Verankerung zu entwickeln.

Im Rahmen des Konsortiums fanden regelmäßige Steuerkreistreffen statt. Dabei wurde der jeweils aktuelle Projektstand an die Mitglieder des Steuerkreises weitergegeben und geprüft.

Zum Abschluss wurde das Gesamtverfahren bei mehreren Unternehmen validiert. Das Assessment bei der Technologiegruppe Harting AG & Co. KG wird in Kapitel 6.3 näher beschrieben. Hier konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Modell die relevanten Bereiche in einem produzierenden Unternehmen abdeckt. Die inhaltlichen und formalen Anforderungen konnten somit bestätigt werden. Die abgeleiteten spezifischen Handlungsempfehlungen zeichnen ein realistisches Bild und geben Unternehmen einen praktischen Leitfaden an die Hand.

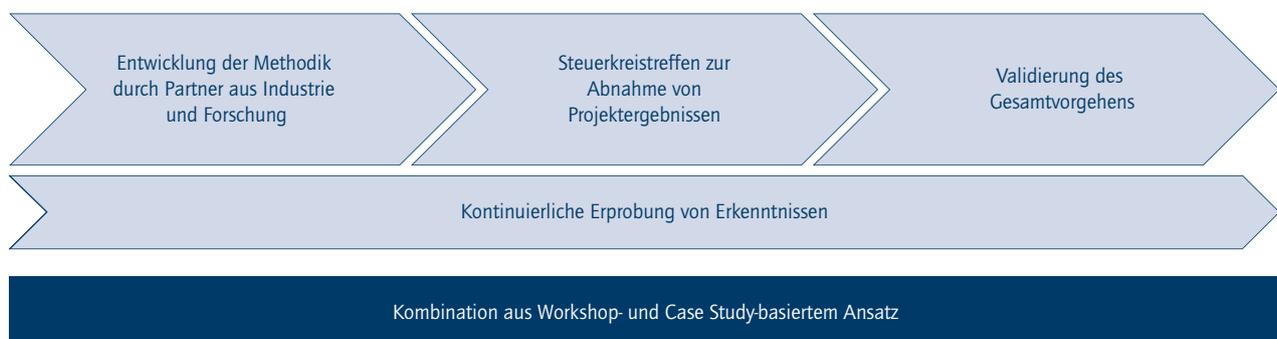


Abbildung 3: Vorgehensweise bei der Durchführung der Studie (Quelle: eigene Darstellung)



Die kontinuierliche Erprobung der zwischenzeitlich gewonnenen Erkenntnisse stellte die übergreifende vierte Phase dar. In Anlehnung an das Ziel eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses wurden die Erkenntnisse unmittelbar dazu genutzt, die Methodik auszuweiten und zu optimieren. Dieses Vorgehen sparte Entwicklungszeit und -aufwand und spiegelt sich in der Qualität der Methodik wider.

## 2.2 Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index erlaubt die Ermittlung des Status quo bei der Transformation zu einem lernenden, agilen Unternehmen. Er betrachtet ein Unternehmen dabei aus technologischer, organisatorischer und kultureller Perspektive. Im Fokus stehen die Geschäftsprozesse produzierender Unternehmen.

Der Weg zu Industrie 4.0 ist für jedes Unternehmen individuell. Deswegen müssen zunächst die individuelle Ausgangssituation und Zielstellung analysiert werden. Dabei stellen sich folgende Fragen: Welche Strategie verfolgt das Unternehmen für die kommenden Jahre? Welche Technologien und Systeme sind bereits implementiert und wie wirken diese im Unternehmen? Darauf

aufbauend gilt es zu bestimmen, welche Fähigkeiten dem Unternehmen noch fehlen, um erfolgreich Industrie 4.0 einzuführen. Wichtig ist hierbei, dass die Einführung nicht in einem großen Schritt erfolgen kann und soll. Für jedes Unternehmen muss eine strategische Festlegung eines individuell definierten Nutzens erfolgen. Das Vorgehen dient dazu, eine digitale Roadmap in sämtlichen relevanten Handlungsfeldern aufzustellen, die in abgestuften Nutzenschritten Investitionssicherheit für das Unternehmen schaffen. Die Roadmap sensibilisiert Unternehmen dafür, einen unternehmensübergreifenden „digitalen roten Faden“ zu entwickeln. Das Vorgehen ist in Abbildung 4 dargestellt.

In den nachfolgenden Kapiteln dieser Studie findet zunächst eine detaillierte Beschreibung des zugrundeliegenden Modells des acatech Industrie 4.0 Maturity Index statt. Im Abschnitt Gestaltungsbereiche werden dabei zunächst die wesentlichen Fähigkeiten in den unternehmerischen Gestaltungsfeldern aufgezeigt, die für ein agiles Unternehmen in Industrie 4.0 notwendig sind. Anschließend werden für die heute existierenden Unternehmensfunktionen mögliche Entwicklungsziele in Form von Visionen beschrieben. Im Anschluss daran wird die Anwendung des Modells in einem produzierenden Unternehmen veranschaulicht und das theoretische Modell durch Beispiele aus der Praxis weiter erläutert.

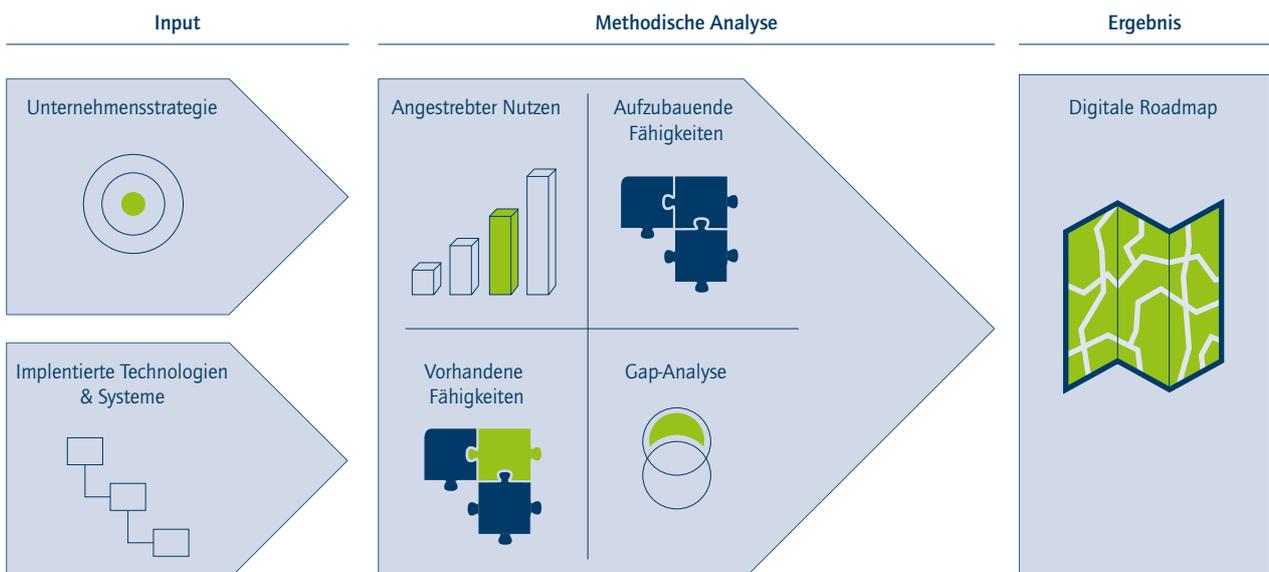


Abbildung 4: Vorgehen zur Einführung von Industrie 4.0 (Quelle: eigene Darstellung)

## 3 Modellaufbau

Das im Rahmen der vorliegenden acatech STUDIE entwickelte Modell folgt einem reifegradbasierten Ansatz. Dieser beinhaltet nutzenorientierte Entwicklungsstufen und begleitet Unternehmen von der Etablierung der Grundvoraussetzungen für Industrie 4.0 bis zur vollständigen Umsetzung. Der angestrebte Zielzustand hängt von der jeweiligen Geschäftsstrategie ab und kann daher unternehmensindividuell auf der Stufe mit dem besten Verhältnis von Aufwand und Nutzen festgelegt werden. Eine Veränderung der Unternehmensstrategie oder des Marktes kann jedoch zu einer Anpassung der Zielstufe führen. Um alle Aspekte produzierender Unternehmen zu berücksichtigen, wurde die Modellstruktur an den „Ordnungsrahmen Produktion und Management“ angelehnt.<sup>4</sup> Insgesamt vier Gestaltungsfelder ermöglichen eine umfassende Betrachtung und definieren handlungsleitende Prinzipien. Aus diesen leiten sich aufzubauende Fähigkeiten für Industrie 4.0 ab. Den Unternehmen steht mit dem Industrie 4.0 Maturity Index ein nützliches Werkzeug zur Verfügung, das für die Transformation der gesamten Organisation herangezogen werden kann.

### 3.1 Nutzenorientierte Entwicklungsstufen

Die Einführung von Industrie 4.0 stellt einen wesentlichen Ausbau der digitalen Kompetenzen und Fähigkeiten produzierender Unternehmen dar und geht mit Veränderungen in weiten Teilen der Organisation einher. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe kann von einer – in der Regel mehrjährigen – Transformation gesprochen werden. Planung und Umsetzung sollten so gestaltet sein, dass sich im Verlauf der Transformation kontinuierlich positive Effekte auf die Rentabilität – also auf Wachstum und Effizienz – ergeben. Der Nutzen sollte an jedem Punkt der Transformation sichtbar gemacht werden können, um die Erfolgswahrscheinlichkeit der gesamten Transformation zu erhöhen. Die entwickelte Methodik ermöglicht die Realisierung von Quick-Wins und sichert gleichzeitig das Erreichen eines übergeordneten Transformationsziels.

Dieses Vorgehen macht eine stufenweise Entwicklung erforderlich. Im Rahmen der Studie wurde ein Industrie 4.0-Entwicklungspfad generiert, der bei den Grundvoraussetzungen für Industrie 4.0 ansetzt und Unternehmen bei der Transformation zum lernenden, agilen Unternehmen begleitet. Der Pfad besteht aus sechs aufeinander aufbauenden Entwicklungsstufen, die die

jeweils zu schaffenden Fähigkeiten und den Nutzen für Unternehmen beschreiben (siehe Abbildung 5).

Es ist wichtig, dass Fähigkeiten schrittweise aufgebaut werden. Das heißt, der Nutzen von Stufe eins lässt sich mit geringeren digitalen Fähigkeiten heben als der erwartete Nutzen von Stufe zwei. Der Transformationsprozess stellt eine kontinuierliche Entwicklung mit vielen aufeinander aufbauenden Schritten dar. Diese sind zwar nicht über alle Betriebe, Werke und Fertigungszellen perfekt synchronisiert, aber allesamt auf das übergeordnete Ziel der Transformation ausgerichtet. Dabei ist unternehmensspezifisch zu entscheiden, welche Entwicklungsstufe das beste Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen darstellt und am Ende des geplanten Transformationsprozesses stehen sollte.

Unternehmen stehen heute vor der Aufgabe, die Voraussetzungen für Industrie 4.0 zu schaffen. Daher startet der Entwicklungspfad mit der Digitalisierung, die noch kein Bestandteil von Industrie 4.0 ist, aber durch Computerisierung und Konnektivität die Grundlagen schafft. Hierauf folgt in vier Stufen der Aufbau von Industrie 4.0-Fähigkeiten.

#### 3.1.1 Stufe eins: Computerisierung

Ausgangspunkt für den Entwicklungspfad und Grundlage für Digitalisierung ist die Computerisierung des Unternehmens. Diese Stufe beschreibt den isolierten Einsatz von Informationstechnologien. Sie ist in den meisten Unternehmen bereits weit fortgeschritten und wird vor allem verwendet, um repetitive Tätigkeiten effizienter zu gestalten. Die Computerisierung stellt einen erheblichen Nutzen dar: Sie ermöglicht eine kostengünstige, fehlerarme Produktion und erlaubt hierbei eine Präzision, die die Herstellung vieler moderner Produkte erst möglich macht.

Dennoch existiert in Unternehmen noch eine Vielzahl von Maschinen ohne digitales Interface. Diese haben oft lange Lebenszeiten oder sind mit einem Handbetrieb ausgestattet. Für die Auftragsverfolgung an diesen Maschinen kommen häufig Terminals zum Einsatz, die die Schnittstelle zwischen betrieblichen Anwendungssystemen und den Maschinen bilden.

Als Beispiel für die Stufe Computerisierung sei eine CNC-Fräsmaschinen genannt, die durch ihre rechnergestützte numerische Steuerung Werkstücke sehr genau bearbeiten kann. Die CAD-Daten, die die Bearbeitung vorgeben, müssen jedoch noch häufig händisch auf die Fräsmaschine übertragen werden – die Maschine ist nicht „connected“. Ein weiteres Beispiel stellen betriebliche

4 | Vgl. Boos et al. 2011, S. 55.

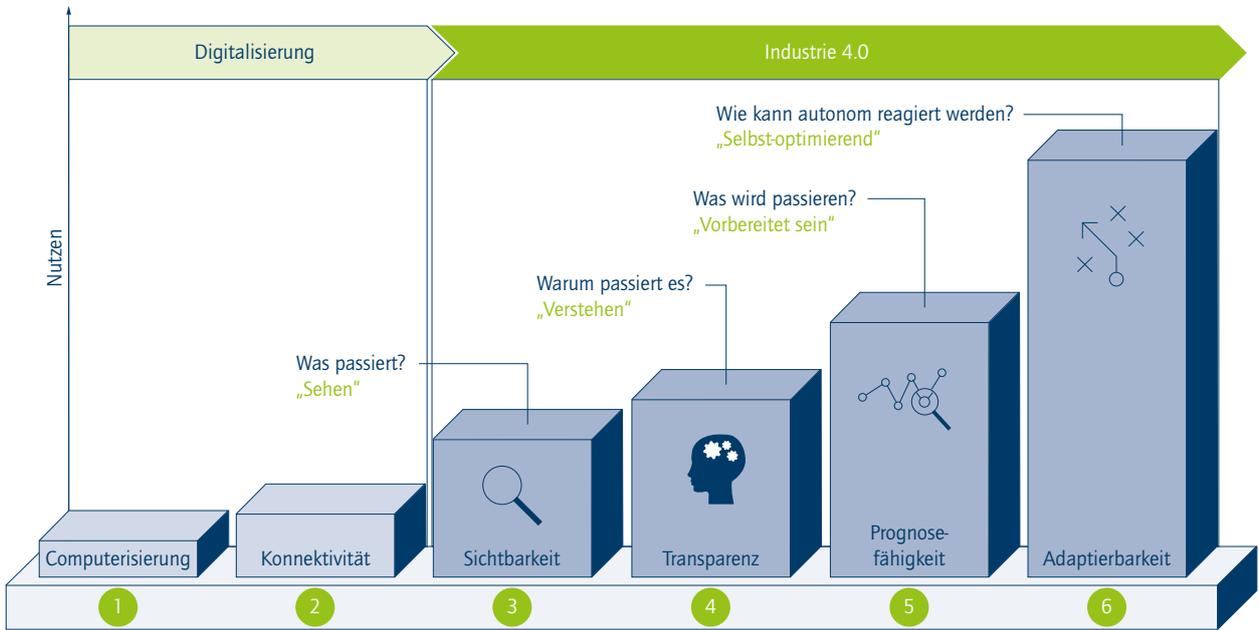


Abbildung 5: Stufen des Industrie 4.0-Entwicklungspfad (Quelle: FIR e. V. an der RWTH Aachen)

Anwendungssysteme dar, die ohne Verbindung zum Enterprise-Resource-Planning (ERP)-Systembetrieben werden. So erfolgt die Qualitätssicherung häufig teilautomatisiert an Prüfständen, ohne dass die gemessenen Werte mit dem Fertigungsauftrag verknüpft werden. Eine spätere Zuordnung von Fehlern zu Aufträgen ist so nur schwer möglich.

### 3.1.2 Stufe zwei: Konnektivität

In der Stufe Konnektivität wird der isolierte IT-Einsatz durch vernetzte Komponenten abgelöst. Die verwendeten IT-Systeme sind miteinander verknüpft und spiegeln die Kerngeschäftsprozesse des Unternehmens wider. Teile der verwendeten Operativen Technologien (OT) stellen Schnittstellen zur Business-IT zur Verfügung; eine vollständige Integration zwischen IT- und OT-Ebene hat jedoch noch nicht stattgefunden.

Das Internet Protocol (IP) findet zunehmend auch auf dem Shopfloor Anwendung. Die aktuelle Version IPv6 stellt wesentlich längere Adressen als der Vorgänger IPv4 zur Verfügung und ermöglicht so die Anbindung aller Komponenten ohne die bislang notwendige Netzwerkadressübersetzung. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für das Internet der Dinge. Konnektivität bedeutet beispielsweise, dass sobald ein Design in der Entwicklung erzeugt wurde, zugehörige Daten an die Produktion weitergeleitet

werden können. Der CAD/CAM-Prozess ist somit IT-technisch integriert. Der abgeschlossene Fertigungsschritt kann dann automatisch und in Echtzeit durch ein Manufacturing Execution System (MES) rückgemeldet werden. Auch können Hersteller von Werkzeugmaschinen jene Produkte, die bei Kunden im Einsatz sind, dank volumenstarker, kostengünstiger Datenleitungen per Remote Service warten.

In Fabriken werden vorhandene Werkzeugmaschinen, solange sie eine gute Qualität erzeugen, auch weiterhin in der Produktion eingesetzt. Teilweise sind diese Maschinen fünfzig Jahre oder älter. Da das IP eine standardisierte Kommunikation auf dem Shopfloor ermöglicht, lassen sich bestehende Maschinen vergleichsweise einfach mit Sensorik nachrüsten. Nachgerüstete Maschinen können so angebunden werden und Produktionsdaten bereitstellen.

### 3.1.3 Stufe drei: Sichtbarkeit

Durch Sensoren können Prozesse von Anfang bis Ende mit einer Vielzahl von Datenpunkten erfasst werden. Fallende Preise für Sensoren, Mikrochips und Netzwerktechnik sorgen dafür, dass Vorgänge und Zustände nicht mehr nur in einzelnen Bereichen, wie zum Beispiel einer Fertigungszelle, sondern im gesamten Unternehmen in Echtzeit erfasst werden können. So wird es möglich, ein jederzeit aktuelles, digitales Modell des Unternehmens

zu erzeugen. Wir nennen das Modell den „digitalen Schatten“ des Unternehmens. Mit dessen Hilfe lässt sich die Frage beantworten, was im Unternehmen passiert. Entscheidungen im Management können so datenbasiert getroffen werden. Der digitale Schatten ist somit ein Basiselement, das für die hierauf aufbauenden Stufen geschaffen werden muss.

Das Erzeugen des digitalen Schattens stellt für viele Unternehmen eine große Herausforderung dar. Zum einen existiert in der Regel nicht nur eine relevante, zentrale Datenquelle (Single Source of Truth), stattdessen liegen Daten häufig in dezentralen Silos vor. Zum anderen werden in Bereichen wie Produktion, Logistik und Service selbst in zentralen Prozessen häufig noch kaum Daten erfasst.

Hinzu kommt, dass die erfassten Daten in vielen Fällen nur einem kleinen Personenkreis zur Verfügung gestellt werden, der unmittelbar mit dem Prozess befasst ist. Eine weitere Verwendung der Daten über den speziellen Prozess hinaus scheitert häufig an Systemgrenzen. Damit das Ziel eines lernenden, agilen Unternehmens erreicht werden kann, ist das flächendeckende Erfassen von Daten im Unternehmen eine Grundvoraussetzung. Dies gilt vor allem für Betriebsdaten. So wird es beispielsweise möglich, eine Lieferterminabweichung aufgrund einer Störung auf einem Dashboard in Echtzeit darzustellen. Mithilfe dieser Information kann die Produktionsplanung schneller angepasst werden als früher. Auch Zulieferer sowie Kundinnen und Kunden können so schneller informiert werden.

An dieser Stelle muss ein Umdenken einsetzen. Daten werden nicht aus der Motivation heraus gesammelt, eine bestimmte Analyse zu ermöglichen oder einen dedizierten Arbeitsschritt zu unterstützen. Vielmehr wird unabhängig von einzelnen Analysen der Daten ein jederzeit aktuelles und redundanzfreies Abbild des gesamten Unternehmens geschaffen.

Die Verknüpfung bereits existierender Datenquellen mit Sensoren auf dem Shopfloor stellt einen erheblichen Nutzen dar. Werden Systeme für Product-Lifecycle-Management (PLM), ERP und MES integriert, ergibt sich bereits ein umfassendes Bild und der aktuelle Zustand wird sichtbar. Modulare Lösungen und Apps können beim Aufbau der Single Source of Truth helfen.

### 3.1.4 Stufe vier: Transparenz

In der vierten Stufe des Entwicklungspfades wird durch den digitalen Schatten bereits der Zustand des Unternehmens erfasst. In dieser Stufe verstehen Unternehmen zudem durch Ursachenanalysen, warum etwas passiert, und leiten daraus Wissen über

### Fallbeispiel: HIROTEC

Maschinenausfälle sind ein bedeutsames Thema für Erstausrüster (Original Equipment Manufacturer, OEM) wie HIROTEC AMERICA. Das Unternehmen ist Teil der HIROTEC Gruppe, ein mit 26 Produktionswerken in weltweit neun Ländern vertretener Teilelieferant der Automatisierungstechnik. In vielen Fällen läuft eine Maschine ohne eine Zustandsüberwachung bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Fehler auftritt und geschultes Personal für eine Reparatur gerufen wird. HIROTEC versucht dem Trend der reaktiven Instandhaltung und den damit verbundenen Beeinträchtigungen entgegenzuwirken, indem die Informationen und Systeme für eine vertiefende Untersuchung der Prozesse und Tätigkeiten genutzt werden. Konnektivität, Datenzugriff und Skalierbarkeit wurden als Themen erkannt. Die Leitung von HIROTEC entwickelte daher eine wettbewerbsfähige Strategie, um Potenziale des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT) zu nutzen, basierend auf der Identifizierung möglicher Technologien. HIROTEC entschied sich für eine IoT-Plattform, die eine unternehmensweite Konnektivität zwischen den Geräten und einer Cloud durch ein übergreifendes Toolset ermöglicht.

Die Implementierung führt zu einer größeren Sichtbarkeit der Anlagen und Ressourcen, indem aktuelle Bedürfnisse und Prioritäten der Anlagen abgeleitet werden konnten. HIROTEC war damit in der Lage, die Produktivität im Unternehmen zu erhöhen. „Innerhalb von sechs Wochen wurde mehr Transparenz in unserer Produktion geschaffen als je zuvor. Dies verstärkt unser Investment und den Glauben an die Wirkung von IoT“, so Justin Hester, leitender Wissenschaftler bei HIROTEC.

Wirkungszusammenhänge ab. Um Wirkungszusammenhänge im digitalen Schatten erkennen und interpretieren zu können, ist es notwendig, die erhobenen Daten im jeweiligen Kontext zu analysieren und Ingenieurwissen anzuwenden. Die semantische Verknüpfung und Aggregation von Daten zu Informationen sowie die zugehörige kontextuelle Einordnung stellen das Prozesswissen dar, das für die Unterstützung komplexerer Entscheidungen benötigt wird.

Wesentliche Hilfestellungen leisten dabei neue Technologien, die die Analyse von Massendaten unterstützen. Ein in diesem Zusammenhang häufig genanntes Schlagwort ist Big Data. Hierunter



werden Massendaten verstanden, die mit bisherigen Business-Analytics-Verfahren nicht mehr verarbeitet und analysiert werden können. Big Data fasst Technologien und Anwendungen zusammen, die die Verarbeitung und Verknüpfung dieser sehr großen, häufig heterogenen Datenmengen ermöglichen.

In der Regel werden Big-Data-Anwendungen parallel zu den betrieblichen Anwendungssystemen wie ERP- oder MES-Systemen eingesetzt. So bilden sie die gemeinsame Plattform, mit deren Hilfe unter anderem umfangreiche stochastische Datenanalysen durchgeführt werden, um Wirkungszusammenhänge im digitalen Schatten der Unternehmenstätigkeiten aufzudecken.

Die Transparenz über Wirkungszusammenhänge wird etwa genutzt, um eine Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) an Maschinen und Anlagen zu realisieren. Messparameter werden auf Ereignisse und Abhängigkeiten untereinander untersucht und zu komplexen Ereignissen aggregiert, die den Zustand der Maschine oder Anlage widerspiegeln. Transparenz stellt so unter anderem die Voraussetzung für vorausschauende Wartung dar.

### 3.1.5 Stufe fünf: Prognosefähigkeit

In der darauf aufbauenden Entwicklungsstufe Prognosefähigkeit lassen sich verschiedene Zukunftsszenarien simulieren und die wahrscheinlichsten identifizieren. Hierzu werden der digitale Schatten in die Zukunft projiziert und unterschiedliche Szenarien gebildet, die anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet werden. In der Folge sind Unternehmen in der Lage, bevorstehende Ereignisse zu antizipieren und rechtzeitig Entscheidungen zu treffen sowie geeignete Reaktionsmaßnahmen einzuleiten. Maßnahmen müssen zwar in der Regel noch manuell eingeleitet werden, durch die gewonnene Vorwarnzeit können die Auswirkungen der Störung jedoch frühzeitig begrenzt werden. Die Reduktion von unerwarteten Ereignissen, zum Beispiel durch Störungen oder Planabweichungen, ermöglicht einen robusteren Betriebsablauf. So ist es etwa möglich, wiederkehrende Störungen in der Logistik wie Ausfälle eines Verkehrsträgers vorab zu erkennen und durch einen Wechsel des Verkehrsträgers zu vermeiden.

Die Prognosefähigkeit eines Unternehmens hängt im entscheidenden Maß von der geleisteten Vorarbeit ab. Ein hinreichend ausgebildeter digitaler Schatten in Verbindung mit bekannten Wirkungszusammenhängen legt den Grundstein für eine hohe Güte der Prognosen und hieraus abgeleiteter Handlungsempfehlungen.

### 3.1.6 Stufe sechs: Adaptierbarkeit

Prognosefähigkeit stellt die Voraussetzung für ein automatisches Handeln und die Selbstoptimierung dar. Durch kontinuierliche Adaptierung wird ein Unternehmen in die Lage versetzt, Entscheidungen IT-Systemen zu überlassen und sich ohne Zeitverlust entsprechend den veränderten Rahmenbedingungen im Geschäftsumfeld auszurichten.

Der Grad der Autonomie ist eine Frage der Komplexität von Entscheidungen und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Häufig ist es sinnvoll, nur einzelne Prozesse autonom zu gestalten. Wiederholbare Arbeitsschritte sollten daher auf grundsätzliche Autonomiefähigkeit hin untersucht werden. Durch Adaptierbarkeit kann beispielsweise auf drohende Maschinenausfälle oder Lieferverzögerungen automatisch reagiert werden, indem eine Reihenfolgeänderung in der Produktionsplanung vorgenommen wird. Dabei ist zu beachten, dass das Risiko automatisierter Freigaben und Bestätigungen gegenüber Kunden und Lieferanten kritisch begutachtet werden muss.

Das Ziel der Stufe sechs ist erreicht, wenn es dem Unternehmen gelingt, die Daten des digitalen Schattens so einzusetzen, dass Entscheidungen mit den größten positiven Auswirkungen autonom und ohne menschliches Zutun in kürzester Zeit getroffen und die daraus resultierenden Maßnahmen umgesetzt werden.

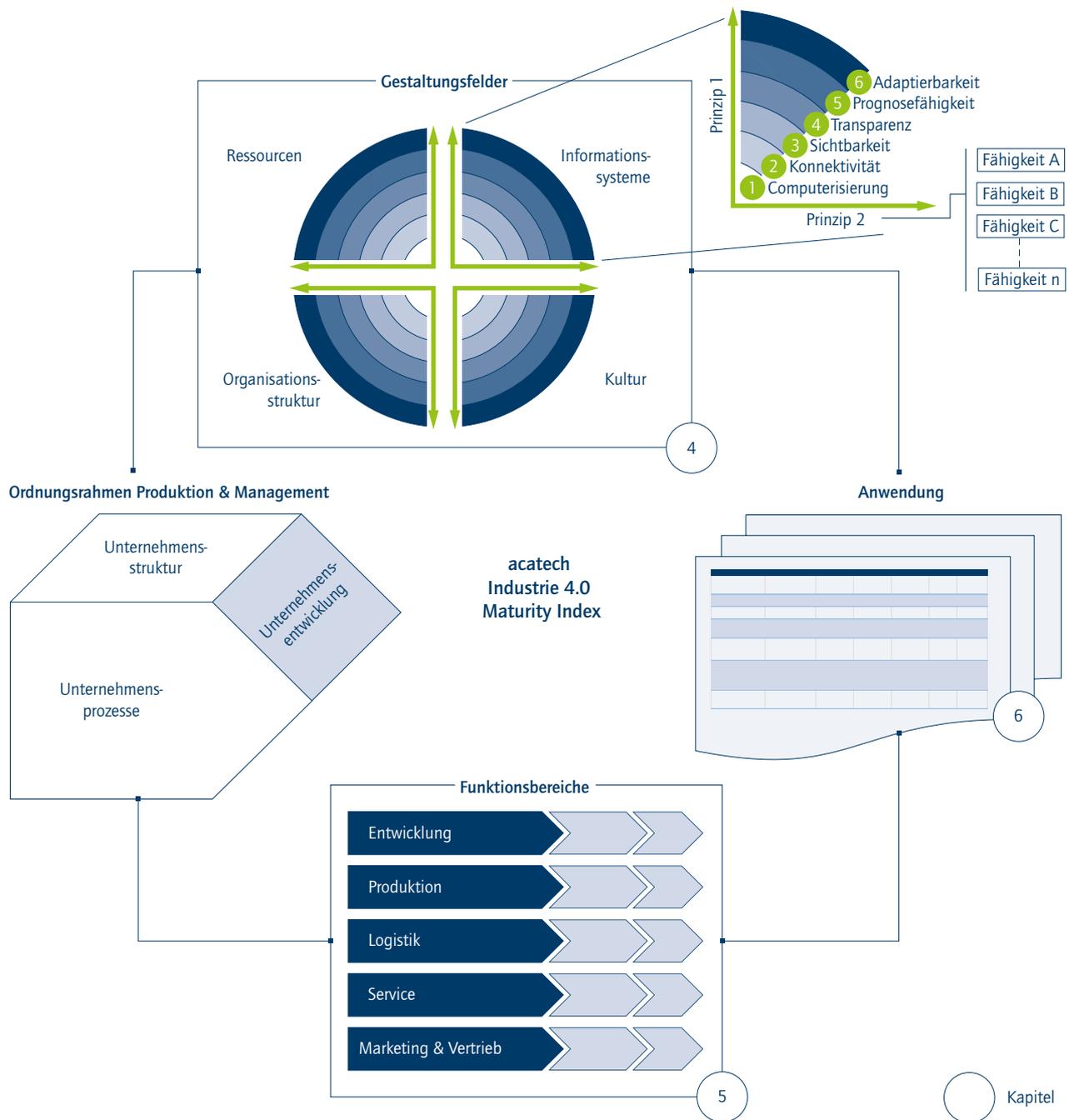
## 3.2 Allgemeiner Modellaufbau

In diesem Kapitel wird der allgemeine Modellaufbau des acatech Industrie 4.0 Maturity Index beschrieben (siehe Abbildung 6). Um eine vollständige Sicht auf ein produzierendes Unternehmen im Modell abzubilden, ist der acatech Industrie 4.0 Maturity Index an den „Ordnungsrahmen Produktion und Management“<sup>5</sup> angelehnt. Dieser unterteilt innerbetriebliche Fragestellungen in die Elemente Unternehmensstruktur, Unternehmensprozesse und Unternehmensentwicklung.<sup>6</sup> Erstere bezeichnet jene Elemente eines Unternehmens, die unabdingbar für die Leistungserstellung sind. Unter Unternehmensprozessen werden die Prozessketten in allen Bereichen eines Unternehmens betrachtet, während die Unternehmensentwicklung die strategische und operative Entwicklung eines Unternehmens beschreibt.<sup>7</sup>

5 | Vgl. Boos et al. 2011, S. 55.

6 | Neben innerbetrieblichen Fragestellungen werden innerhalb des „Ordnungsrahmens Produktion und Logistik“ auch Anspruchsgruppen und Umweltsphären betrachtet. Da diese jedoch nicht im Fokus des acatech Industrie 4.0 Maturity Index stehen, werden sie nicht weiter erläutert.

7 | Vgl. Boos et al. 2011, S. 57.



Modellaufbau

Abbildung 6: Modellaufbau des acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Quelle: eigene Darstellung)

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index greift die Unternehmensstruktur auf und leitet hieraus die vier **Gestaltungsfelder** Ressourcen, Informationssysteme, Kultur und Organisationsstruktur ab. Diese werden in Kapitel 4 im Detail dargestellt. Für jedes Gestaltungsfeld wurden jeweils zwei handlungsleitende

**Prinzipien** mit benötigten **Fähigkeiten** identifiziert. Letztere sind an den Entwicklungsstufen ausgerichtet und stellen für produzierende Unternehmen das Fundament dar, um sich zu agilen Organisationen zu entwickeln.



Die Unternehmensprozesse dienen als Basis für die fünf **Funktionsbereiche** Entwicklung, Produktion, Logistik, Service sowie Marketing und Vertrieb, die der acatech Industrie 4.0 Maturity Index untersucht. Für jeden Funktionsbereich wird in Kapitel 5 eine Vision skizziert, die veranschaulicht, wodurch sich lernende, agile Unternehmen auszeichnen.

Die Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index wird in Kapitel 6 beschrieben. Durch die Kombination von

Gestaltungsfeldern, Funktionsbereichen und Entwicklungsstufen wird es möglich, den Reifegrad eines produzierenden Unternehmens übergeordnet und für einzelne Funktionsbereiche zu bestimmen. Es wird dargestellt, wie Unternehmen, aufbauend auf dem bestimmten Reifegrad, eine digitale Roadmap mit spezifischen Maßnahmen in einer definierten zeitlichen Reihenfolge für Funktionsbereiche und Gestaltungsfelder ableiten können.

## 4 Fähigkeiten für Industrie 4.0-Unternehmen

Im Folgenden wird beschrieben, welche Fähigkeiten ein produzierendes Unternehmen besitzen sollte, um sich zu einer lernenden, agilen Organisation zu wandeln. Betrachtet werden dabei die vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Kultur und Organisationsstruktur (siehe Abbildung 7). Diese bilden zusammen genommen die Struktur der Organisation ab. Verbunden werden sie über die sechs Stufen des Industrie 4.0-Entwicklungspfad, dargestellt in Form von sechs konzentrischen Kreisen.

Jedes Gestaltungsfeld wird durch zwei Prinzipien aufgespannt, die für die Weiterentwicklung handlungsleitend sind. Jedes Prinzip bündelt Fähigkeiten, die – abhängig von den nutzenorientierten Entwicklungsstufen – sukzessive aufgebaut werden müssen. Der Umsetzungsgrad der Fähigkeiten bestimmt den Reifegrad des Prinzips. Die Reifegrade beider Prinzipien werden zusammengefasst und bilden zusammen die an den Entwicklungsstufen orientierte Bewertung des Gestaltungsfeldes. Die Bewertung der Gestaltungsfelder ist durch die vier grünen Punkte dargestellt (siehe Abbildung 7).

### 4.1 Ressourcen

Unter Ressourcen werden im Sinne des acatech Industrie 4.0 Maturity Index die physischen, greifbaren Ressourcen verstanden. Hierzu zählen zum einen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Unternehmens, zum anderen Maschinen und Anlagen, Werkzeuge, das verwendete Material sowie Halbfertigwaren und Produkte. Auf Seiten der Belegschaft sind bestimmte Kompetenzen notwendig, um den maximalen Wert aus gesammelten Daten und Informationen zu gewinnen. Durch eine entsprechende Auslegung der technischen Ressourcen lassen sich die Daten- und Umsetzungslatenz reduzieren. Dazu sollten Unternehmen bei der Beschaffung und Auslegung technischer Ressourcen darauf achten, dass sie parallel zur Funktionserfüllung eine Schnittstelle zwischen der physischen und der digitalen Realität bilden. Die auf diese Weise erzeugte Informationssicht in der digitalen Welt (digitaler Schatten) bildet die Grundlage für den angestrebten Lernprozess zur Steigerung der Agilität. Daraus ergeben sich zwei Prinzipien:

Die Beschäftigten des Unternehmens verfügen über die notwendigen Kompetenzen im Umgang mit der Vielzahl der erfassten Daten und Informationen.<sup>8</sup> Des Weiteren sind die technischen Komponenten so ausgerüstet, dass Daten erzeugt und – sofern zielführend – eigenständig zu Informationen weiterverarbeitet werden können. Die so geschaffene **digitale Befähigung** bildet

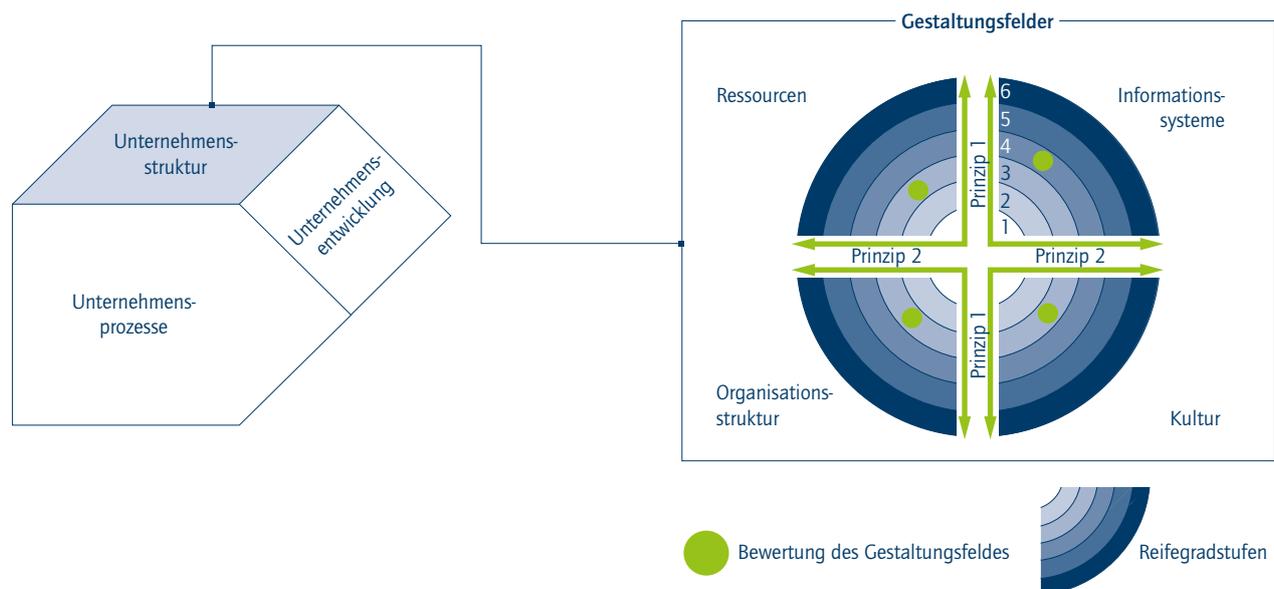


Abbildung 7: Aufbau der Gestaltungsfelder (Quelle: eigene Darstellung)



die Grundlage für eine informationsgetriebene Arbeitsweise unter Berücksichtigung der tatsächlichen Sachlage. Diese beruht nicht auf den häufig annahmen- oder prognosebasierten Planvorgaben, sondern auf den Rückmeldungen aus der Prozessumgebung. Die damit verbundenen Potenziale lassen sich jedoch nur bei entsprechender Systemauslegung nutzen, welche weiter in den Händen der Beschäftigten liegt.

Andererseits ergibt sich erst aus der Verknüpfung verschiedener Informationen ein eindeutiges Gesamtbild. Zur Schaffung einer ausreichenden Informationsgrundlage sind Daten möglichst strukturiert auszutauschen und – wenn möglich – zu erzeugen. Hierfür bedarf es der notwendigen Schnittstellen und eines Konsens über die Absicht der Kommunikation. Das Prinzip der **geregelten Kommunikation** beschreibt daher die Ausrichtung der Kommunikationsmedien für die Beschäftigten und der Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine sowie zwischen Maschinen auf technischer Seite. Die Abbildung 8 liefert eine Übersicht über die Prinzipien und die zugehörigen Fähigkeiten, die im Folgenden näher erläutert werden.

#### 4.1.1 Digitale Befähigung

Zur Generierung von Daten, deren Auswertung und der hierauf folgenden Umsetzung von Entscheidungen sind für bestehende Ressourcen entsprechende Kompetenzen aufzubauen (Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter) beziehungsweise in Form technischer Komponenten zu ergänzen (Maschinen und Anlagen, Werkzeuge, Materialien und Produkte). Diese grundlegenden Anforderungen für informationsbasiertes Arbeiten und Lernen werden im Modell unter dem Begriff der „digitalen Befähigung“ zusammengefasst.

#### Digitale Kompetenz vorhalten

Unternehmen sind durch den zunehmenden Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien in Produkten und Prozessen dazu angehalten, die Interdisziplinarität des Denkens und Handelns ihrer Beschäftigten zu fördern. Diese sind stärker in Innovationsprozesse einzubeziehen, um auf eine möglichst breite Wissensbasis zugreifen zu können. Durch die anhaltende Automatisierung vieler Prozessschritte wird die Entscheidungs- und Gestaltungscompetenz der Beschäftigten in Zukunft stärker gefordert sein;<sup>9</sup> die bloße Anwendungskompetenz reicht auf lange Sicht nicht aus. Nicht zuletzt ist zur Beschleunigung des Lernens und des Treffens von Entscheidungen die Eigenverantwortlichkeit zu stärken.<sup>10</sup>

In Entscheidungssituationen müssen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mehr denn je in der Lage sein, auf Daten und Informationen zuzugreifen, diese zu erfassen und zu verarbeiten, um schließlich zu einer belastbaren Entscheidung zu kommen. Neben einem grundlegenden Verständnis für den Wert von Informationen für kurz, mittel- und langfristige Entscheidungen ist ein gemeinsames Verständnis von Industrie 4.0 und der unternehmenseigenen Interpretation in der Belegschaft notwendig. Durch den zunehmenden Einbezug von Informationssystemen und Kommunikationstechnologien müssen Unternehmen darüber hinaus in der Lage sein, eine integrierte und interdisziplinäre IT-Kompetenz aufzubauen. Diese zielt auf die Schaffung eines Grundverständnisses über die Anwendungen und Prozesse verschiedener Unternehmensbereiche ab und ergänzt langfristig bestehende Berufsbilder.<sup>11</sup>

Der tägliche Umgang mit IT-System und – damit verbunden – häufig sensiblen Daten erfordert von allen Mitarbeiterinnen und

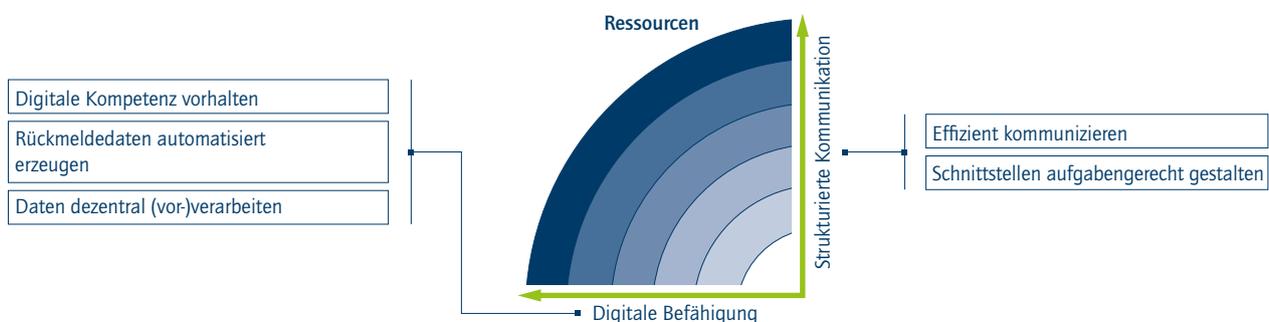


Abbildung 8: Fähigkeiten des Gestaltungsfelds Ressourcen (Quelle: eigene Darstellung)

9 | Vgl. Bauernhansel et al. 2016.

10 | Vgl. acatech 2016.

11 | Vgl. ebd.

Mitarbeitern ein Bewusstsein über die Bedeutung der IT-Security. Wichtiger Bestandteil ihrer Qualifikation ist daher die Sensibilisierung für Themen wie Datendiebstahl und versehentliche Informationslecks. Durch die zunehmende Verbreitung von Social Media und Kollaborationssoftware müssen neue Regeln zur internen und insbesondere externen Kommunikation in Bezug auf Vertraulichkeit und Zugriffsbeschränkungen vereinbart werden. Einerseits ist eine möglichst breite Datenbasis für die Entscheidungsfindung zielführend, andererseits stellen diese Daten unter Umständen das geistige Eigentum des Unternehmens dar und dürfen die Unternehmensgrenzen beziehungsweise Wertschöpfungsnetzwerke nicht verlassen. Seitens der IT-Sicherheit bieten Standards wie die internationale Normenreihe IEC 62443 ein umfassendes Sicherheitskonzept für die IT-Sicherheit von Netzen und Systemen produktionstechnischer Systeme.<sup>12</sup>

#### Rückmeldedaten automatisiert erzeugen

Für die technischen Ressourcen steht vor allem die Weiterentwicklung zu sogenannten cyber-physischen Systemen (CPS) im Vordergrund. Diese ergänzen mechatronische Komponenten um eingebettete Systeme wie Sensorik, Aktorik und Informationsverarbeitung sowie eine Kommunikationsschicht.<sup>13</sup> Die Praxis zeigt, dass Unternehmen beim Versuch der Entwicklung von CPS dazu neigen, entweder lokale Regelkreise ohne Interaktion mit anderen Ressourcen aufzubauen oder vorhandene Objekte zwar mit Hilfe von Labels (Barcode oder RFID) zu inventarisieren, die Potenziale einer automatischen Identifikation aber nicht im vollen Umfang nutzen.<sup>14</sup>

Insbesondere bei Maschinen und Anlagen ist bereits heute eine Vielzahl von Sensorik verbaut. Diese dient vor allem der Überwachung technischer Prozesse hinsichtlich Stabilität und kurzfristigen, regelnden Eingriffen. Die Verfolgung von Geschäftsprozessen durch Erzeugung von Rückmeldedaten erfordert daher neben der bisherigen Überwachung physikalischer Messgrößen vor allem die Möglichkeit der Lokalisierung von Objekten. Darüber hinaus ergeben sich durch Weiterentwicklungen im Bereich der Bildverarbeitung neue Möglichkeiten für die Qualitätsdatenerfassung. Die Definition entsprechender Datenbedarfe und die Auswahl geeigneter Sensorik bilden daher die Grundlage für die Erzeugung des digitalen Schattens.

#### Daten dezentral (vor-)verarbeiten

Neben der Sensorik und Aktorik sind die eingebetteten Systeme weitere zentrale Komponenten cyber-physischer Systeme. Diese bilden das Bindeglied zwischen der Kommunikationsschicht und den elektromechanischen Bauteilen (Aktorik). Die steigende Rechenleistung und Reduzierung der Transistorgrößen erlaubt immer kompaktere und günstigere Recheneinheiten. Dies ermöglicht eine Dezentralisierung von vorverarbeitenden Rechenoperationen in enger Verknüpfung mit der technischen Ressource. Durch die Verkürzung der Signallaufzeiten lassen sich so zeitkritische Berechnungen schneller durchführen und eröffnen neue Anwendungsfälle, beispielweise im Bereich der Mensch-Maschine-Kollaboration. Eingebettete Systeme können dabei auf vielfältige Weise gestaltet werden: Während Maschinen und Anlagen häufig über eigene Recheneinheiten verfügen, werden auch immer mehr Handwerkzeuge und Transporthilfsmittel mit entsprechenden Technologien ausgerüstet.

### 4.1.2 Geregelte Kommunikation

Durch die zunehmende Zahl zu treffender Entscheidungen werden zentrale Steuerungen immer mehr in Frage gestellt. Da die zunehmende Komplexität die Beherrschbarkeit zentralistischer Systeme erschwert, werden sich dezentrale Regelkreise auch auf Ebene der Geschäftsprozesse etablieren, nachdem viele technische Prozesse bereits auf ähnliche Weise optimiert werden konnten. Das Schaffen von Regelkreisen kann dabei positiv auf die Reaktionsgeschwindigkeit und die Robustheit von Geschäftsprozessen wirken. Zur Zielerreichung ist allerdings ein Zusammenschluss aller beteiligten Akteure zum Abgleich der Zielsysteme erforderlich.<sup>15</sup> Grundvoraussetzung ist daher der Einsatz von Kommunikationstechnologien, um temporäre Netzwerke zu schaffen, welche die Interaktion zwischen den Ressourcen ermöglichen.

#### Effizient kommunizieren

Die Kommunikation zwischen den Beschäftigten sollte jederzeit nachvollziehbar dokumentiert, redundanzfrei und anspruchsgruppengerecht gestaltet sein. Immer noch verbringen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beim Umgang mit Informationen einen

12 | Vgl. IEC 62443.

13 | Vgl. Bauernhansel et al. 2016.

14 | Beispiel: Ein Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie hat in einem Pilotversuch eine ältere Maschine mit Körperschallsensoren ausgerüstet, um den Verschleiß des Werkzeugs zu beobachten und eine vorrausschauende Instandhaltung zu realisieren. Dabei wurden die Messdaten aufgezeichnet, ausgewertet und schließlich ein Zusammenhang zwischen Körperschall und Rest-Standzeit ermittelt. Allerdings wurde die Lösung als geschlossener Regelkreis aufgebaut und nicht in das Unternehmensnetzwerk eingebunden, sodass Instandhaltungsaufträge manuell angelegt werden müssen. In einem anderen Piloten wurde eine Reihe von Werkzeugen für einen Maschinentyp mit RFID-Labels versehen, um diese lokalisieren zu können. Zuvor wurde ein manueller Aufschrieb genutzt. Zu jeder Geoposition wurde ein Status hinterlegt (verbaut, im Lager, zur Nacharbeit). Dieser wurde jedoch nicht in das Manufacturing Execution System (MES) des Unternehmens geschrieben.

15 | Vgl. Bauernhansel et al. 2016.



Großteil ihrer Zeit mit Suchen und Warten. Nachvollziehbarkeit der Kommunikation meint daher, dass der Kontext der Botschaft durch eine automatisierte Verschlagwortung oder die direkte Integration in das jeweilige Anwendungssystem bekannt und in Echtzeit zugänglich ist. Redundanzfreiheit lässt sich durch den Einsatz einer zentralen Datenhaltung realisieren: Gibt es nur eine gültige Version einer Datei (Single Source of Truth), wird nicht die Datei selbst verschickt, sondern eine entsprechende Freigabe eingerichtet. Durch Rollenprofile und Berechtigungen ergibt sich zudem die Möglichkeit, die Beschäftigten kontextbezogen und – wenn notwendig – nachträglich einem Kommunikationsverlauf hinzuzufügen. Für Freigabeprozesse ergeben sich ähnliche Anforderungen: In vielen Fällen sind auch heute noch Unterschriften in analoger Form zur Freigabe bestimmter Entscheidungen nötig. Durch die Einführung von digitalen Signaturen werden Freigabeprozesse schneller, transparenter und lassen sich sogar annullieren. Betroffene Akteure werden unmittelbar über den Status informiert; relevante Informationen sind direkt mit dem Freigabeprozess verknüpfbar. IT-Systeme, die diese Art der Kommunikation unterstützen, werden mit dem Begriff Groupware zusammengefasst.

### Schnittstellen aufgabengerecht gestalten

Für die Mensch-Maschine-Kommunikation bilden vor allem Identifikations- und Visualisierungstechnologien die Schnittstelle zwischen realer und digitaler Welt. Die zunehmend komplexen Prozesse sowie die steigenden Aufgaben und Anforderungen an die Beschäftigten erfordern entsprechende Assistenzsysteme. Dabei ermöglichen Auto-ID-Lösungen eine unmittelbare Erfassung der Objekte und deren Attribute. In Verbindung mit einer grafischen Oberfläche kann so kontextsensitive Information bereitgestellt werden.

Wesentliches Merkmal für die Interaktion von technischen Ressourcen unterschiedlichen Typs untereinander sind die Hardware-Schnittstellen. Der Austausch der Selbstbeschreibung cyber-physischer Systeme wird in Zukunft nicht zwangsläufig über verschiedene Ebenen der Automatisierungspyramide ablaufen, sondern vielmehr in einem dynamischen Netzwerk.<sup>16</sup> Identifikationstechnologien erlauben technischen Ressourcen ebenso wie Menschen das (gegenseitige) Erkennen und das Aushandeln bestimmter Informationsbedarfe. Für die Beschaffung neuer Anlagen ist die Anschlussfähigkeit der Steuerungen

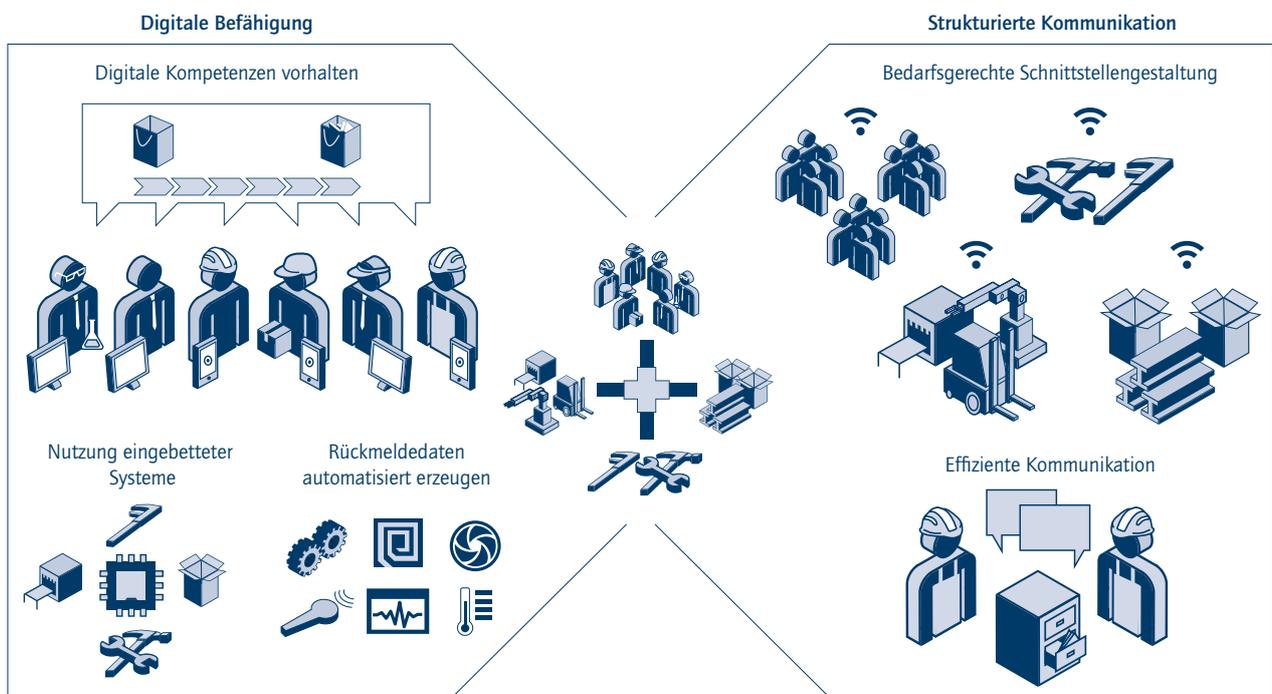


Abbildung 9: Notwendige Fähigkeiten im Gestaltungsfeld Ressourcen (Quelle: eigene Darstellung)

16 | Vgl. Bauernhansel et al. 2016.

und Sensorik zu berücksichtigen. Je nach Einsatzbedingungen können diese als drahtlose oder kabelgebundene Lösungen ausgeführt sein. Um Abhängigkeiten von Maschinen- oder Werkzeugherstellern zu vermeiden, sind dabei offene Schnittstellen zu bevorzugen. Ergänzend dazu ist die Fabrik mit einer entsprechenden Infrastruktur, zum Beispiel auf Basis von Industrial Ethernet, auszurüsten. Bei bereits vorhandenen Anlagen steigt die Zahl der verfügbaren Retrofitting-Lösungen zur Nachrüstung des vorhandenen Maschinenparks an,<sup>17</sup> sodass auch diese eingebunden werden können. Dabei sollte nicht nur die unternehmensinterne Vernetzung, sondern auch die Anbindung an das Internet geprüft werden. Bei Maschinen und Anlagen dient dies insbesondere für Fernzugriffe durch die Instandhaltung und die Produktionssteuerung.

Ähnliches gilt für das Material: Lassen sich Güter anhand ihres Ladungsträgers oder mithilfe eigens aufgebrachtener Erkennungsmerkmale automatisch identifizieren, ist – eine ausreichende Zahl von Meldepunkten vorausgesetzt – ein Tracking und Tracing möglich. In Verbindung mit einer Integration der Systeme (siehe Informationssysteme) lassen sich so steigende Anforderungen von Kundenseite im Hinblick auf die Produktrückverfolgbarkeit erfüllen.

Wesentlich für all diese Entwicklungen ist die Fähigkeit eines Unternehmens, Informationsbedarfe zu erkennen und die Technologieauswahl entsprechend zu gestalten. Die Prozessintegration sollte dabei unter den Gesichtspunkten der Bedienbarkeit erfolgen und ergonomische Aspekte berücksichtigen (zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle siehe Kapitel 4.2.1).

### 4.1.3 Zusammenfassung

Die Ausprägungen der Ressourcen eines produzierenden Unternehmens auf der Reifegradstufe „Adaptierbarkeit“ sind in Abbildung 9 dargestellt. Bestehende Kompetenzprofile von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gilt es, um erweiterte IT-Kompetenz zu ergänzen. Technische Ressourcen sind um eine Datenverarbeitungsschicht zu erweitern, um angeschlossene Sensorik und Aktorik anzusteuern und um Rückmeldedaten zu erzeugen. Diese werden durch Interaktion zwischen Ressourcen zu einem digitalen Schatten zusammengefügt. Dabei ist die Kommunikation zwischen Menschen und technischen Ressourcen sowie untereinander so auszugestalten, dass sowohl Daten als auch Informationen in Echtzeit ausgetauscht werden können und alle Anspruchsgruppen in die Kommunikation eingebunden sind.

## 4.2 Informationssysteme

Informationssysteme sind soziotechnische Systeme, in denen Menschen sowie Informations- und Kommunikationstechnologien Informationen nach wirtschaftlichen Kriterien bereitstellen, verarbeiten, speichern und übertragen.<sup>18</sup> Die Gestaltung der Informationssysteme in Unternehmen ist entscheidend, um auf Basis der verfügbaren Daten und Informationen erfolgswirksame Entscheidungen zu treffen. Durch die vorangeschrittene Digitalisierung haben produzierende Unternehmen zunehmend die Möglichkeit, diese datenbasierten Entscheidungen durch einen digitalen Schatten in Echtzeit zu treffen. Aktuell werden in vielen produzierenden Unternehmen diese Daten und Informationen nicht für Entscheidungen genutzt. Das hat zwei Gründe:

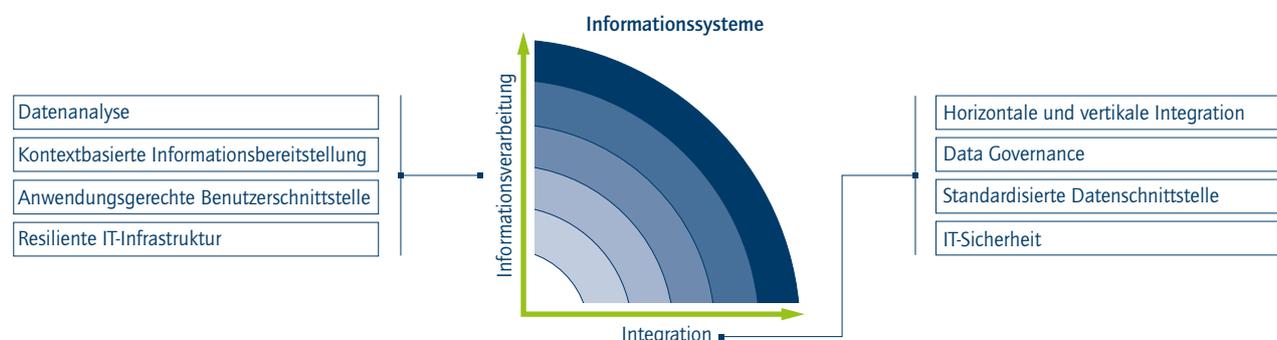


Abbildung 10: Fähigkeiten des Gestaltungsfelds Informationssysteme (Quelle: eigene Darstellung)

17 | Vgl. Ciupek 2016.

18 | Informationssysteme werden in dieser Studie von IT-Systemen abgegrenzt. IT-Systeme meint einzelne Anwendungssysteme (z.B. ERP-System). Informationssysteme sind nach der obigen Definition als soziotechnische Systeme zu verstehen.



Zum einen werden die erhobenen Daten nicht zu Informationen weiterverarbeitet und können aufgrund einer fehlenden Bereitstellung von den Beschäftigten nicht für ihre Tätigkeit genutzt werden. Es stellt sich daher die Frage, wie die erhobenen Daten aufbereitet und den Beschäftigten zur Verfügung gestellt werden müssen, dass Entscheidungen datenbasiert getroffen werden können. Die Nutzung der Daten hängt also nicht nur von ihrer Analyse und Weiterverarbeitung in Informationen ab, sondern bezieht auch die Fähigkeit der anwendergerechten Bereitstellung mit ein. Das erste Prinzip von Informationssystemen lautet folglich: **Verarbeitung und Aufbereitung der Daten zur Entscheidungsunterstützung**. Die Nutzung der Daten umfasst auch die technischen Fähigkeiten, einen echtzeitfähigen Zugriff auf Daten zu erhalten sowie eine Infrastruktur, die die Grundlage für die Datenverarbeitung und Datenbereitstellung bietet.

Viele produzierende Unternehmen nutzen Daten und Informationen nicht für Entscheidungen, da Daten aus unterschiedlichen Bereichen nicht zentral verwaltet werden. Daraus resultiert die Frage, wie mit integrierten Systemen eine gemeinsame Datennutzung in der Wertschöpfungskette erreicht werden kann. Die Informationssystemarchitektur von agilen Unternehmen verfügt über eine zentrale Plattform, die bestehende IT-Systeme untereinander und mit den Ressourcen vernetzt. Für die gemeinsame Nutzung von Daten müssen keine Duplikate in verschiedenen IT-Systemen vorgehalten werden, da ein führendes Informationssystem diese Daten beinhaltet (Single Source of Truth). Das zweite Prinzip von Informationssystemen lautet daher: **Integration zur verbesserten Datennutzung und Erhöhung der Agilität** (siehe auch Abbildung 10). Eine zentrale Plattform zur Vernetzung der Informationssysteme bedarf standardisierter Schnittstellen, einer umfassenden IT-Sicherheit sowie einer bedarfsgerechten Datenqualität.

#### 4.2.1 Selbstlernende Informationsverarbeitung

Das Gestaltungsprinzip Informationsverarbeitung dient der Aggregation von Daten zu Informationen und Entscheidungsvorlagen, um letztendlich datenbasierte Entscheidungen zu treffen. Dazu müssen Unternehmen Daten und Informationen als gewinnbringende Ressource verstehen, diese aufbereiten und den Beschäftigten zur Verfügung stellen.

##### Automatische Datenanalysen realisieren

Basis für datenbasierte Entscheidungen ist eine automatische Datenanalyse, die die Daten kontinuierlich zu Informationen aggregiert, daraus Wissen extrahiert und Nutzerinnen und Nutzern Entscheidungsvorlagen anbietet. Dazu sind Fähigkeiten der automatischen Datenanalyse notwendig, um

Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge durch Daten aus verschiedenen Quellen zu identifizieren und zukünftige Ereignisse – beispielsweise durch Simulation oder Regressionen – zu prognostizieren. Die Datenströme müssen kontinuierlich und in Echtzeit nach bestimmten Regeln und Zusammenhängen beobachtet werden, um daraus höherwertige Informationen zu aggregieren. Eine einfache Anwendung ist die kontinuierliche Auswertung verschiedener Maschinen- und Werkzeugparameter, um etwa mit einer hohen Wahrscheinlichkeit Maschinenstörungen oder Qualitätsabweichungen vorhersagen zu können. Dies wird häufig unter dem Begriff „Condition Monitoring“ zusammengefasst.

Datenbasierte Entscheidungen finden in agilen Unternehmen auch auf der gesamten Produktionsebene statt. Ein Beispiel dafür bietet die Frage, wie sich die Liefertermintreue des Unternehmens verändert, wenn es einzelne Aufträge vorzieht oder eine Maschine aufgrund von Instandhaltungsmaßnahmen temporär aus dem Produktionsprozess herauslöst. Damit sind automatische Datenanalysen nicht nur auf der Ebene von Maschinen oder Werkzeugen, sondern einer gesamten Produktion notwendig. Hierbei potenzieren sich die relevanten Datenströme. Für die Datenanalyse bedeutet das eine Verarbeitung und Verknüpfung von sehr großen, häufig heterogenen Datenmengen. Diese Eigenschaften verlangen von Unternehmen Anwendungen und Technologien, die die Verarbeitung von Daten ermöglichen.

Datenanalysen dürfen dabei nicht nur auf Grundlage bekannter Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge durchgeführt werden; Unternehmen müssen vielmehr kontinuierlich lernen und neue Muster aus den aufgenommenen Daten identifizieren. Bei unvorhergesehenen Ereignissen wie Maschinenausfällen oder verpassten Lieferterminen werden die Ursachen analysiert und anhand von Daten interpretiert. Der identifizierte und validierte Zusammenhang wird im Anschluss als zusätzliches Muster genutzt.

Wiederholt aufgetretene Ereignisse werden genutzt, um die weitere Entwicklung der Daten anzunehmen. Optimierungsalgorithmen integrieren die Auswirkungen des prognostizierten Ausfalls (zum Beispiel Verschiebung der Liefertermine) und generieren daraus automatisch mögliche Handlungsempfehlungen.

##### Informationen kontextbasiert bereitstellen

Die Ergebnisse der Datenanalyse werden durch eine kontextbasierte Bereitstellung der Informationen für Entscheidungen genutzt. Dazu müssen die Informationen nicht in verschiedenen IT-Systemen zusammengesucht und von Anwenderinnen und Anwender verarbeitet, sortiert oder interpretiert werden. Vielmehr

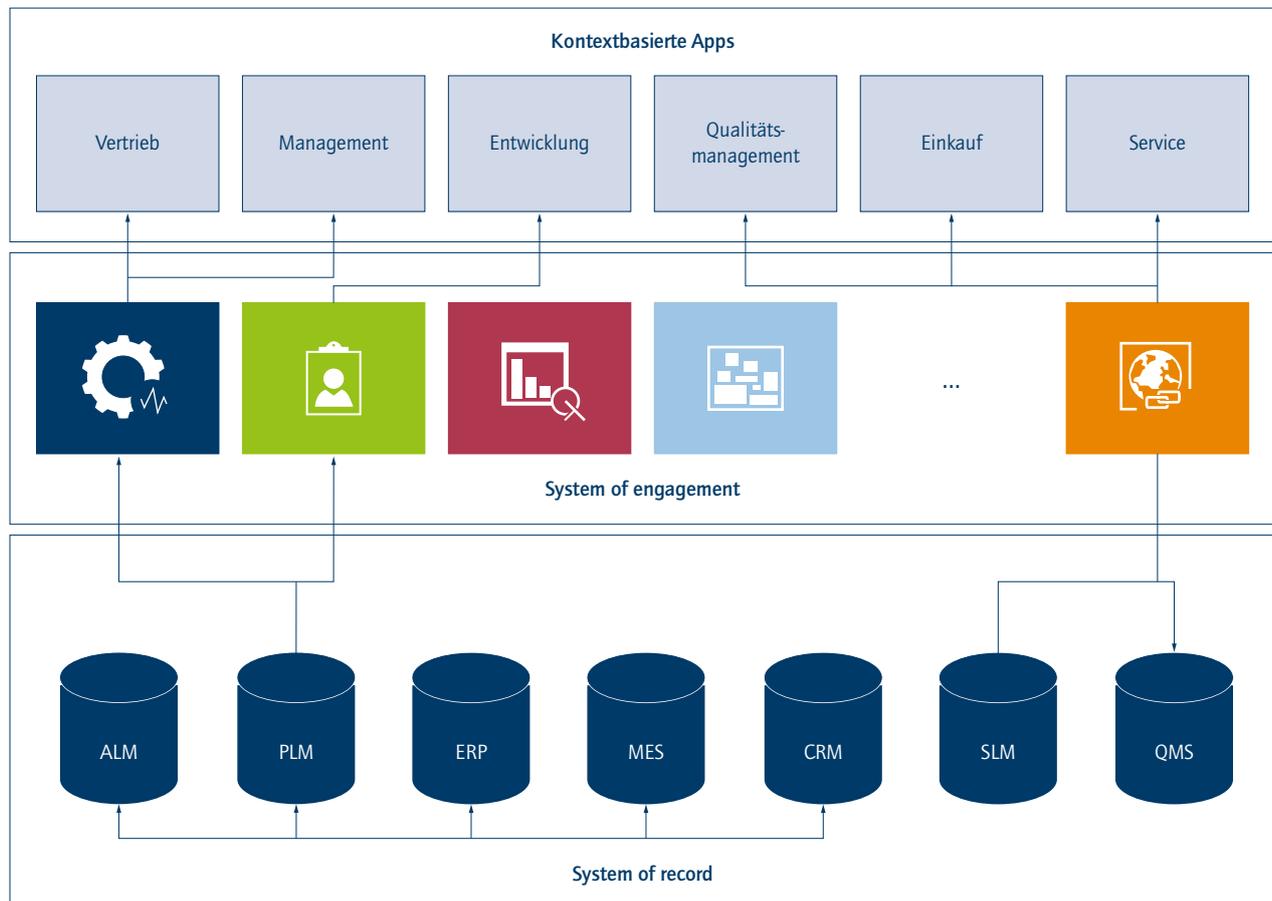


Abbildung 11: Interaktion und Kollaboration mit Anwenderinnen und Anwendern (System of engagement) statt linearer Geschäftsprozesse (System of record) (Quelle: eigene Darstellung)

erfolgt für den jeweiligen Kontext eine passende Aufbereitung und Zustellung der Informationen (Push-Prinzip). Erfolgreiche Unternehmen orientieren sich dabei in der Umsetzung durch eine effizient und effektiv definierte Informationslogistik, wodurch die Bereitstellung der richtigen Informationen am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der richtigen Qualität, an die richtige Person und in der richtigen Menge sichergestellt wird. Beispielsweise können komplexe Montageschritte durch eine kontextgeführte 3-D-Animation einfach dargestellt werden. Weitere Beispiele sind die Aufbereitung prognostizierter Fertigstellungstermine der Aufträge für die Produktionssteuerung sowie Ausfallursachen und vertiefende Informationen für die Instandhaltung.

Apps stellen eine Möglichkeit dar, ausschließlich relevante Informationen verfügbar zu machen. Sie beziehen die benötigten Informationen aus den darunterliegenden IT-Systemen und unterstützen die Beschäftigten somit bei der Erfüllung ihrer Aufgaben.

#### Anwendungsgerechte Benutzerschnittstellen einsetzen

Die bereitgestellten Informationen müssen kontinuierlich mit dem Bedarf der Empfängerin und des Empfängers abgeglichen und die Darstellungsform an die Nutzung der Informationen angepasst werden. Die Aufbereitungs- und Visualisierungsform ist an Aufgabe und Qualifikationsniveau der Beschäftigten anzupassen. Mögliche Formen einer solchen anwendungsgerechten Benutzerschnittstelle sind Tabellen, Animationen oder Sprache. Dabei erhalten die Beschäftigten Daten nicht nur angezeigt, sondern werden beispielsweise mittels Sprache durch den Prozess geführt.

#### Resiliente IT-Infrastruktur aufbauen und Daten situationsabhängig bereithalten

Die Analyse und anschließende Bereitstellung der Daten basiert auf einer resilienten IT-Infrastruktur, die den technischen Anforderungen hinsichtlich Aufnahme, Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Daten gerecht wird sowie Funktionalitäten der



IT-Systeme sicherstellt. Hierbei wird die technische Leistungsfähigkeit der IT-Infrastruktur kontinuierlich an die Anforderungen angepasst. Möglich wird dies durch redundante Datenhaltung oder Systemauslegung. Die Redundanzen können in Abhängigkeit der Ausrichtung intern oder cloudbasiert erfolgen. Sicherungskopien oder spezielle Software schützen vor Gefahren für Personen und Sachwerte und gewährleisten eine langfristige Nutzung der Systeme. Eine situationsabhängige Datenhaltung stellt den Zugriff auf die Daten in einer angemessenen Zeit sicher. In-Memory-Datenbanken ermöglichen den häufigen Zugriff auf Daten, um eine schnelle und stabile Nutzung zur Entscheidungsfindung zu ermöglichen.

#### 4.2.2 Integration der Informationssysteme

Integrierte Informationssysteme streben die gemeinsame Nutzung von Daten in der Wertschöpfung an. Das Gestaltungsprinzip Integration zielt auf eine Integration vorhandener IT-Systeme ab, um den Zugriff und die Verwendung der Daten und Informationen zu ermöglichen.

##### Informationssysteme vertikal und horizontal integrieren

Die gemeinsame Nutzung von Daten in der Wertschöpfungskette wird durch Informationssysteme ermöglicht, die vollständig vertikal und horizontal integriert sind. Entlang der Wertschöpfungskette findet ein durchgängiger Informationsaustausch zwischen den IT-Systemen statt, sodass die Auftragsinformationen jederzeit mit den Produkt- und Kundeninformationen verknüpft sind und alle Anwenderinnen und Anwender auf die gleiche Datengrundlage zugreifen. Dies stellt die Abkehr von bestehenden überkomplexen Architekturen mit redundanter Datenhaltung dar. Das führende IT-System mit den Auftragsinformationen ist dazu mit den Produktions- und Planungssystemen bis zur Maschinen- und Feldebene verknüpft. Die Maschinen melden den Auftragsstatus nach Beendigung automatisch zurück.

Es entsteht eine „Single Source of Truth“. Dies meint die Ablage von Informationen in einem einzigen führenden Informationssystem, auf das alle Nutzerinnen und Nutzer in der Wertschöpfungskette zugreifen. Aktuell liegen Produkt- und Konstruktionsdaten häufig in einem PLM-System und Auftragsdaten in einem ERP-System vor, während die dazugehörigen Kundendaten in einem Customer-Relationship-Management (CRM)-System abgelegt werden. Die Funktionsbereiche Entwicklung, Produktion und Vertrieb greifen meist auf eigene Daten zurück. Änderungen in einem der Funktionsbereiche werden von den beiden anderen

nicht genutzt. Agile Unternehmen benötigen daher eine Plattform, die Anwenderinnen und Anwendern die benötigten Informationen anbietet und die einfache Ablage von Daten und Informationen ermöglicht. Zudem muss Transparenz über die eingesetzten IT-Systeme vorliegen und es darf von Fachabteilungen keine Schatten-IT eingesetzt werden, die sich nicht im Betreuungsbereich der IT-Abteilung befindet.

##### Datenschnittstellen standardisieren

Eine „Single Source of Truth“ verlangt keine zentrale Ablage, sondern eine Verknüpfung vorhandener IT-Systeme durch standardisierte Datenschnittstellen. Diese ermöglichen den Austausch von Daten und Informationen aus einzelnen IT-Systemen und sind daher in Abhängigkeit des benötigten Informationsflusses zu wählen. Um diesen und damit den Austausch der Daten jederzeit bei einem Wechsel von Informationssystemen agil anzupassen, bedarf es neutraler oder standardisierter Schnittstellen und Datenaustauschformate zwischen den Systemen,<sup>19</sup> bei denen ein offenes Format verwendet wird, das im Rahmen der jeweiligen Applikationskategorie allgemeingültig ist. Ein Beispiel einer standardisierten Schnittstelle, die insbesondere im Bereich von Industrie 4.0 eingesetzt wird, ist das OPCUA-Werk<sup>20</sup> für die Schnittstellen zwischen Maschinen.

##### Data Governance umsetzen

Neben den Datenschnittstellen basiert die Integration der IT-Systeme auf einer hinreichenden Datenqualität. Falsch aggregierte Daten sowie falsche Rückmeldungen führen dazu, dass das Vertrauen in IT-Systeme und die enthaltenen Daten abnimmt. Das Ziel, Entscheidungen datenbasiert zu treffen, wird damit verfehlt. Gefordert sind nicht nur technische, sondern insbesondere organisatorische Fähigkeiten in den Unternehmen, um die Qualität der Daten zu erhöhen. Data Governance-Richtlinien machen Vorgaben für die Verarbeitung, Speicherung, Pflege und Darstellung hochqualitativer Daten im Unternehmen. Eine automatisierte Datenbereinigung (Identifizierung, Standardisierung, Dublettenbereinigung, Konsolidierung und Anreicherung von Daten) oder Stammdatenmanagement-Systeme sind technische Fähigkeiten zur Verbesserung der Datenqualität.

##### IT-Sicherheit ausbauen

Die zunehmende Integration der Informationssysteme, aber auch der Mensch und andere Faktoren bergen Gefahren für kriminelle Angriffe, da der potenzielle Schaden äquivalent zum Grad der Integration ansteigt. Die IT-Sicherheit umfasst Vorgehensweisen zum Identifizieren und Umsetzen von Sicherheitsmaßnahmen.

19 | Vgl. Schuh et al. 2014, S. 288.

20 | Die OPC Unified Architecture (OPC UA) ist ein industrielles und herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll für den Informationsaustausch zwischen Maschinen.

Das Risiko kann durch die Erfüllung bestehender Normen wie der IEC 62443 beherrscht werden. Beinhaltet sind proaktive Maßnahmen, um die IT-Sicherheit aufrechtzuerhalten und an sich verändernde Rahmenbedingungen anzupassen. Darunter fallen Fragen zur Verwaltung von Werten, die Identifizierung und Authentifizierung von Nutzerinnen und Nutzern, Systemintegritätsprüfung oder Datenflusskontrolle, aber auch die Reaktion auf bereits eingetretene IT-Sicherheitsvorfälle.

### 4.2.3 Zusammenfassung

In Abbildung 12 ist die Ausprägung der Informationssysteme eines produzierenden Unternehmens auf der sechsten Reifegradstufe „Adaptierbarkeit“ dargestellt. Daten werden in einer hohen Qualität zentral gehalten und automatisiert ausgewertet. Die Auswertung und Verarbeitung ist als selbstlernend gekennzeichnet, da sich Informationssysteme fortlaufend an neue Gegebenheiten anpassen. Das gewonnene Wissen wird den Beschäftigten kontextbasiert bereitgestellt und unterstützt sie bei ihren Aufgaben. Ermöglicht wird dies durch integrierte Informationssysteme. Eine horizontale und vertikale Vernetzung sowie standardisierte Schnittstellen gewährleisten eine hohe Flexibilität der Informationssysteme.

## 4.3 Organisationsstruktur

Der Wandel zum lernenden, agilen Unternehmen wird durch die oben beschriebenen Technologien ermöglicht, muss aber durch die entsprechende Organisationsstruktur umgesetzt werden. Unter Organisationsstruktur wird in diesem Modell sowohl die interne Organisation eines Unternehmens in Form der Aufbau- und Ablauforganisation als auch die Positionierung eines Unternehmens im Wertschöpfungsnetzwerk zusammengefasst. Im Unterschied zum später skizzierten Gestaltungsfeld „Kultur“, beschreibt die „Organisationsstruktur“ die notwendigen Regeln und Strukturen, um die Kollaboration sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens zu organisieren. „Kultur“ hingegen umfasst das Wertesystem innerhalb des Unternehmens und beschreibt somit die „weichen“ Faktoren der Zusammenarbeit. Nichtsdestotrotz sind beide Handlungsfelder voneinander abhängig und müssen aufeinander abgestimmt sein.

Das Gestaltungsfeld Organisationsstruktur wird durch die beiden Prinzipien **Organische interne Organisation** und **Dynamische Kollaboration** im Wertschöpfungsnetzwerk aufgespannt und beschreibt die Organisation dieser sowohl aus der internen als auch aus der externen Perspektive (siehe Abbildung 13).

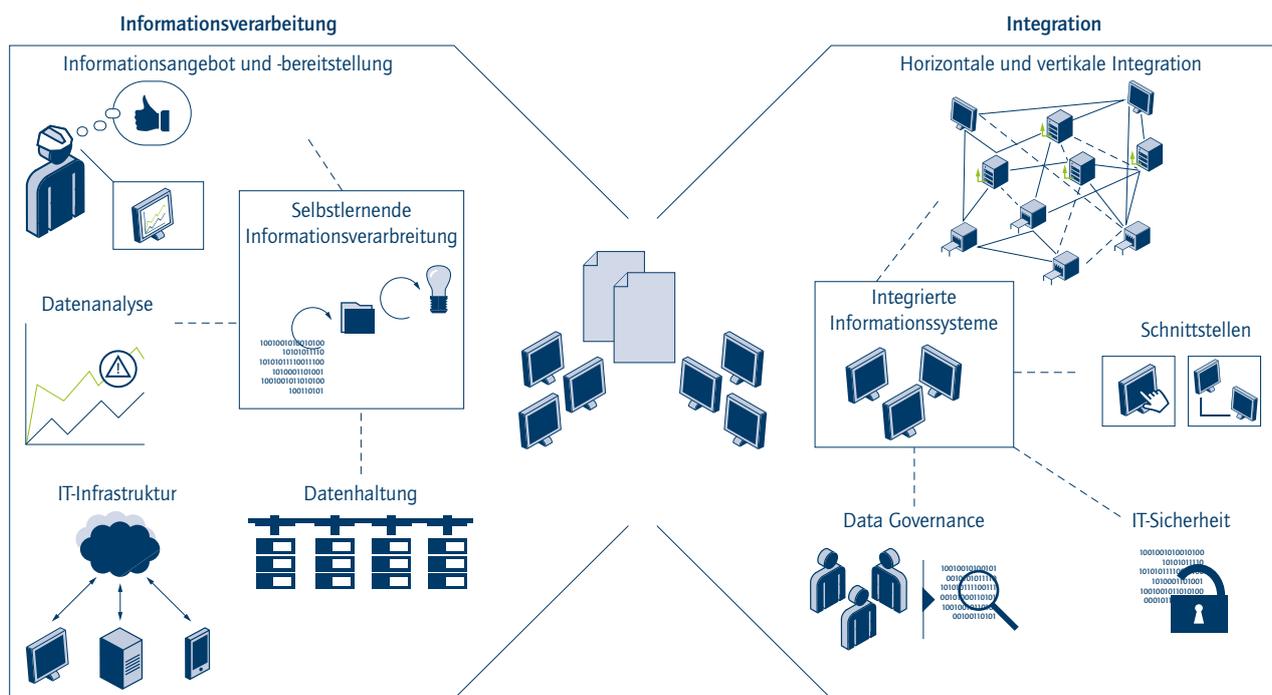


Abbildung 12: Notwendige Fähigkeiten im Gestaltungsfeld Informationssysteme (Quelle: eigene Darstellung)

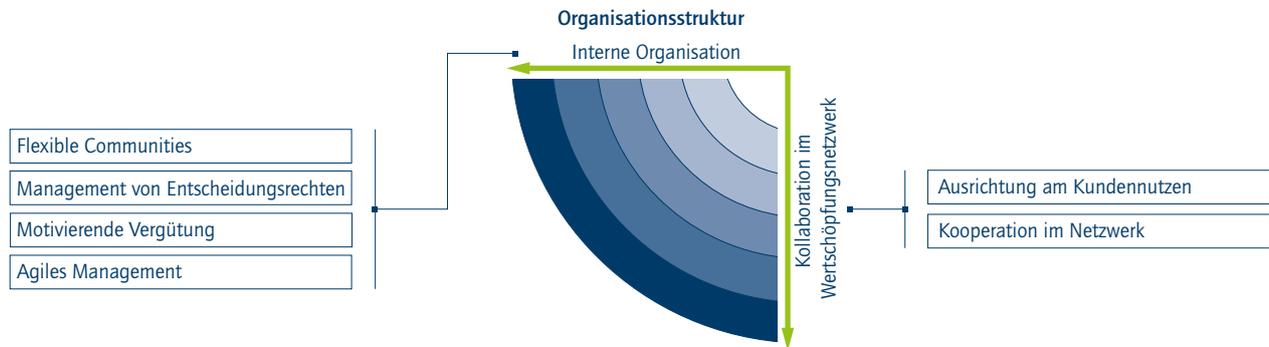


Abbildung 13: Fähigkeiten des Gestaltungsfelds Organisationsstruktur (Quelle: eigene Darstellung)

### 4.3.1 Organische interne Organisation

Die organische Organisation stellt den Gegenpol zur mechanistischen Organisation dar. Sie zeichnet sich durch geringe Kontrolle und ein hohes Maß an Eigenverantwortung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus. Dadurch ist sie insbesondere geeignet für Organisationen in einem dynamischen Umfeld mit gut qualifizierten Beschäftigten.<sup>21</sup>

#### Flexible Communities

Eine agile Organisation erfordert eine dynamische Konfiguration der notwendigen Ressourcen im Unternehmen. Für die Aufbauorganisation bedeutet das einen häufigen und regelmäßigen Wechsel der Assignments der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter – also ihres Aufgabenspektrums und ihrer Zugehörigkeit zu den Teams. Dabei werden sie nach wie vor einer bestimmten Abteilung im Organigramm zugeordnet sein. Die tatsächliche Tätigkeit erfolgt in aufgaben- oder zielorientierten Teams. Gleichzeitig müssen die Rahmenbedingungen für eine Vernetzung von Expertinnen und Experten zu einem gewissen Thema im Unternehmen geschaffen werden. Hierfür werden parallel Teams zu speziellen Expertenthemen etabliert. Mit diesem Ansatz wird eine Reduktion von Schnittstellenverlusten und eine Bündelung von Kompetenzen verfolgt. Hierdurch wird eine kongruente Ausrichtung verschiedener Kompetenzen aus verschiedenen Bereichen eines Unternehmens auf ein gemeinsames Ziel erreicht. Eine zunehmend bedarfsgerechte Zusammenarbeit in individuellen Teams muss organisatorisch ermöglicht werden.<sup>22</sup>

Dieser Ansatz mündet im Konzept der Communities. Rund um ein bestimmtes Themenfeld (zum Beispiel Implementierung einer neuen IT-Lösung) oder eine spezifische Aufgabe (zum

Beispiel Betrieb der Fräszentren) werden organisatorische Einheiten gebildet. Diese können unbefristet bestehen und das Tagesgeschäft abbilden. Genauso können sie einen Projektcharakter besitzen und kurzfristig zusammengestellt und aufgelöst werden. Ziel dieser Organisationsform ist es, dass die Beschäftigten, die für eine bestimmte Fragestellung die richtige Kompetenz aufweisen, an dieser arbeiten können – unabhängig von der Hierarchie und der Fachabteilung. Gleichzeitig wird durch diese Organisationsform eine schnelle Reaktion auf neue Ereignisse und Erkenntnisse ermöglicht. So ist es in Unternehmen wie Google nicht unüblich, dass sich spontan kleine Teams zu einem bestimmten Thema zusammenfinden, innerhalb von wenigen Tagen oder Wochen einen Prototyp bauen und auf dieser Basis eine Bewertung stattfindet, ob das Thema weiterverfolgt wird.

Diese Organisationsform unterliegt einigen Restriktionen. Selbstverständlich sollte die effiziente Erfüllung täglicher Routinen nicht unter diesem Konzept leiden. Deshalb ist es sinnvoll, die Flexibilität bei Prozessen, die ein hohes Maß an Effizienz und Stabilität erfordern, zu minimieren. Die Vorteile dieses Ansatzes treten in erster Linie bei kreativen Aufgaben und bei der Lösung von komplexeren Problemstellungen zutage. Hier werden die Stärken der Beschäftigten durch die flexible Teilnahme an diversen Communities bestmöglich genutzt. Agile Organisationen meistern mit diesem Ansatz den Spagat zwischen stabilen Prozessen und einer hohen Anpassungsfähigkeit.<sup>23</sup>

Mit der Einführung einer derartigen Organisation geht ein zunehmendes Maß an Komplexität für das Management einher, da alle Beschäftigten in einer für sie spezifischen Auswahl an Communities aktiv sind und diese sich zudem regelmäßig verändert. IT-basierte Kollaborationsplattformen können die Kompetenzprofile

21 | Vgl. Burns/Stalker 2001.

22 | Vgl. Jassawalla/Sashittal 1999; Love/Roper 2001.

23 | Vgl. McGrath 2012.

der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Zusammenarbeit in Communities transparent machen, Kommunikation ermöglichen und das Management von Aufgaben unterstützen. Unternehmen werden sich außerdem mit neuen Technologien auseinandersetzen müssen, die die Umsetzung dieser flexiblen Communities unterstützen. Hierzu zählen intuitive, kontextsensitive Augmented-Reality-Lösungen, die die Beschäftigten sicher in neue Aufgaben einweisen.

### Management von Entscheidungsrechten

Bei der Verteilung von Entscheidungsbefugnissen beziehungsweise der Auswahl des optimalen Entscheidungsmodus sind zwei gegenläufige Mechanismen zu beachten: Um die richtige Entscheidung treffen zu können, müssen alle relevanten Informationen vorliegen. Werden Entscheidungen dezentral getroffen, sind dezentrale Entscheidungsträger besser über den konkreten Sachverhalt informiert, da sie stärker in die Fragestellungen involviert sind. Um die gleiche Entscheidungsgüte bei einer zentralen Entscheidung herzustellen, ist ein höherer Aufwand für den Informationstransport erforderlich. Auf der anderen Seite verursachen auch dezentrale Entscheidungen einen Aufwand, da sie entweder nicht aufeinander abgestimmt sind und daher gegebenenfalls nicht das übergeordnete Ziel des Unternehmens im Blick haben oder durch einen zusätzlichen Managementaufwand auf die Unternehmensziele abgestimmt werden müssen. Aus diesem Grund sind bestimmte Entscheidungen zentral zu treffen. Hierzu zählen beispielsweise die Strategiedefinition des Unternehmens. Andere Entscheidungen lassen sich dezentral wirtschaftlicher treffen.<sup>24</sup>

Mit Industrie 4.0 geht eine bessere Informationsverfügbarkeit einher. Die Konsequenzen einer Entscheidung und deren Ausrichtung an den Unternehmenszielen können auch dezentral transparent gemacht werden und ermöglichen so eine schnellere und bessere Entscheidungsfindung an dezentraler Stelle. Ebenso können kollektive Entscheidungsprozesse gewählt werden. Dabei sollen jene Beteiligten im Unternehmen zusammengeführt werden, die für die gegebene Fragestellung die höchste Kompetenz besitzen.<sup>25</sup> Beispielsweise kann die Besetzung bestimmter Fach-Communities durch eine Art Peer-Review-Prozess bestimmt werden. Das Potenzial neuer Entwicklungsprojekte kann durch die gesamte Belegschaft anstelle eines kleinen Kreises an Führungskräften bewertet werden. Die Fähigkeit eines Unternehmens besteht im Management von Entscheidungsbefugnissen in

dem erläuterten Spannungsfeld zwischen Zentralisierung und Dezentralisierung, um möglichst effektive und effiziente Entscheidungsprozesse zu ermöglichen.

### Motivierende Zielsysteme

Um die zusätzlichen Freiheitsgrade der Beschäftigten zu kanalisieren und auf das übergeordnete Ziel des Unternehmens – den Kundennutzen – auszurichten, sind entsprechende Zielsysteme notwendig.<sup>26</sup> Zu kleingliedrig definierte Zielvorgaben, die eindimensional gemessen werden (zum Beispiel Stückzahl) führen zu lokaler Optimierung und einem „Silo-Denken“. Es bedarf mehrdimensionaler Zielsysteme, die die Arbeit aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowohl im Hinblick auf Effizienz in den Prozessen als auch auf die kontinuierliche Weiterentwicklung ausrichten. Dabei sind völlig neue Kompetenzen nötig, etwa das Controlling einer Community oder die Erfolgsmessung von Expertenteams. Ein Beispiel für ein mögliches Ziel einer oder eines Beschäftigten aus dem Umfeld der Entwicklung könnte sein, eine gewisse Anzahl externer Vorträge auf Fachkonferenzen zu halten, um gezielt die kritische Reflexion der eigenen Ideen durch Dritte zu fördern.

Unmittelbar mit den Zielsystemen gehen die Vergütungssysteme einher. Diese dürfen nicht in einer rein transaktionalen Organisation resultieren,<sup>27</sup> bei der die einzige Motivation der Beschäftigten in der Bezahlung liegt. Das Zusammenspiel aus Zielsystem und Vergütung sollte den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ein gewisses Maß an Sicherheit und Fehlertoleranz vermitteln und sie gleichzeitig motivieren, sich mit all ihren Fähigkeiten in die Organisation einzubringen. Hierfür ist die richtige Mischung aus monetären und nicht-monetären Anreizen notwendig, wie etwa Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten, Entwicklungsperspektiven und individuelle Freiheitsgrade.<sup>28</sup>

### Agiles Management

Durch unklare oder sich verändernde Anforderungen versagen klassische starre Entwicklungsprozesse in einem dynamischen Umfeld. Es sind Ansätze gefordert, die sich durch frühe Prototypen, greifbare (Zwischen-)Ergebnisse und hochfrequente Feedbackzyklen mit den Stakeholdern auszeichnen. Agil organisierte Entwicklungsprojekte folgen dem Prinzip, Annahmen und Hypothesen, die über das Produkt oder das Ergebnis getroffen wurden, so früh wie möglich unter realen Bedingungen zu validieren. Dafür findet eine Fokussierung auf die zentralen Funktionalitäten

24 | Vgl. Jensen 1998.

25 | Vgl. Schulte-Zurhausen 2014, S. 207ff.

26 | Vgl. Andersen et al. 2006.

27 | Vgl. Grunau 2014, S. 28f.

28 | Vgl. Sturm et al. 2011; Afshari/Gibson 2016.



eines Produkts statt, die in einem sogenannten „Minimum Viable Product“ (MVP) umgesetzt werden.<sup>29</sup> Dabei handelt es sich um marktfähige Produkte, die einen sehr schmalen Funktionsumfang besitzen. Sie können direkt am Markt getestet werden und ermöglichen eine systematische und schnelle Weiterentwicklung des Produkts auf Basis der Kundenrückmeldungen.

Diese Ansätze lassen sich sowohl auf die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen als auch auf das Management von internen Projekten anwenden. Physische Produktionsprozesse können mit digitalen Prozessmodellen abgeglichen werden, um Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren. Ein anderes Beispiel für diese Art von Prozess ist der aus der Softwareentwicklung stammende Scrum-Ansatz.<sup>30</sup> Diese Vorgehensweise unterstützt die kontinuierliche Weiterentwicklung, indem aus Daten gelernt wird – gemäß der Devise: „klein anfangen und schnell hochskalieren“.

Anschlussfähige Produkte mit zunehmend softwarebasierten Funktionalitäten unterstützen ein derartiges Vorgehen. Das tatsächliche Nutzerverhalten lässt sich datenbasiert und in der Fläche beobachten. Funktionalitäten können verbessert, nachträglich freigeschaltet oder sogar deaktiviert werden. Eine integrierte Systemlandschaft katalysiert den Einsatz derartiger Methoden auch intern. Änderungen, etwa an der Konstruktion, werden automatisiert an alle relevanten Stellen weitergegeben (zum Beispiel in Form neuer Arbeitspläne).

#### 4.3.2 Dynamische Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk

Der reibungslose und automatisierte Informationsaustausch zwischen Unternehmen ermöglicht eine dynamischere Zusammenarbeit und größere Markttransparenz. Hürden für eine Flexibilisierung wie manuelle Anfrage-, Bestell- und Auftragsabwicklungsprozesse werden hierdurch reduziert. Die Transparenz operativer Prozesse kann durch den Einsatz heutiger IoT-Technologien deutlich ausgeweitet werden, zum Beispiel auf den aktuellen Produktionsstatus des Zulieferers oder dessen Qualitätsniveau. Das Ergebnis ist ein effektiverer Austausch von Informationen, Gütern und Dienstleistungen.

##### Ausrichtung am Kundennutzen

Das Konzept der Kernkompetenzen<sup>31</sup> oder der strategischen Erfolgspositionen<sup>32</sup> besagt, dass ein Unternehmen sich klar auf

einige wenige Kompetenzen fokussieren soll und damit Einzigartigkeit am Markt erlangt. Das Konzept bekommt im Zuge transparenterer Märkte und einer zunehmend vernetzten und dynamischen Wertschöpfung eine noch größere Bedeutung. Es ist davon auszugehen, dass die Idee des dynamischen Marktplatzes wesentlich an Bedeutung gewinnen wird. Auf einem transparenten Markt mit funktionierenden Marktmechanismen gewinnt der Anbieter, der die Nachfrage individuell am besten befriedigen kann.

Konkret stellt sich Unternehmen die Frage, welchen Beitrag sie für die Befriedigung des Bedürfnisses der Endkundinnen und -kunden leisten können. Auch wenn das Unternehmen diese nicht direkt beliefert, ist sein Produkt oder seine Leistung Bestandteil einer Lösung für die Endkundin oder den Endkunden. Je besser der Beitrag der einzelnen Partner zu dieser Lösung ist, desto besser kann sich das Unternehmen zur Konkurrenz abgrenzen. Beispielhaft sei ein Wälzlagerhersteller genannt. Dieser hat nicht nur die direkten Anforderungen des Anlagenbauers im Blick, sondern betrachtet auch die Nutzung seiner Komponenten durch die Endkundinnen oder -kunden der Anlage. Ihnen bietet er zusätzliche Dienstleistungen für den effizienten Betrieb der Anlage, indem er die Zustandsdaten der Wälzlager mithilfe einer Cloudlösung auswertet. Durch dieses tiefgreifende Verständnis für die Bedürfnisse der Endkundinnen und -kunden ist der Wälzlagerhersteller auch für seine direkten Kunden attraktiver als Wettbewerber.

Die geforderte Fähigkeit von Unternehmen besteht darin, die eigenen Kompetenzen immer wieder zu überprüfen und gegebenenfalls neuen Gegebenheiten anzupassen. Außerdem ist zu definieren, welche Rolle grundsätzlich im Wertschöpfungsnetzwerk eingenommen werden soll. Sowohl das gezielte Einbringen spezieller Kompetenzen in eine Gesamtlösung als auch die Integration verschiedener Einzellösungen können erfolgversprechend sein.

##### Kooperation im Netzwerk

Es kann eine bewusste unternehmerische Strategie sein, zum Beispiel bestimmte Produktionsschritte oder Transportleistungen auszulagern oder sich selbst als Anbieter bestimmter Kompetenzen im Wertschöpfungsnetzwerk zu positionieren. Findet ein systematisches Zusammenstellen von Kompetenzen verschiedener Partner statt, spricht man von Kompetenzmanagement.<sup>33</sup> Indem Unternehmen ihre Kompetenzen bedarfsgerecht bündeln, kann schneller auf sich wandelnde Marktanforderungen reagiert

29 | Vgl. Ries 2011.

30 | Vgl. Reichwald/Piller 2009, S. 115ff.

31 | Vgl. Prahalad/Hamel 1990.

32 | Vgl. Porter 1989; Pümpin/Amann 2005, S. 30ff.

33 | Vgl. Schuh/Kampker 2011, S. 504f.

werden. In Kooperation lassen sich neue Produkte entwickeln und anbieten, die die einzelnen Partner alleine nicht oder nur durch langfristigen Kompetenzaufbau im Unternehmen umsetzen könnten.

Für wenig komplexe, standardisierte Leistungen (zum Beispiel in der Logistik) bestehen schon heute flexible Marktplätze, die den gesamten Markt steuern. Eine Herausforderung besteht hierbei in der Beschreibung der auszutauschenden Leistungen. Diese müssen sehr präzise beschrieben sein, damit sie gehandelt werden können. Wollen Unternehmen kollaborieren, die noch keine Erfahrungen in der gemeinsamen Zusammenarbeit gemacht haben und zwischen denen kein Vertrauensverhältnis besteht, übersteigt die Aushandlung der Kooperationsvereinbarungen vermutlich den Nutzen einer kurzfristigen, möglicherweise einmaligen Kooperation.

In diesem Zusammenhang spielt die Verwaltung von Rechten eine wichtige Rolle. Der reibungslose Austausch von sensiblen Daten, zum Beispiel CAD-Modellen, birgt das Risiko, dass die Daten nicht nur für den vorgesehenen Zweck genutzt werden. Aus diesem Grund müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die

Datennutzung präzise auf den definierten Fall eingrenzen zu können. Beispielsweise darf ein CAD-Modell für ein 3-D-gedrucktes Ersatzteil nur einmalig durch den Käufer genutzt werden können.

### 4.3.3 Zusammenfassung

Unternehmen können sich dem Zielzustand des flexiblen und offenen Marktplatzes nähern, indem sie zunächst die Kollaboration in bereits bestehenden Netzwerken effizienter gestalten. Horizontale Integration der Auftragsdaten sowie universelle Datenaustauschplattformen (zum Beispiel für gemeinsame Entwicklungsprojekte) wirken als Katalysator für die Kooperation.

In Abbildung 14 sind die Kernaspekte des Gestaltungsfelds „Organisationsstruktur“ auf dem Reifegrad „Anpassungsfähigkeit“ zusammenfassend dargestellt. Auf der linken Seite ist die interne Perspektive auf das jeweilige Unternehmen skizziert. Diese ist durch agile Strukturen, zum Beispiel in Form von internen Communities, und agiles Management gekennzeichnet. Auf der rechten Seite ist die externe Perspektive dargestellt, die durch den Gedanken des Marktplatzes charakterisiert ist, auf dem Wertschöpfungsketten auftragspezifisch konfiguriert werden.

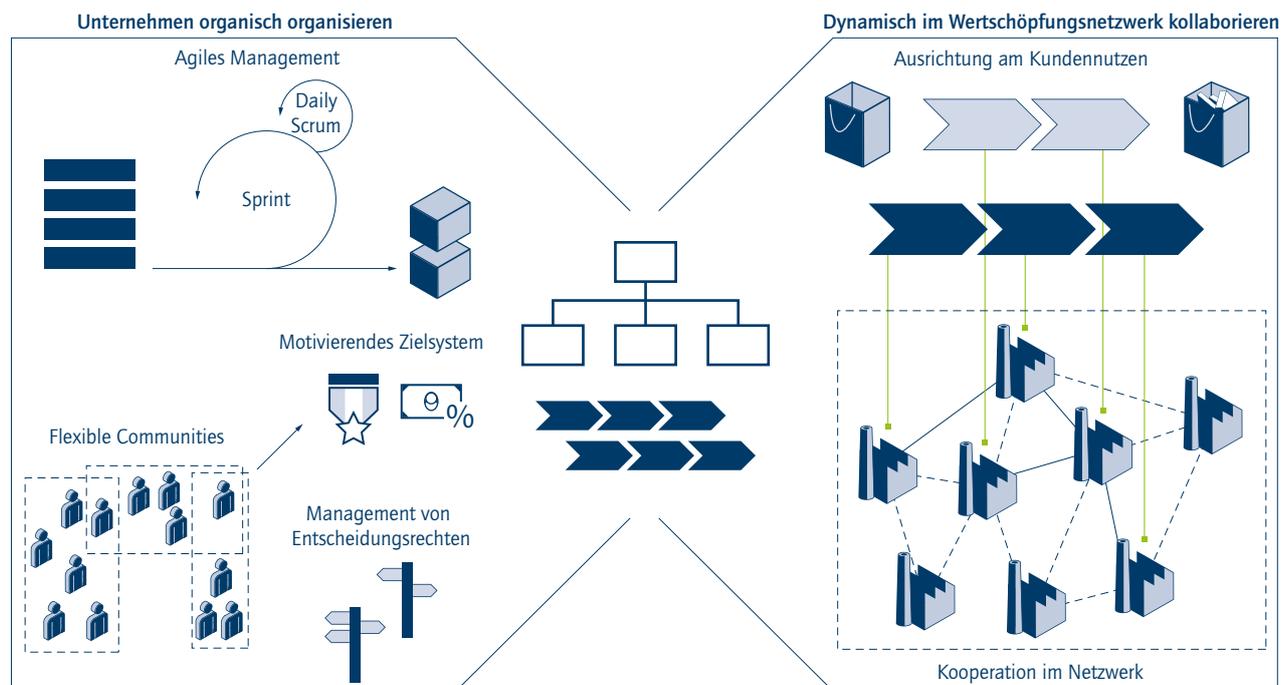


Abbildung 14: Notwendige Fähigkeiten im Gestaltungsfeld Organisationsstruktur (Quelle: eigene Darstellung)



## 4.4 Kultur

Die Agilität eines Unternehmens wird maßgeblich vom Verhalten der Beschäftigten bestimmt. Die Erfahrungen der neunziger und zweitausender Jahre zeigen, dass die erfolgreiche, unternehmensweite Umsetzung von Lean Management in erster Linie von einem Kulturwandel abhängt, der sich in den Köpfen der beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu vollziehen hat. Gleiches gilt für die digitale Transformation zum lernenden, agilen Unternehmen in Industrie 4.0. Digitale Technologien einzuführen, ohne das Augenmerk auf die innerbetriebliche Kultur zu legen, wird Unternehmen nicht die angestrebte Agilität verleihen. Stattdessen sind zuerst die Fragen zu klären, wie innerbetriebliche Verhaltensweisen von morgen gestaltet sein sollen und welche Fähigkeiten die Beschäftigten benötigen. Erst auf Basis dieser Aspekte lassen sich Technologien identifizieren und einführen, die die angestrebte Arbeitsweise unterstützen. Ein Beispiel hierfür stellen digitale Assistenzsysteme dar. Deren Einführung allein erzeugt für ein Unternehmen jedoch keinen Nutzen. Erst wenn eine Unternehmenskultur herrscht, in der die Beschäftigten einem solchen System vertrauen und sich auf dessen Ratschläge verlassen, können digitale Assistenzsysteme einen wirksamen Beitrag leisten.

Die erforderliche Veränderung der Unternehmenskultur spiegelt sich in zwei zentralen Fragestellungen wider:

Inwieweit sind die Beschäftigten bereit, ihr eigenes Verhalten bei Bedarf kontinuierlich zu überprüfen und anzupassen?  
 Die Bereitschaft aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für Veränderung stellt dabei den Idealzustand dar. Diese Bereitschaft ist dabei nicht allein auf die Umsetzung von Veränderungen zu beziehen. Vielmehr umfasst die Bereitschaft zur Veränderung,

die eigene Umwelt und die Unternehmensumwelt mit offenen Augen zu beobachten, Chancen und Bedarfe für Veränderung zu erkennen und Veränderungsmaßnahmen zu initiieren. Aus dem ersten Prinzip der Kultur, der Bereitschaft zur Veränderung, erwächst Agilität.

Inwieweit erachten die Beschäftigten daten- und faktenbasiertes Wissen als maßgeblich handlungsleitend?

Die Haltung, ausschließlich auf Basis von Wissen zu handeln, stellt den Idealzustand dar. Unter dem Begriff Wissen ist jegliches Wissen zu verstehen, das durch gezielte Beobachtungen – per Zufall, auf Basis von datenbasierten Analysen oder aus der praktischen Erfahrung heraus – gewonnen wurde. Ein vertrauensvoller, sozialer Umgang stellt das Fundament für einen offenen, ungebremsten Wissensaustausch zwischen den Beschäftigten dar. Das zweite Prinzip der Kultur, die soziale Kollaboration, beschleunigt den Wissensaustausch im Unternehmen. Abbildung 15 veranschaulicht die benötigten Fähigkeiten des Gestaltungsfelds Kultur.

### 4.4.1 Bereitschaft zur Veränderung

Das erste Prinzip des Gestaltungsfelds Kultur beruht auf fünf Fähigkeiten, die die Beschäftigten lernender, agiler Unternehmen beherrschen. Die Fähigkeiten sind nicht isoliert zu betrachten, sondern resultieren erst aus dem Zusammenspiel der Bereitschaft zur Veränderung.

#### Fehler als Schätze

Lernende, agile Unternehmen messen Fehlern eine hohe Bedeutung bei. Solche Unternehmen haben erkannt, dass Lern- und Veränderungsprozesse erst durch das Auftreten von Fehlern beginnen. Diese bieten die Möglichkeit, die

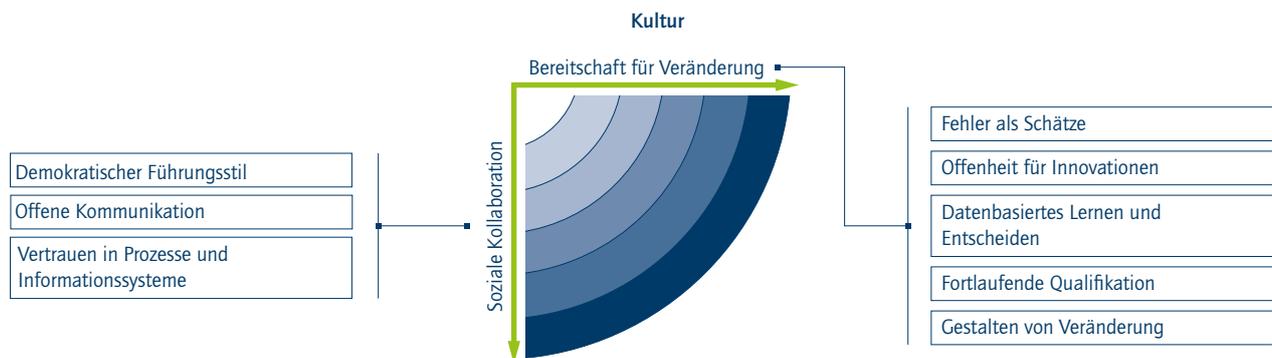


Abbildung 15: Fähigkeiten des Gestaltungsfelds Kultur (Quelle: eigene Darstellung)

Unternehmensabläufe besser zu verstehen und bisher unbekannte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge offenzulegen. Daher spielt der Umgang mit Fehlern eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Unternehmenskultur.

Hier lassen sich zwei gegensätzliche Formen des Umgangs unterscheiden: Eine negative Haltung gegenüber Fehlern zeigt sich in einer Strategie der konsequenten Fehlervermeidung, einer rigorosen Sanktionierung von Fehlern sowie einer möglichst raschen, lautlosen Fehlerbehebung. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Unternehmen mit einer solchen Fehlerkultur sind üblicherweise nicht bereit, Fehler offenzulegen. Diese Einstellung hemmt die Veränderungsbereitschaft. Demgegenüber stehen ein offener Austausch zu aufgetretenen Fehlern, deren konsequente Dokumentation und eine zielstrebige Suche nach Ursachen und Lösungen für eine Fehlerkultur, die Fehler als „Schätze“ bewertet. Es ist von zentraler Bedeutung, dass bei der Aufarbeitung von Fehlern nicht die Suche nach Schuldigen im Vordergrund steht, sondern das Verständnis für die Ursachen.

#### Offenheit für Innovationen

Erst durch ein umfassendes Verständnis für die Funktionsweise neuer Technologien und Ansätze lassen sich diese nutzenstiftend im Unternehmen integrieren. Der Nutzen aus Innovationen ist dabei nicht immer direkt ersichtlich, da die zugrunde liegenden Technologien zunächst unbekannt sind und noch keine Anwendung im Unternehmen finden. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz von datenbasierten Assistenzsystemen in der Landwirtschaft. Bei der Ernte von Nutzpflanzen kann eine optimierte Routenführung über das Feld bis zu zwanzig Prozent mehr Ertrag einbringen. Auf dem Markt sind Systeme verfügbar, die Routenoptimierungen auf Basis von Umweltbedingungen und Füllständen berechnen. Dennoch handeln viele Landwirtinnen und Landwirte nach dem Motto: „Das haben wir schon immer so gemacht.“ Erst als ein Landtechnikhersteller sein System kostenfrei zum Ausprobieren installierte und seinen Kundinnen und Kunden einen direkten Nutzen daraus erkannten, waren sie bereit, alte Gepflogenheiten zu ändern. Der Nutzen aus „unsichtbaren“ Daten und den daraus gewonnenen Informationen wurde so ersichtlich. Offenheit für Innovationen und neuartige Ansätze stellen wichtige Fähigkeiten dar, um Veränderung zu initiieren und geeignete, möglicherweise sogar unkonventionelle Maßnahmen zu starten.

#### Datenbasiertes Lernen und Entscheiden

Produzierende Unternehmen unterliegen zunehmend kürzeren Innovationszyklen. Das bedeutet, dass sie in immer kürzeren

zeitlichen Abständen auf Veränderungen der Unternehmensumwelt geeignet reagieren müssen. Gleichzeitig gilt es, auftretende Fehler schnell zu erkennen und die Ursachen rasch zu identifizieren. Auf Fehler darf nicht „aus dem Bauch heraus“ reagiert werden; vielmehr muss ein auf Daten basierendes Verständnis der Ursachen geschaffen werden. Darauf aufbauend sind die richtigen Maßnahmen zu treffen.

Lernende, agile Unternehmen sind dazu fähig, indem sie ihre Wertschöpfungsprozesse kontinuierlich durch die Erfassung geeigneter Daten überwachen. Die Unternehmen analysieren die Daten, vergleichen dieses digitale Abbild mit den physischen Begebenheiten und leiten entsprechende Maßnahmen ab. Die Beschäftigten vertrauen auf diese Datengrundlage und sind bereit, daraus zu lernen und ihre Entscheidung darauf zu gründen. Ein Beispiel hierfür stellt das Unternehmen Google dar, bei dem die Beschäftigten nahezu ausschließlich auf Basis erhobener und ausgewerteter Daten Entscheidungen über Veränderungsmaßnahmen treffen. Grundlage hierfür ist die Bereitschaft der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, sich kontinuierlich zu verbessern und Entscheidungen nicht anhand von isolierten Erfahrungswerten zu treffen. Stattdessen haben die Beschäftigten erkannt, dass Entscheidungen auf Grundlage erhobener Daten schneller getroffen werden können und eine höhere Güte aufweisen, als Entscheidungen auf isolierten Erfahrungswerten.

#### Fortlaufende Qualifikation

Die Digitalisierung der Industrie zeigt, dass sich die Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten in produzierenden Unternehmen stark wandeln und dynamischer werden. Grund dafür sind Veränderungen bei Fertigungstechnologien und ein zunehmender Einsatz von IuK-Technologien. Bestand in der Vergangenheit ein hoher Bedarf an Spezialistinnen und Spezialisten mit hohem Detailwissen, wird zukünftig der Bedarf an Multi-Versatilistinnen und -Versatilisten steigen. Dabei handelt es sich um Beschäftigte, die ein fakultätsübergreifendes Verständnis für zusammenhängende Prozesse besitzen und sich in kurzer Zeit ein erforderliches Spezialwissen aneignen können. Diese Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben ein Bewusstsein dafür, dass erlernte Qualifikationen und angeeignetes Wissen zum Teil nur für begrenzte Zeit Gültigkeit besitzen. Sie zeichnen sich durch die Bereitschaft aus, ihr Leben lang lernen zu wollen. Durch Beobachtung der Umwelt sind sie in der Lage, Weiterbildungsbedarfe früh zu erkennen. Gemeinsam leiten die Beschäftigten und das Unternehmen daraus Weiterbildungsangebote ab, die sich an den geforderten Kompetenzen orientieren und gleichermaßen die Bedürfnisse der Beschäftigten berücksichtigen.



### Gestalten von Veränderung

Je schneller Unternehmen auf Umweltereignisse angemessen reagieren können, desto höher ist der Nutzen der Veränderung für die Betroffenen. Dies erfordert, dass geeignete Veränderungsmaßnahmen in kurzer Zeit initiiert, umgesetzt und abgeschlossen werden müssen. Dabei spielt es eine wichtige Rolle, dass jene Beschäftigten die Initiative ergreifen, die das Umweltereignis am besten auf Basis von verfügbarem Wissen interpretieren können. Häufig sind dies die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die unmittelbar an der Anlage oder Maschine tätig sind und nicht unbedingt über Entscheidungsvollmachten verfügen. Die Übertragung von Entscheidungskompetenzen, das Schaffen von Gestaltungsspielräumen und die Möglichkeit zum Wissensaustausch für die Beschäftigten mit der erforderlichen Fachexpertise stellen wichtige Voraussetzungen dar. Von zentraler Bedeutung ist jedoch, dass sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über ihre Verantwortung zum Gestalten von Veränderung bewusst sind und den Willen besitzen, Veränderung nicht nur mitzutragen, sondern eigenständig zu initiieren und den ersten Schritt zu gehen.

## 4.4.2 Soziale Kollaboration

Das zweite Prinzip des Gestaltungsfelds Kultur beruht auf drei Fähigkeiten. Diese ermöglichen im Zusammenspiel das Prinzip der sozialen Kollaboration und beschleunigen den Austausch von Wissen.

### Demokratischer Führungsstil

Immer kurzzyklischer auftretende Umweltereignisse verlangen, Entscheidungen zu Veränderungsmaßnahmen mit höherer Geschwindigkeit bei gleichzeitig hoher Qualität zu treffen. Neben dem richtigen Wissen zur Ableitung passender Maßnahmen erfordert dies schnelle Entscheidungsprozesse für deren Umsetzung. Die erforderliche organisatorische Grundlage dafür ist das bewusste Schaffen von Entscheidungs- und Gestaltungsspielräumen. Ebenso wichtig ist es, dass zwischen den Beschäftigten ein vertrauensvolles Verhältnis herrscht, sodass Entscheidungen nicht nur schnell getroffen, sondern auch zügig umgesetzt werden. Hierfür müssen Führungskräfte ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht ausschließlich als Ressourcen sehen, sondern sie für ihre Kompetenzen als Teil der Gemeinschaft wertschätzen. Dies setzt einen demokratischen Führungsstil voraus.

### Offene Kommunikation

Die schnelle Reaktion von Unternehmen auf unvorhergesehene Umweltereignisse erfordert, dass die Beschäftigten idealerweise verzögerungsfreien Zugang zu erforderlichem explizitem und implizitem Wissen besitzen. Während explizites Wissen durch

geeignete Kommunikationstechnologien bereitgestellt werden kann, erfordert der Austausch von implizitem Wissen die direkte Kommunikation zwischen Wissensträgern und Suchenden. Treten beispielsweise Fehler oder Schäden an Produktionsmaschinen auf, kann ein Großteil der Produktionsparameter von Beschäftigten der Instandhaltung aus entsprechenden Informationssystemen (MES/ERP-Systemen) ausgelesen und analysiert werden. Erfahrungswerte zum Betrieb der Anlage und Erkenntnisse, beispielsweise zur Geräuschentwicklung, die nicht mittels Sensorik erfasst wurden, können lediglich durch den direkten Austausch zwischen den Beschäftigten übermittelt werden. Diese müssen das Denken in starren Aufbaustrukturen, das Abgrenzen in „die“ und „wir“ überwinden. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die verinnerlicht haben, dass der offene Austausch von Wissen und das gemeinsame Verfolgen einer Vision zu mehr Wissen führt und entsprechend handeln, besitzen die Fähigkeit der offenen Kommunikation. Dadurch ermöglichen sie eine erhebliche Beschleunigung betrieblicher Lernprozesse.

### Vertrauen in Prozesse und Informationssysteme

Die Erfahrungen aus der Einführung von Informationstechnologie seit den siebziger Jahren zeigt, dass die ausschließliche Berücksichtigung von funktionalen Anforderungen zu kurz greift. Akzeptanz und konsequente Nutzung von Informationstechnologien und -systemen können nur dann sichergestellt werden, wenn die betroffenen Beschäftigten von Beginn an in Veränderungsprozesse eingebunden werden und diese Veränderungen aktiv mitgestalten dürfen. Zudem müssen sie dafür sensibilisiert werden, dass der Mehrwert solcher Informationssysteme erst durch die konsequente Nutzung aller Beteiligten entsteht. Die Beschäftigten lernender, agiler Unternehmen zeichnen sich durch Vertrauen in die definierten Prozesse und Informationssysteme aus und ermöglichen dadurch einen schnellen rollen- und kontextspezifischen Austausch von dokumentiertem Wissen. Dieses Vertrauen entsteht dadurch, dass Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verstehen, wie das Informationssystem zu der Entscheidung gekommen ist, und erkennen, dass ein konkreter Nutzen aus der Handlungsempfehlung entsteht. Ebenso gilt es, das System kritisch zu hinterfragen und es ganz im Sinne der kontinuierlichen Verbesserung mit dem eigenen Wissen optimieren zu wollen.

## 4.4.3 Zusammenfassung

Die Ausprägung der Kultur eines produzierenden Unternehmens auf der Reifegradstufe „Adaptierbarkeit“ ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Kollaboration zwischen Beschäftigten mit Kundinnen und Kunden sowie Partnern ist sozial geprägt. Das Vertrauen in Systeme und Prozesse führt zu einer hohen Prozessstabilität.

Erworbenes Wissen wird bereitwillig formalisiert und mit anderen geteilt. Der Führungsstil ist demokratisch und schätzend, während eine offene Kommunikationskultur herrscht. Gleichzeitig sind die Beschäftigten offen und bereit für Veränderung. Sie lernen systematisch aus den erhobenen Daten, sind offen für

innovative Ansätze und gestalten Veränderungsprozesse mit. Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist bewusst, dass Qualifikationen und Kompetenzen kontinuierlich weiterentwickelt werden müssen. Fehler treten weiterhin auf, werden aber als „Schätze“ wahrgenommen, die Potenzial für Verbesserung bieten.

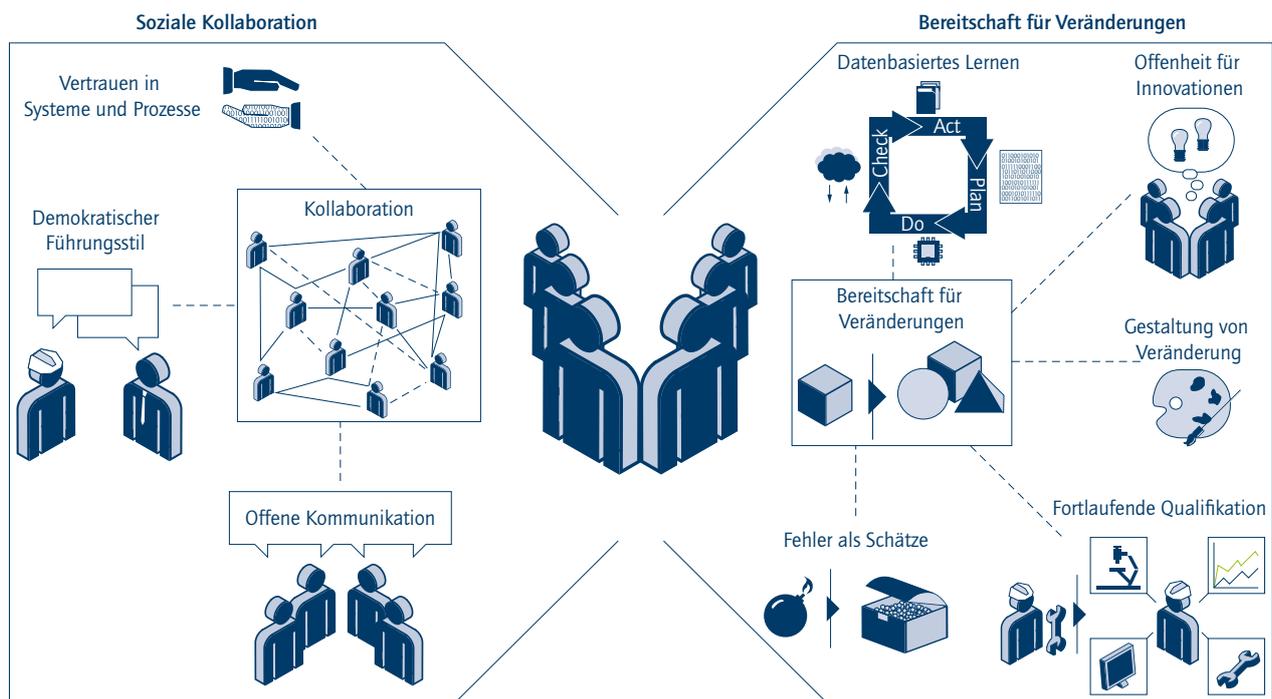


Abbildung 16: Notwendige Fähigkeiten im Gestaltungsfeld Kultur (Quelle: eigene Darstellung)



## 5 Funktionsbereiche im Unternehmen

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Fähigkeiten werden im acatech Industrie 4.0 Maturity Index in den einzelnen Funktionsbereichen eines Unternehmens separat untersucht. Die konkrete Ausprägung der Fähigkeit kann sich je nach Funktionsbereich und den darin enthaltenen Geschäftsprozessen unterscheiden. In den folgenden Teilkapiteln wird die Vision des lernenden, agilen Unternehmens auf die fünf Funktionsbereiche (siehe Abbildung 17) angewendet. Dabei werden die für den Bereich jeweils wesentlichen Fähigkeiten entlang der vier Gestaltungsfelder beschrieben. Zur Vereinfachung der Anwendung werden die Funktionsbereiche auf Ebene der zugehörigen Geschäftsprozesse betrachtet.

### 5.1 Entwicklung

Die zunehmende Durchdringung technologischer, kultureller und organisatorischer Aspekte von Industrie 4.0 in den Unternehmensprozessen bewirkt in der Entwicklung produzierender Unternehmen eine fundamentale Veränderung. Die traditionelle Konstruktionslehre von Pahl und Beitz sowie die Entwicklungsmethode für mechatronische Systeme in den VDI-Richtlinien 2221 und 2206 werden durch die Erkenntnis abgelöst, dass zum Entwicklungsstart nicht alle Kundenanforderungen bekannt sind oder korrekt berücksichtigt werden können. Es wird nicht mehr von einem fertigen, starren Produkt ausgegangen, sondern vielmehr von einer

Produktvision, die in der Entwicklung und im Betrieb anhand neu aufgenommener Anforderungen und automatisierter Änderungsanforderungen (Change Requests) weiterentwickelt wird.

#### Ressourcen

Zentrale Ressourcen der Entwicklung sind neben gut qualifizierten und interdisziplinär arbeitenden Beschäftigten die Produkte. Sie sind auch nach der Bereitstellung an die Kundinnen und Kunden im Fokus des Unternehmens. Die Felddaten aus der Nutzung der Produkte stellen den Input für eine zielgerichtete Weiterentwicklung dar. Dies setzt voraus, dass Produkte Daten erfassen und übertragen. Des Weiteren werden einige Funktionalitäten der Produkte softwarebasiert umgesetzt. Dies eröffnet dem Unternehmen neue Möglichkeiten für ein effizientes und kurzzyklisches Release-Management: Produkte können auch lange nach ihrer Markteinführung softwarebasiert um neue Funktionalitäten ergänzt werden und Fehler lassen sich kurzfristig beheben.

Eine weitere relevante Ressource stellen die additiven Fertigungsverfahren dar. Sofern sie in der Systemumgebung vernetzt und kommunikationsfähig sind, sollte der Zugriff auf diese sichergestellt werden, um den schnellen und kostengünstigen Aufbau von Prototypen und Primotypen zu ermöglichen.

#### Informationssysteme

Die Entwicklungsarbeit erfolgt in kleinen interdisziplinären Teams auf virtuellen Plattformen, die eine unternehmensübergreifende Kollaboration ermöglichen. Voraussetzung ist das lückenlose digitale Abbild der Entwicklung in einem führenden System wie dem Product-Lifecycle-Management-System. Funktionstests und Abhängigkeiten von Bauteilen, Anforderungen und Änderungen können über den gesamten Produktlebenszyklus

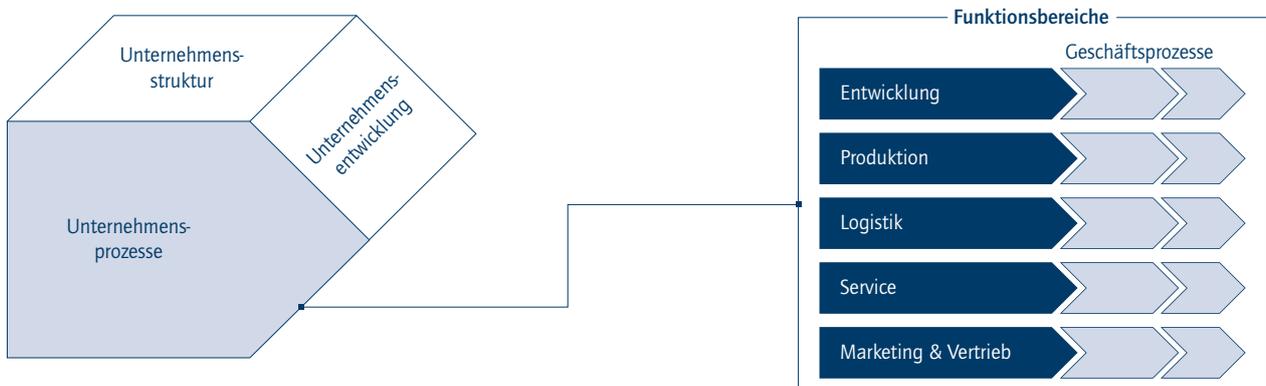


Abbildung 17: Übersicht über die Funktionsbereiche (Quelle: in Anlehnung an Boos et al. 2011)

transparent dargestellt werden. Dieses Abbild bildet den digitalen Schatten des Produktes. Change Requests über die dokumentierten Abhängigkeiten werden automatisierbar und erhöhen die Reaktionsfähigkeit in der Produktentwicklung erheblich.

Die Integration der Systeme beschränkt sich nicht nur auf den Bereich Entwicklung. In der Zusammenarbeit mit direkt und indirekt anknüpfenden Bereichen finden sowohl die Bereitstellung der aktuellen Produktdokumentationen als auch die Informationsrückführung von Erkenntnissen über das Produkt statt. Die Datendurchgängigkeit in Richtung der Produktion wird genutzt, damit die Beschäftigten aus der Produktion Zugriff auf den aktuellen Stand von Ausführungsunterlagen, wie zum Beispiel Zeichnungen oder Stücklisten, haben. Auf diese Weise werden Änderungen am Produkt unmittelbar an Fertigung und Montage übergeben.

#### Organisationsstruktur

Agile Methoden wie Scrum, die bereits erfolgreich in der Software-Entwicklung eingesetzt werden, revolutionieren auch die Entwicklung in anderen Fachbereichen zur Umsetzung von Anforderungen durch kurze Iterationszyklen mit einzelnen definierten Fragestellungen der Produktvision. Ziel ist es, sich nicht in der theoretischen Detailspezifikation des Produkts zu Beginn der Entwicklung zu verlieren, sondern die zentralen Hypothesen, die mit dem Produkt verbunden sind, schnell zu überprüfen. Konkreten Erkenntnisgewinn aus der Nutzung sowie von Nutzerinnen oder Nutzern selbst liefern sogenannte Primotypen. Diese mit seriennahen Werkzeugen gefertigten Modelle dienen nicht nur der reinen Funktionsabsicherung und setzen das Konzept des „Minimum Viable Products“ um. Kundenfeedback kann somit während der Entwicklung zurückgeführt werden, was die Umsetzungszeit bei geringeren Kosten erheblich verkürzt. Das frühe Scheitern und Lernen aus den Fehlern hat in diesem Ansatz Methode.

Die Entscheidungen zur Ausgestaltung der Primotypen werden nicht nur auf Basis von Annahmen gefällt, sondern datenbasiert getroffen. Reale Daten aus der Produktnutzung und aufgenommene Kundenanforderungen aus Marketing und Vertrieb bilden, ergänzt durch formalisiertes Konstruktions-, Fertigungs- und Montagewissen, die Grundlage einer kontinuierlichen Datenanalyse zur Verbesserung der Produktqualität und -wirtschaftlichkeit.

Neben neuen Entwicklungsmethoden ist eine Zusammenarbeit in Form einer engen interdisziplinären Kollaboration im Entwicklungsprozess entscheidend, um die zunehmend diversifizierten Produkthanforderungen umsetzen zu können. Ansätze wie System

Engineering und Service Engineering bieten hierbei das Potenzial, diese Anforderungen ganzheitlich zu berücksichtigen und das systematische Lernen vom Produkt über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg zu ermöglichen.

Die Kollaboration im Netzwerk mit anderen Unternehmen ist geprägt durch die Modulstruktur des Produkts. Partner entwickeln Funktionsmodule bis zur Serienreife, wobei auch hier nur grobe Spezifikationen (zum Beispiel Bauraum oder Zielpreis) übergeben und die genauen Spezifikationen im Laufe der Entwicklung detailliert werden. Die Interdisziplinarität der an den Modulen beteiligten Beschäftigten ist sicherzustellen, um innovative und effiziente Lösungswege zu erschließen. Ziel ist es, durch die Konfiguration einzelner serienreifer Module einen schnellen Industrialisierungsprozess eines Produkts zu erreichen.<sup>34</sup>

#### Fallbeispiel: Lockheed Martin

Der Technologiekonzern Lockheed Martin setzt für die Produktentwicklung einen Digitalen Wandteppich (Digital Tapestry) ein – ein System, in dem alle Elemente aus dem Produktentwicklungsprozess miteinander verknüpft werden und digital zur Verfügung stehen. Von der digitalen Integration der gesamten Produktdefinition profitieren alle Bereiche des Unternehmens (Entwicklung, IT, Lieferanten, Produktion etc.). So hilft der Digital Tapestry bereits in der Konstruktionsphase bei der Identifikation von Problemen und der Entwicklung von Lösungen. Dies spart Zeit und Kosten.

Lockheed Martin nutzt den Digital Tapestry in vielen Programmen innerhalb der Organisation für Raumfahrtssysteme, darunter auch in der Entwicklung des Orion Raumschiffs. Dieses wird für die Erforschung des Weltraums durch den Menschen eingesetzt und kann vier Astronauten in den Weltraum und zurück zur Erde bringen. Während eines Live-Tests mit der NASA hat Lockheed Martin über 200GB an Daten gesammelt. Der getestete Prototyp lieferte unter anderem Daten zu Kabinendruck und Temperatur. Diese Daten wurden in den Designzyklus zurückgeführt und für Design-Verbesserungen genutzt.

#### Kultur

Der radikale Wandel des Entwicklungsprozesses bedingt ein Umdenken in der Kultur des Unternehmens. Sie konfrontieren

34 | Vgl. Kampker 2015.



Kundinnen und Kunden frühzeitig mit bewusst noch nicht ausgereiften Ideen, Konzepten und Prototypen – mit dem Ziel, möglichst früh zu scheitern. Dieser Gedanke prägt auch das „Minimum Viable Product“ – ein möglichst schnell erstelltes Produkt mit den notwendigsten Funktionen. Diese Mentalität unterscheidet sich von der bisherigen, von Perfektionismus geprägten Herangehensweise. Ein beabsichtigtes Begehen von Fehlern und ein konstruktiver Umgang mit diesen sind maßgeblich für die zukünftige Kultur.

Des Weiteren ist die Kultur durch den Gedanken der internen wie externen Kollaboration geprägt. Eine Idee wird nicht nach ihrer Herkunft, sondern nach ihrem Nutzen beurteilt. Hierbei wird auf eine Vielzahl an Quellen zurückgegriffen. Diese bestehen beispielsweise in der intensiven Zusammenarbeit mit und der Beobachtung von Kundinnen und Kunden oder der Beteiligung an Communities of Practice mit anderen Unternehmen und Instituten.

## 5.2 Produktion

Die Produktion stellt auch in Zukunft mit den sich stetig weiterentwickelnden Fertigungs- und Montageverfahren das Herzstück industrieller Unternehmen dar. Die Art und Weise der Veredelung und Herstellung von Produkten wird sich noch stärker nach den Kundenbedürfnissen ausrichten müssen und fordert neue Konzepte industrieller Wertschöpfung. Unternehmen fokussieren sich auf ihre Kernkompetenzen und reduzieren als Teil eines Wertschöpfungsnetzwerks ihre Fertigungstiefe. Um hierbei die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in Hochlohnländern zu erhalten, wird die effiziente Auslastung der Ressourcen durch eine bessere Entscheidungsgrundlage auf dem Shopfloor mehr denn je von entscheidender Bedeutung sein.

### Ressourcen

Entscheidend für die Erbringung der Wertschöpfung produzierender Unternehmen sind die dazu eingesetzten Ressourcen. Durch die Anreicherung bisher isolierter oder gänzlich passiver Objekte um Informations- und Kommunikationstechnologien werden cyber-physische Systeme (CPS) geschaffen. Untereinander und mit Informationssystemen vernetzt, entsteht ein neuer Grad der Transparenz in der Produktion, der letztendlich zum digitalen Schatten wird. Reale Daten vom Shopfloor werden durch umfassende Sensorik erfasst, zu Informationen verarbeitet und in Entscheidungen überführt. Assistenzsysteme oder Aktorik in den CPS übernehmen die Umsetzung der gewählten Maßnahme.

Produkte und Material in der Produktion sind entlang der gesamten Wertschöpfung eindeutig einem spezifischen Auftrag zugeordnet. Informationen zum Auftragsfortschritt stehen zu jeder Zeit ortsunabhängig und in Echtzeit zur Verfügung. Die Einhaltung von Planvorgaben wird durchgehend überwacht, Auswirkungen von Abweichungen werden zuverlässig prognostiziert. Dazu ist es notwendig, dass Werkerinnen und Werker die Mehrmaschinenbedienung immer komplexer werdender Maschinen sicher beherrschen. Beschäftigte der Produktionsplanung und -steuerung decken durch die Analyse der gesammelten Daten neue Zusammenhänge zwischen Planabweichungen und den Produktionsprozessen auf. Expertinnen und Experten wie Vorarbeiterinnen und Vorarbeiter, Meisterinnen und Meister sowie Schichtführerinnen und Schichtführer konzentrieren sich auf das Treffen nicht-automatisierter Entscheidungen und – gemeinsam mit Datenspezialistinnen und Datenspezialisten (Data Scientists) – die Ursachenforschung für Störungen.

### Additive Fertigungsverfahren

Während in der Vergangenheit Entwicklung und Produktion hintereinanderliegende Prozessketten bildeten, werden sie in Industrie 4.0 zunehmend integriert. Dies führt zu drastischen Verbesserungen hinsichtlich Flexibilität und Durchlaufzeit. So sind etwa Flugzeugkomponenten häufig schwierig herzustellen, da sie aus vielen Teilen bestehen, die einzeln produziert, zusammengefügt, verschweißt und geprüft werden müssen. Durch additive Fertigungsverfahren können diese Komponenten aufgrund weniger Beschränkungen aus dem Produktionsprozess hinsichtlich des Einsatzzwecks optimiert werden. Am Ende des Konstruktionsprozesses lassen sich die Teile drucken – ohne weitere menschliche Vorbereitungen oder Interaktion. Konstruktionsänderungen lassen sich direkt umsetzen und verlangen keine kostenintensiven Produktionsprozessänderungen.

### Informationssysteme

Informationssysteme werden auch in der Produktion weiterhin die Grundlage zur Verwaltung und Allokation menschlicher und technischer Ressourcen bilden. Allerdings ist zu erwarten, dass die monolithischen Strukturen aufgebrochen und eine gemeinsame Source of Truth als Datenbasis dient. Dynamisch konfigurierbare Planungssysteme führen unabhängig von der Ressourcenverwaltung komplexe Rechenoperationen zur

Leistungsmaximierung der Produktion aus. Die Ergebnisse werden mit Beschäftigten auf dem Shopfloor kontextsensitiv und auf beliebigen Endgeräten bereitgestellt. In diesem Zusammenhang steht ihnen ein Portfolio an aufgabenspezifischen Apps zur Verfügung.

Im zukünftigen Wertschöpfungsnetzwerk sind die Informationssysteme nicht nur unternehmensintern, sondern auch übergreifend mit den Systemen von Lieferantinnen und Lieferanten, Kundinnen und Kunden und anderen Partnern vernetzt und in die Single Source of Truth integriert. Durch die hohe Verfügbarkeit und Qualität der bereitgestellten Daten erhöht sich die Reaktionsfähigkeit aller Akteure des Wertschöpfungsnetzwerks. Just-in-Time- und Just-in-Sequence-Konzepte werden weiter an Bedeutung gewinnen und zu einer Reduzierung von Beständen führen. Qualitätsdaten, Zustandsdaten der Maschinen und Anlagen sowie Prozessparameter werden mithilfe von Datenanalysen in Zusammenarbeit von Data Scientists sowie Prozessexpertinnen und Prozessexperten analysiert und in Wissen überführt. Diese Bemühungen verfolgen die optimale Auflösung des logistischen Zielkonflikts aus Logistikkosten und -leistung.

#### Organisationsstruktur

Grundvoraussetzung zur Wertschöpfungserbringung in einem Netzwerk ist die reibungslose Kollaboration der beteiligten Partner. Produzierende Unternehmen stellen Maschinenkapazitäten und Fertigungskompetenzen innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks zur Verfügung. Im Gegenzug erhalten sie Zugriff auf externe Kompetenzen und Kapazitäten. Kernkompetenzen in speziellen Fertigungsverfahren und die Kapazitäten der Beschäftigten werden über virtuelle Marktplätze angeboten und dynamisch in Abhängigkeit der eigenen Auslastung bepreist. Bisher vorherrschende Hierarchien in Zulieferpyramiden werden teilweise durch kompetenz- und kapazitätsbasierte heterarchische Strukturen ersetzt.

Teams auf dem Shopfloor werden nicht länger allein einem Gewerk zugeordnet arbeiten, sondern sind Teil eines produktverantwortlichen interdisziplinären Teams. Der regelmäßige Austausch von Beschäftigten unterschiedlicher Fachbereiche zu produktspezifischen Fragestellungen wie Qualitätswesen, Teilefertigung und Arbeitsvorbereitung fördert die Weitergabe von Wissen sowie das kontinuierliche Lernen. Dadurch lassen sich unter anderem auch Change Requests des Funktionsbereichs Engineering mit wenig Aufwand in der Produktion realisieren. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden befähigt, eigenständig Entscheidungen zu treffen, um Reaktionszeiten zu reduzieren. Neue und

alte Lösungswege werden dabei dokumentiert, gemeinsam bewertet und in strukturiertes Wissen überführt. Die Bereitschaft zur Wissensweitergabe wird ebenso als Beurteilungsgrundlage von Beschäftigten herangezogen wie die Ergebnisqualität der übertragenen Arbeitsaufgaben.

#### Fallbeispiel: CNB

CNB ist ein führender Hersteller von kundenindividuellen Yachten. Das Unternehmen hat den gesamten Informationsfluss zwischen der Konstruktion und der Produktion integriert. Während ein PLM-System genutzt wird, um alle relevanten Produktinformationen in einem einheitlichen „System of Records“ zu pflegen, werden IoT-Lösungen eingesetzt, um Informationen aus Konstruktion und Produktion digital zu verbinden, zum Beispiel in Form von Dashboards und digitalen Montageanweisungen. Basierend auf einem 3D-Mock-Up des Produkts wählen die Ingenieurinnen und Ingenieure Teile aus, die sie auf die Engineering-Stückliste (eBOM) der einzelnen Yacht setzen. Anschließend wird die eBOM automatisch in die Montagestückliste (mBOM) transformiert – in einem nutzergerechten Format für die Beschäftigten in der Montage. Hierdurch wird eine digitale Durchgängigkeit erzeugt, die eine parallele Entwicklungs- und Produktionsplanung ermöglicht. Früher Zugriff auf die Informationen der eBOM reduziert dabei die Durchlaufzeiten der Produktion. Durch diesen neuen Prozess ist es für CNB deutlich einfacher geworden, eine Yacht innerhalb des geplanten Budgets und der geplanten Zeit zu liefern.

#### Kultur

Ein wesentlicher Aspekt, um Potenziale in der Produktion zu heben, ist eine Veränderung der Fehlerkultur. Erst die Diskussion von Fehlern deckt Schwachstellen in Prozessen auf und bietet Potenzial zur Verbesserung. Dabei lassen sich viele Elemente aus der Lean Production übertragen, die durch die Implementierung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses und Methoden des Shopfloor-Managements zu einer offenen Debatte über Fehler führen. Die zunehmende Komplexität und Vielfalt der Aufgaben erfordert von den Beschäftigten mehr Eigeninitiative beim Austausch über Best Practice. Eine geeignete Moderation und Dokumentation ist hierbei zwingend notwendig. Insbesondere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Shopfloor werden in Zukunft stärker mit IT-Systemen in Berührung kommen.



## 5.3 Logistik

Im lernenden, agilen Unternehmen steht der Bedarf der Auftraggeberinnen und -geber, Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Leistungsempfängerinnen und -empfänger bei der Erfüllung der Logistikaufgaben im Vordergrund. Die Logistik wird dabei als eine integrative Querschnittsfunktion sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinaus verstanden.<sup>35</sup> Die zentrale Aufgabe der Logistik, „die Verfügbarkeit des richtigen Gutes, in der richtigen Menge, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten“<sup>36</sup> bleibt bestehen. Dies betrifft nicht nur Fertigwaren, sondern ebenso Ersatzteile zur Sicherstellung verkaufter Maschinen und Anlagen. Der zugehörige Informationsfluss wird sich durch den Paradigmenwechsel grundlegend ändern und Einfluss auf den gesamten Leistungsprozess in der Logistik haben. Dies resultiert in einer verstärkten Integration der Logistik in die gesamte Wertschöpfungskette und die Wandlung hin zu einer serviceorientierten „Logistics on Demand“.<sup>37</sup>

### Ressourcen

Notwendig dafür ist die Ausstattung der physischen Transporteinheiten mit Informationstechnologien, zum Beispiel Beacons oder Lokalisierungstechnologien (Real Time Location Systems, RTLS). Transporteinheiten wie Stapler müssen befähigt werden, sich selbstständig zu identifizieren, zu lokalisieren und Zustandsdaten zu erfassen. Bei eingelagerten Gütern herrscht vollständige Informationstransparenz über Lagerdauer, -standort und -menge. Relevante Informationen, wie etwa der Zustand, werden von der vernetzten Ware autonom kommuniziert. Autonome Fahrzeuge sind ebenfalls in diese Kommunikation eingebunden. Sie sind fähig, Daten dezentral zu aggregieren, um im Austausch mit den Transporteinheiten die Fahrzeug- und Auftragssteuerung durch agentenbasierte Schwarmintelligenz autonom zu übernehmen.

### Informationssysteme

Eine serviceorientierte Logistik on Demand basiert auf integrierten Informationssystemen, bei denen Sender und Empfänger in einem ständigen Austausch stehen. Die Integration der IT-Systeme ermöglicht die autonome Anforderung der Ware seitens des Empfängers, beispielsweise der Produktion. Die Vernetzung mit Transporteinheiten, autonomen Fahrzeugen und Lagereinheiten produziert einen digitalen Schatten der realen Welt. Ein virtuelles Abbild aller Prozesskomponenten ermöglicht

eine simulationsbasierte Steuerung auf Basis von Echtzeitdaten sowie automatisches Monitoring und Echtzeit-Dokumentation. Systemseitig erfolgt ein Abgleich des aktuellen Ist-Prozesses mit den Plandaten. Im Falle einer Abweichung schließt eine autonome Überplanung und Anpassung der aktuellen Prozessabläufe an. Diese Anpassungen werden an die Fahrzeuge übermittelt oder dem steuernden Menschen angezeigt, sodass eine direkte Umsetzung stattfindet.

### Organisationsstruktur

Zentrale organisationale Veränderung in der Logistik wird die zunehmend eigenständige Entscheidungsverantwortung der Logistikpartner sein. Dezentrale Entscheidungen verschlanken die Disposition, da die Vernetzung den Akteuren ein virtuelles Abbild der Prozesse ermöglicht. Ein tiefgreifendes Verständnis vor- und nachgelagerter Prozesse integriert die Logistik in die Wertschöpfungskette. Die Logistikaufträge werden nicht mehr einzelnen Personen oder Fahrzeugen zugeordnet, sondern über Logistikplattformen angeboten und automatisch geeigneten Dienstleistern vorgeschlagen. Kriterien sind dabei unter anderem Destination und Abholort, möglicher Liefertermin und die damit verbundenen Kosten.

### Kultur

Kurzfristige Änderungen in den Logistikprozessen treten zunehmend häufig auf und werden von den Beschäftigten akzeptiert. Es besteht ein übergreifendes Verständnis dafür, dass alle getroffenen Entscheidungen in der Logistik ausschließlich datenbasiert erfolgen, um die Abläufe kontinuierlich zu verbessern. Die datenbasierten Entscheidungen funktionieren, da eine konsequente Nutzung von Informationstechnologie und -systemen existiert. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bringen dazu ihr Wissen in die Logistikabläufe ein und schaffen mit der Verbindung aus IT- und Wissensmanagement die Voraussetzung, aus Daten zu lernen.

## 5.4 Service

Im Rahmen von Industrie 4.0 eröffnen sich für die produzierende Industrie neue Möglichkeiten zur gewinnbringenden Weiterentwicklung ihrer Geschäftsfelder. Der klassische Verkauf von selbst gefertigten Produkten wird zunehmend durch neue, lösungsgetriebene Dienstleistungsgeschäftsmodelle abgelöst. Zukünftig werden Unternehmen ihr transaktionsbasiertes Geschäftsmodell, in dem die Kundinnen und Kunden die Produkte

35 | Die beschriebenen Änderungen beziehen sich vorrangig auf die Logistik von produzierenden Unternehmen und nicht auf die Veränderungen von Logistikkdienstleistern.

36 | Siehe Gudehus 2010, S. 3.

37 | Vgl. ten Hompel 2013.

kaufen, durch „Product-as-a-Service“-Modelle ablösen. Dabei erhalten Kundinnen und Kunden einen Zugang zum Produkt, indem sie lediglich eine Gebühr zahlen, die auf der tatsächlichen Nutzung oder einer anderen nutzenorientierten Messgröße basiert (zum Beispiel Rolls Royce: „Power by the hour“).

Kundenspezifische, teilweise heterogene Bedürfnisse werden nicht mehr maßgeblich durch Produkte, sondern durch individuell konfigurierbare datenbasierte Services adressiert, die auf eigenen und fremden Produkten aufsetzen. Ein einfaches Beispiel sind sogenannte Predictive-Maintenance-Services, die auf einer Remote-Verbindung basieren. Die kundenspezifische Anpassung der Services resultiert in einer effektiveren Serviceerbringung und stärkt gleichzeitig die Bindung zwischen Kundin oder Kunde und Dienstleister. Letzterer übernimmt größere Verantwortung für einzelne Schritte der Wertschöpfung und integriert sich so noch stärker in diese. Beispiele hierfür sind sogenannte Service Level Agreements, outputbasierte Geschäftsmodelle und Erlösmodelle, bei denen Dienstleister an der Produktivitätssteigerung beteiligt sind. Diesen Geschäftsmodellen ist gemein, dass dem Hersteller im Sinne eines Abonnements eine regelmäßige Gebühr gezahlt wird.

#### Ressourcen

Intelligente, anschlussfähige Produkte, an denen Dienstleistungen erbracht werden beziehungsweise die Träger von Dienstleistungen sind, bilden eine wesentliche Grundlage für datenbasierte Dienstleistungen. Charakteristisch für diese Produkte ist, dass sie in der Lage sind, Daten aus ihrem Betrieb und ihrem Umfeld zu erfassen, in einem gewissen Umfang selbst zu verarbeiten und an den Dienstleister zu übertragen. Dabei handelt es sich nicht nur um die Produkte, die ein Unternehmen selbst hergestellt und verkauft hat. Vielmehr greift auch hier die Idee des Ökosystems, in dem sämtliche Produkte innerhalb einer Wertschöpfungskette ihre Daten bereitstellen. Hierzu zählen die eigenen Produkte, die in unterschiedlichen Schritten der Wertschöpfung eingesetzt werden, aber auch Produkte Dritter. Es werden sich Anbieter durchsetzen, denen es gelingt, diese Daten hersteller- und kundenübergreifend zu aggregieren, und die so den sogenannten „digitalen Kontrollpunkt“ besetzen.

Die auf diese Weise gesammelten und aggregierten Daten ermöglichen zum einen die eingangs beschriebene Änderung der Geschäftsmodelle in Richtung einer tieferen Integration in die Kundenprozesse und zum anderen die genannten outputbasierten Geschäftsmodelle. Um beispielsweise Verfügbarkeitsgarantien für ein Produkt risikominimal und gleichzeitig zu einem konkurrenzfähigen Preis aussprechen zu können, ist eine präzise

Kenntnis der Zustands- und Betriebsdaten des Produkts notwendig. Um den Betrieb einer gesamten Fabrik zu optimieren, müssen Daten aus vor- und nachgelagerten Prozessschritten in Bezug auf das eigene Produkt betrachtet werden.

#### Informationssysteme

Der bekannte Ansatz des Product Lifecycle Managements wird in Industrie 4.0 um den Aspekt Service erweitert. Nicht nur Daten aus der Produktentwicklung fließen hier ein, sondern auch Daten, die im Betrieb des Produkts und bei der Erbringung von Dienstleistungen anfallen beziehungsweise benötigt werden. Auf diese Weise entsteht ein umfassender digitaler Schatten für das Produkt mit unterschiedlichen, domänenspezifischen (zum Beispiel Service und Entwicklung) Sichten auf diese Daten, um einen umfassenden Überblick über Serviceprozesse und Echtzeit-Produkt Daten zu erhalten. Diese Single Source of Truth kann vielfältig genutzt werden. Beispielsweise hat eine Servicetechnikerin oder ein Servicetechniker im Feld immer Zugriff auf die aktuell gültige Dokumentation zum Produkt, kann gleichzeitig die Servicehistorie einsehen und Betriebs- und Zustandsdaten zur Diagnose verwenden. Die Entwicklungsabteilung kann die Daten aus dem Betrieb für die Weiterentwicklung des Produkts nutzen.

Außerdem stellt sich die Frage nach der IT-Infrastruktur. Ähnlich wie bei den zuvor erläuterten Serviceplattformen, auf denen die Erbringung der Dienstleistungen organisiert wird, gibt es sogenannte softwaredefinierte Plattformen. Diese stellen die Umgebung für die Aggregation von Daten und die datenbasierten Dienstleistungen zur Verfügung. Bereits heute positionieren sich Anbieter in diesem Geschäftsfeld und bieten den Betrieb der Infrastruktur als Service an. Dritte Unternehmen können ihre anschlussfähigen Produkte hierüber anbinden und einzelne Dienste im Sinne von Apps ihren Kundinnen und Kunden zur Verfügung stellen.

#### Organisationsstruktur

Kundinnen und Kunden werden zukünftig hochspezifische Leistungsbündel bedarfsgerecht abrufen können. Diese werden durch eine individuelle Zusammenstellung von Unternehmen des Wertschöpfungsnetzwerks erbracht und können sowohl aus klassischen Dienstleistungen im persönlichen Kundenkontakt als auch automatisiert bereitgestellten, datenbasierten Dienstleistungen bestehen. Beispielsweise kann der technische Herstellerservice auf diese Weise mit hochspezialisierten Leistungen (zum Beispiel Datenanalyse) eines Drittanbieters kombiniert werden. Den Dreh- und Angelpunkt neuer datenbasierter Dienstleistungen stellen Serviceplattformen dar, auf denen die Zusammenarbeit organisiert wird.



Die Definition der eigenen Rolle stellt eine zentrale Herausforderung dar. Die Spannweite reicht hier vom Spezialisten für einzelne Dienstleistungen beziehungsweise Zulieferer für eine Plattform bis hin zum Integrator beziehungsweise Betreiber einer Plattform für Dienstleistungen.

Die Grenzen einzelner Branchen, in denen ein Unternehmen operiert, verschwimmen zunehmend. Jedes Unternehmen muss für sich selbst definieren, inwieweit es seine Serviceaktivitäten ausdehnen möchte. Beispielsweise hat Joy Global, ein Hersteller von Bergbauausrüstung, den Leistungsumfang seiner Services vom einzelnen Gerät auf die Optimierung der gesamten Flotte seiner Kundinnen und Kunden ausgeweitet. Bezogen auf die für eine Ausweitung notwendigen Kompetenzen führt diese Entwicklung zu der Frage, ob ein Unternehmen spezielle Kompetenzen (zum Beispiel für den Betrieb einer IoT-Plattform) intern aufbaut oder diese extern beschafft.

#### Kultur

Da die Beschäftigten im Service regelmäßig neue Probleme lösen müssen, besteht ein großes Potenzial in der Aggregation ihres Wissens. Die Bereitschaft zum Tausch und zur Formalisierung von Wissen ist gerade in diesem Bereich von besonderer Relevanz. Zukünftig wird die soziale Kommunikation zwischen den Beschäftigten im Service, die sich auf Kommunikationsplattformen über Lösungen austauschen, als wichtige Quelle für den systematischen Wissensaufbau genutzt. Heute verfügbare Technologien wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Spracherkennung werden die Art und Weise, in der Servicetechnikerinnen und -techniker arbeiten und Wissen teilen, fundamental verändern. Textbasierte Informationen und Wissensweitergabe gelten heute als ineffizient und führen zu einer schlechten Produktivität im Service. Die Möglichkeit, Reparaturanweisungen kontextsensitiv zu visualisieren und sprachbasierte Anweisungen zu erhalten, fördert ein schnelleres Lernen und eine bessere Kollaboration.

Dieses neue Wissen aus dem Service hilft beispielsweise in Entwicklungsprojekten dabei, Kundenanforderungen frühzeitig in den Prozess zu integrieren. Der geschlossene Informationskreislauf zwischen Entwicklung und Service stellt zudem sicher, dass Produkte servicegerecht gestaltet werden. Betrachtet man Servicetechnikerinnen und -techniker als Schnittstelle zur Kundin und zum Kunden, können sie nicht nur vertriebsrelevante Informationen zurückführen, sondern auch Aufgaben des Vertriebs übernehmen.

#### Fallbeispiel: Trane

Serviceleistungen spielen bei Produkten wie Heizungen, Ventilatoren und Klimaanlage in Häusern und Gebäuden eine zunehmend wichtige Rolle. Das gilt auch für den Hersteller Trane, der zusammen mit Kinobetreibern in den USA eine echtzeitfähige Klimatisierung entwickelte, die auf dem aktuellen Ticketverkauf und den Filmzeiten beruht. Aus den verfügbaren Daten wird die optimale Raumtemperatur eines Kinosaals interpretiert und das Thermostat dementsprechend eingestellt.

Die Nutzung intelligenter Technologien ermöglicht dem Unternehmen eine Abkehr von dem Szenario, dass, sobald etwas nicht funktioniert, eine Reparatur zeitnah erfolgen muss. Anstelle dessen identifizieren nun Daten, wann ein Motor auszufallen droht und kalkulieren die restliche Nutzungszeit. Mit diesem Wissen kann eine Technikerin oder ein Techniker mit den passenden Geräten zur richtigen Zeit einsetzen und höherrangige Serviceverträge schließen. „Für jeden Dollar, den wir an Produkten verdienen, haben wir Potenzial für zwölf Dollar im Aftersales. Aktuell ist unser Umsatz mit Produkten und Service nahezu ausgeglichen. Der Profit liegt im Servicebereich wesentlich höher“, so Firmenvertreter Per Bollom. Wie viele andere Produzenten erwartet Trane, dass der Serviceanteil an Umsatz und Gewinn weiter steigen wird.

## 5.5 Marketing und Vertrieb

Das zentrale Ziel des agilen Unternehmens ist die strategische Ausrichtung auf die systematische Erfassung und Erfüllung von Kundenanforderungen. Einen maßgeblichen Beitrag hierzu leistet der Funktionsbereich Marketing und Vertrieb, der Kundinnen und Kunden aktiv auf ihrem Weg zur Kaufentscheidung begleitet (Customer Journey). Durch die Verschmelzung einzelner Prozesse zu einer personalisierten, durchgehenden und digitalen Käuferfahrung wird für die Kundin und den Kunden ein Mehrwert geschaffen, der ihn frühzeitig an das Unternehmen bindet und den Mittelpunkt des unternehmerischen Handelns bildet.

#### Ressourcen

Als wichtigste Ressourcen im Marketing und Vertrieb gelten neben den Beschäftigten insbesondere Maschinen und Anlagen der Produktion sowie die Produkte selbst. Leistungsversprechen gegenüber den Kundinnen und Kunden können nur

gegeben werden, wenn auf Basis der zurückgemeldeten und prognostizierten Kapazitäten der Maschinen und Anlagen eine termingerechte Erfüllung sichergestellt ist. Die zurückgeführten Daten der Produktnutzung liefern neue Erkenntnisse über die Kundenanforderungen und machen die korrekte Anwendung überprüfbar.

#### Informationssysteme

Das agile Unternehmen wird zur aktiven Steuerung der Berührungspunkte der Customer Journey befähigt. Grundlage bildet eine umfassende und qualitativ hochwertige Datenbasis aus dem CRM-System, dem ERP-System und der Marktforschung zur spezifischen Kundenidentifikation, -analyse und -bewertung. Data Analytics-Verfahren bewerten Geschäftsbeziehungen auf Basis von historischen Auftragsdaten, internen Unternehmensdaten und externen Umwelteinflüssen nach ökonomischen Gesichtspunkten und segmentieren sie in Produkthanforderungs- und Verhaltensprofile. Kollaborative Filter werten typische Verhaltensmuster von Kundinnen und Kunden aus und antizipieren kontextabhängig die nächsten Schritte. Dynamische Preismodelle im Sinne des Revenue Management werden auf Basis prognostizierbarer Absätze, derzeitiger Kapazitätsauslastungen, Kundenhistorien und Marktinformationen verlässlich anwendbar. Durch die Rückführung von Produktinformationen während der Nutzung können Kundinnen und Kunden neue Vertragsmodelle wie Ausschluss von überprüfbaren Gewährleistungen oder verbesserte Services im After Sales angeboten werden. Das in die Kundenprozesse integrierte Angebot maßgeschneiderter Leistungen mit der entsprechenden Weiterleitung zur Kundeninformation wird auf Grundlage der Datenbasis so komfortabel gestaltet, dass die Wahrnehmung für alternative Produkte minimal wird.

#### Organisationsstruktur

In Zukunft werden sich Marketing und Vertrieb auf solche Kanäle konzentrieren, die sich nahtlos in die Customer Journey einfügen und somit den höchsten Grad zur Integration in die Kundenprozesse aufweisen. Es gilt, Kundinnen und Kunden am frühestmöglichen Zeitpunkt ihrer Kaufentscheidung abzuholen. Einen Teil hierzu tragen unternehmenseigene Vertriebsplattformen mit elektronisch angebotenen Kundensystemen bei, die die Vertriebsarbeiten anbieterseitig automatisieren. Online bereitgestellte Produktvisualisierungen unterstützen die Kundin und den Kunden mit bedarfsgerecht aufbereiteten Information, die für den Kauf notwendig sind und weiterführende Informationen über das Produkt automatisiert darstellen. Neue Interaktionsmöglichkeiten werden durch digitale Kollaborationsplattformen geschaffen. Kundinnen und Kunden können auf diesen ihre individuellen Anforderungen zur Produktgestaltung einbringen, die direkt an die Entwicklung oder Produktion weitergeleitet werden.

#### Kultur

Ein kultureller Umschwung in Marketing und Vertrieb findet vor allem durch Auflösung des bis dato vorherrschenden Silodenkens der Beschäftigten im Vertrieb statt. Kundenkontakte werden zentral in einem CRM-System geführt, das die Single Source of Truth bildet. Die Beschäftigten im Vertrieb führen ihr implizites Kundenwissen über die aktuellen Problemstellungen der Kundinnen und Kunden in den Entwicklungsprozess zurück und stehen als wichtige Partner zur internen Kollaboration bereit. Dem ständigen Wandel im agilen Unternehmen sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gegenüber positiv eingestellt; sie beteiligen sich aktiv an der kontinuierlichen Verbesserung. Damit einhergehend ist die Offenheit gegenüber neuen datenbasierten Produkten und Leistungsbündeln notwendig, die auch neue Marketing- und Vertriebskonzepte erfordern.



# 6 Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index unterstützt Unternehmen bei der Planung unternehmensspezifischer Industrie 4.0-Entwicklungspfade und bereitet die schrittweise Transformation zum agilen Unternehmen vor.

## 6.1 Prinzipien der Anwendung

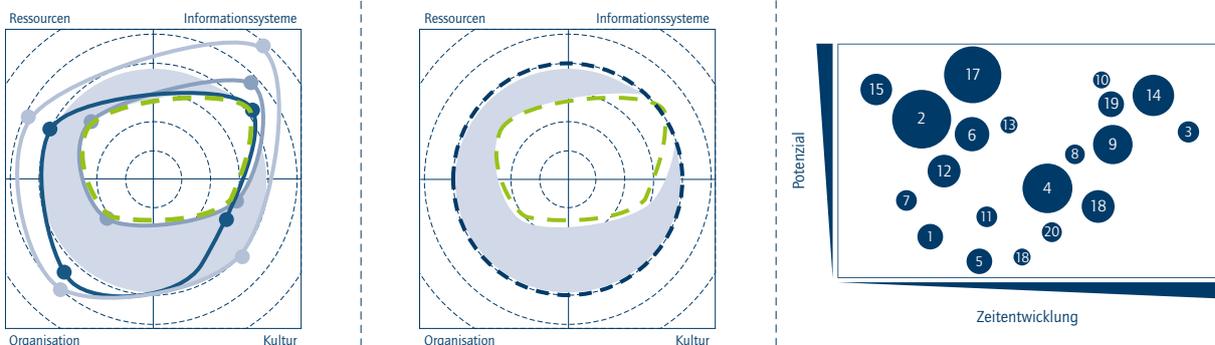
Die Anwendung des acatech Industrie 4.0 Maturity Index verläuft in drei aufeinander aufbauenden Phasen (siehe Abbildung 18). In der ersten Phase wird die aktuelle Entwicklungsstufe des Unternehmens bestimmt. Hierzu werden die vorhandenen Industrie 4.0-Fähigkeiten nach Funktionsbereichen und Gestaltungsfeldern untersucht. In der zweiten Phase wird zunächst, abgeleitet aus der Unternehmensstrategie, die angestrebte Entwicklungsstufe als Ziel des späteren Transformationsprozesses festgelegt. Durch eine GAP-Analyse werden die aufzubauenden Fähigkeiten identifiziert. Dies geschieht in Abhängigkeit von der in Phase eins bestimmten Entwicklungsstufe und dem angestrebten Zielzustand. Abschließend werden in der dritten Phase Maßnahmen abgeleitet und in einer Roadmap verortet, um die identifizierten Fähigkeiten aufzubauen.

### Phase 1: Bestimmung der aktuellen Industrie 4.0-Entwicklungsstufe

Die Bestimmung des aktuellen Industrie 4.0-Reifegrads orientiert sich an den in Kapitel 4 aufgezeigten unternehmerischen Fähigkeiten in Bezug auf Industrie 4.0. Diese werden anhand der Geschäftsprozesse in den Funktionsbereichen bestimmt. Zur Bewertung der Fähigkeiten dient ein Fragebogen, der jeden Prozess berücksichtigt. Die den Fragen zugrundeliegenden Antwortmöglichkeiten basieren auf den sechs Entwicklungsstufen.

Dies soll an folgendem Beispiel verdeutlicht werden (siehe Abbildung 19): In einem Prozess des Funktionsbereichs Produktion wird für das Gestaltungsfeld Kultur bewertet, inwiefern Fehler als „Schätze“ interpretiert werden. Die Antwortvarianten ermöglichen eine eindeutige Bewertung der Fähigkeiten.

Die Bewertung findet bei den Unternehmen vor Ort statt. Eine Werksbegehung vermittelt einen ersten Eindruck vom Ablauf der Prozesse. Im Anschluss werden die Prozesse in einem Workshop bewertet. Dabei wird die Ist-Analyse anhand des Auftragsabwicklungsprozesses durchgeführt. Im Anschluss wird die Auswertung der Fähigkeiten innerhalb des Gestaltungsprinzips aggregiert und für die einzelnen Prozesse dargestellt. Die Visualisierung im acatech Industrie 4.0 Maturity Index erfolgt in Form von konzentrischen Kreisen, die über den vier Gestaltungsfeldern die Reifegradstufen darstellen. Dabei vergrößert sich der Radius des Kreises mit zunehmendem Reifegrad, den ein produzierendes Unternehmen erreicht hat.



Phase 1: Reifegradbestimmung

Phase 2: Soll-Bestimmung

Phase 3: Maßnahmen

Abbildung 18: Anwendung des Maturity Index (Quelle: eigene Darstellung)

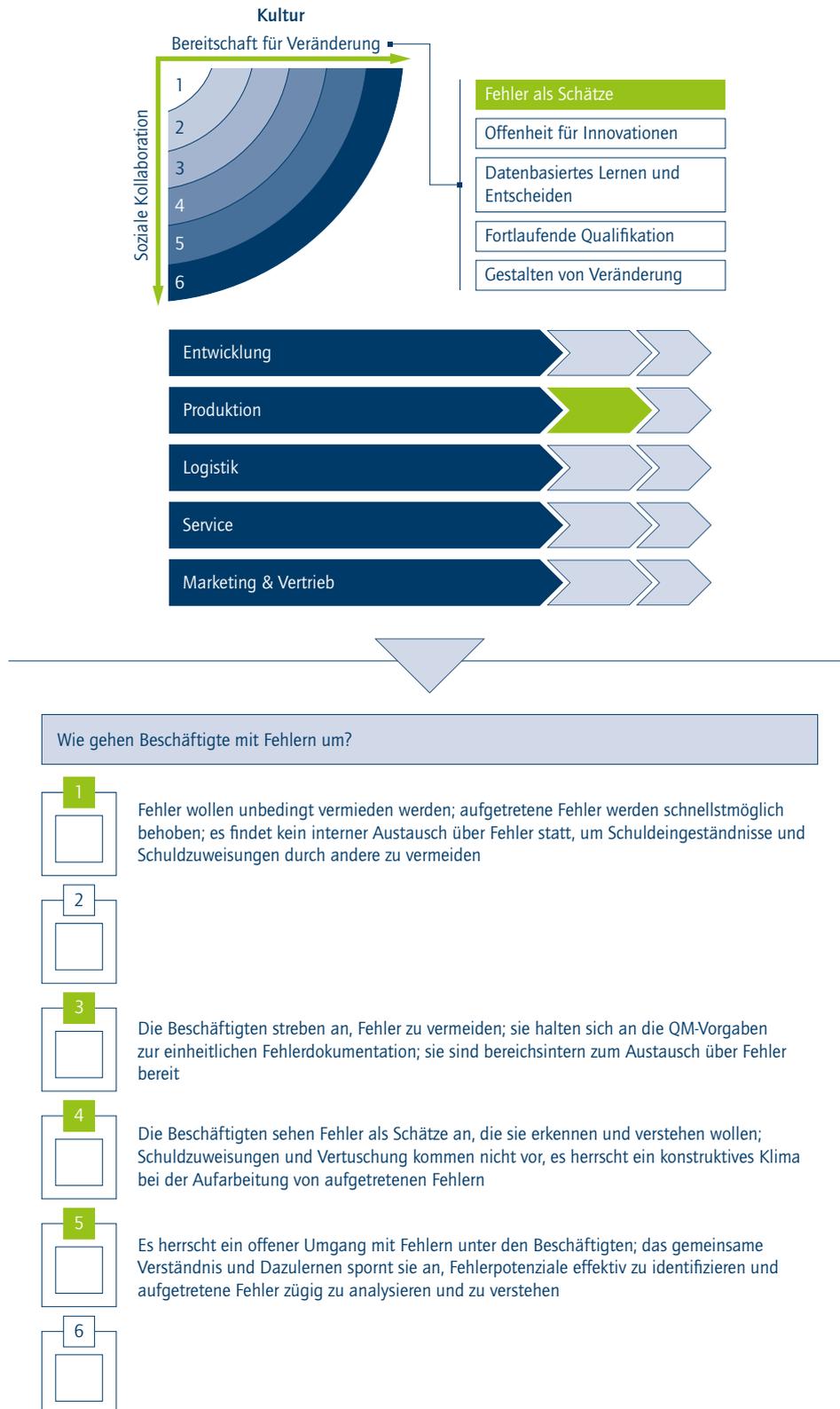


Abbildung 19: Exemplarische Frage (Quelle: eigene Darstellung)



## Phase 2: GAP-Analyse und aufzubauende Fähigkeiten

Die Bewertungen in den einzelnen Prozessen lassen sich für eine Gesamtbewertung auf Ebene der Funktionsbereiche und des Gesamtunternehmens aggregieren. Die Darstellung ermöglicht eine schnelle Aussage über den durchschnittlichen Reifegrad und verdeutlicht Inkonsistenzen in den Ausprägungen der vier Gestaltungsfelder. Durch die Abhängigkeiten der Gestaltungsfelder ist eine konsistente Entwicklung über alle Gestaltungsfelder das maßgebende Ziel. Im folgenden Beispiel sind die Gestaltungsfelder Ressourcen und Kultur stärker als die beiden anderen Gestaltungsfelder ausgeprägt. Der Nutzen der dort bestehenden Fähigkeiten kann durch das Fehlen von Fähigkeiten in den Gestaltungsfeldern Informationssysteme und Organisation aktuell jedoch nicht erzielt werden (siehe Abbildung 20).

Folglich wird Unternehmen empfohlen, die daraus folgenden Handlungsfelder anzugehen und einen einheitlichen Reifegrad über alle vier Gestaltungsfelder zu erreichen, um den Nutzen der Reifegradstufe zu erzielen (Verstetigung des Reifegrads). Es mag jedoch Bereiche geben, bei denen ein Großteil des Nutzens erzielt wird, ohne dass alle Gestaltungsfelder balanciert sind und den gleichen Reifegrad aufweisen. Dies kann z.B. komplexe logistische Prozesse betreffen, deren Effektivität vor allem von der

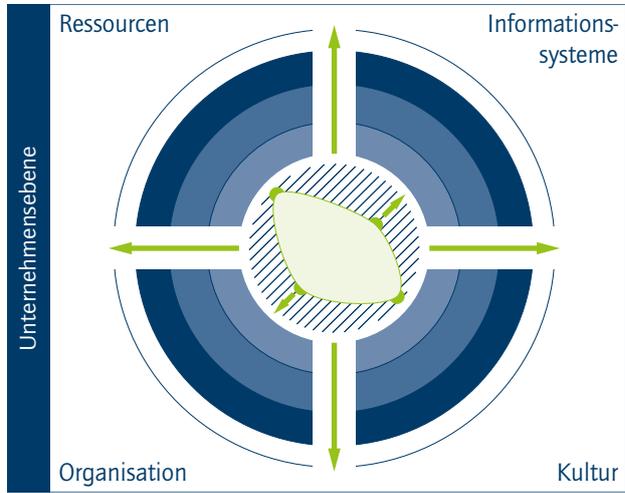
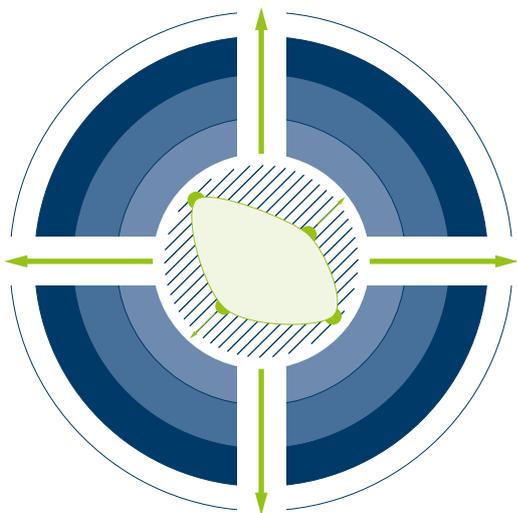


Abbildung 20: Aggregation auf Unternehmensebene (Quelle: eigene Darstellung)

organisatorischen Leistungsfähigkeit abhängt. Oder die Verbesserung von Predictive-Maintenance-Services, für die vor allem die Leistungsfähigkeit der Informationssysteme eine kritische Rolle spielen. In einem zweiten Schritt entstehen Handlungsfelder, um darauf aufbauend den Soll-Zustand zu erreichen (Ausbau des Reifegrads). Abbildung 21 skizziert das zweistufige Vorgehen.

### Schritt 1: Verstetigung des Reifegrads



### Schritt 2: Ausbau des Reifegrads

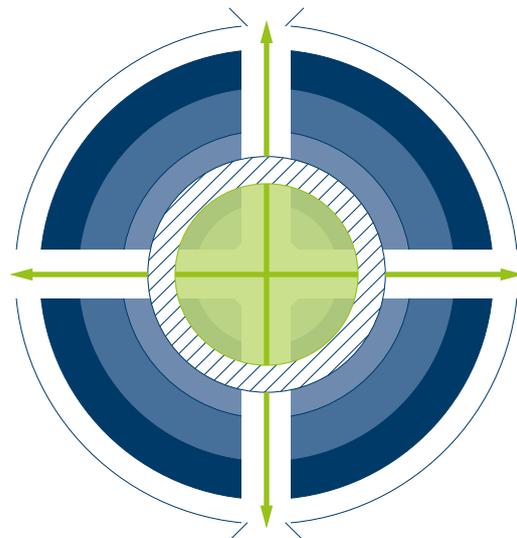


Abbildung 21: Definitionen der Handlungsfelder (Quelle: eigene Darstellung)

### Phase 3: Identifikation von konkreten Maßnahmen

Um die aufgezeigten Handlungsfelder umzusetzen, werden Maßnahmen abgeleitet. Diese lassen sich durch die fehlenden Fähigkeiten in den jeweiligen Gestaltungsfeldern identifizieren. Die Bewertung einzelner Prozesse ermöglicht die Ableitung von zahlreichen Einzelmaßnahmen. Unternehmen können damit eine Entwicklungs-Roadmap erstellen und deren Umsetzung zeitnah starten. Bei der Ableitung der Maßnahmen wird das zuvor eingeführte zweistufige Verfahren genutzt (siehe Abbildung 22).

Die beiden Schritte bei der Definition des Soll-Zustands – Verstärkung und Ausbau des Reifegrads – ergeben eine erste zeitliche Einordnung, um Maßnahmen zu priorisieren, aufeinander abzustimmen und in einer schlüssigen Reihenfolge anzugehen.

Zudem lassen sich die identifizierten Maßnahmen anhand einer Aufwand-Nutzen-Matrix bewerten. Zur Bewertung des Nutzens wurde jeder Fähigkeit mithilfe einer Kennzahlensystematik eine Kennzahl zugeordnet. Die Entwicklung der jeweiligen Fähigkeit bedingt somit eine Verbesserung der Kennzahl, über die sich der Nutzen einer jeden Maßnahme bewerten lässt. Die Bewertung des Aufwands erfolgt unternehmensindividuell.

## 6.2 Nutzenbewertung

Zur Nutzenbewertung der Reifegrade wurde eine Kennzahlensystematik entwickelt, mithilfe derer die Auswirkungen von Industrie 4.0 im Unternehmen quantifiziert werden können. Grundgedanke dieser Systematik ist es, die Auswirkungen von Industrie 4.0 zu differenzieren und mit etablierten Kennzahlen (zum Beispiel Gesamtanlagenverfügbarkeit, Umschlagszeit) zu beschreiben. Durch die Verknüpfung der Kennzahlensystematik mit der Reifegradbewertung lassen sich die Ergebnisse des Assessments in konkreten Kennzahlen abbilden (siehe Abbildung 23). So sind Unternehmen schließlich in der Lage nachzuvollziehen, wie sich ihr Handeln zur Verbesserung des Reifegrads auf bestimmte Kennzahlen auswirkt.

Die Kennzahlensystematik ist nötig, um Industrie 4.0-Anwendungen zu bewerten.<sup>38</sup> Es müssen komplexe Sachverhalte, wie etwa der Nutzen, der sich aus der Einführung selbstoptimierender Fertigungsprozesse ergibt, in einfacher Form erfasst werden. Ein selbstoptimierender Fertigungsprozess kann beispielsweise die Gesamteffektivität einer Anlage erhöhen und durch eine geringere Rate unerwarteter Ausfälle zu einer besseren Termintreue führen. Diese beeinflusst wiederum den Output eines Unternehmens und damit auch die übergeordnete Produktivität.



Abbildung 22: Identifikation der Maßnahmen (Quelle: eigene Darstellung)

38 | Vgl. Obermaier et al. 2015.

39 | Vgl. Lingnau/Brenning 2015, S. 455-460.

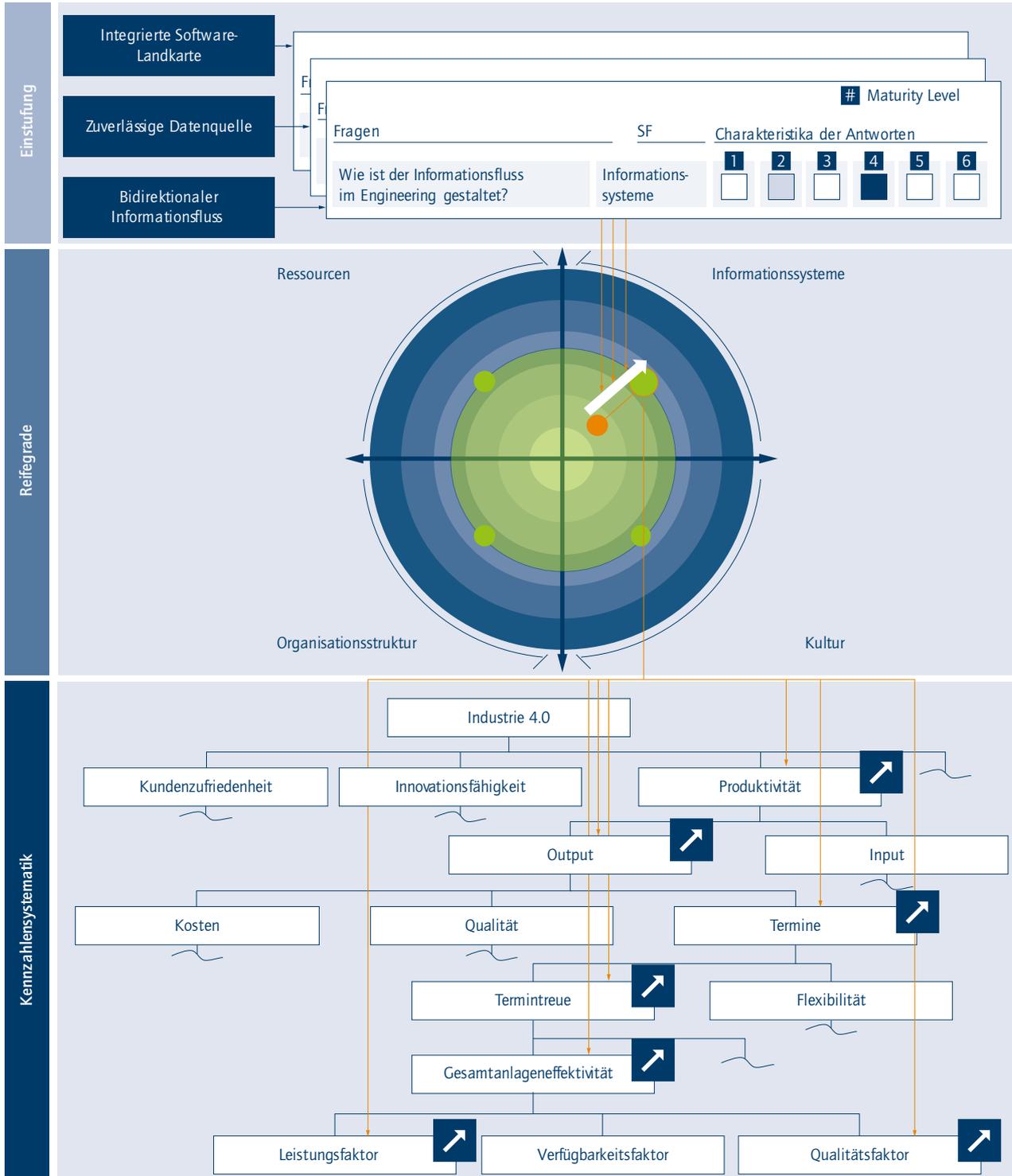


Abbildung 23: Verbindung zwischen dem Kennzahlen-Klassifikationsschema und dem acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Quelle: eigene Darstellung)





Piloten in einen Ende-zu-Ende-Prozess, um die Nutzung der Industrie 4.0-Potenziale zu realisieren. Konkret bedeutet dies eine erhöhte Transparenz im Gesamtprozess, die es ermöglicht, datenbasierte Entscheidungen zu treffen (siehe Abbildung 25, rechte Seite). Dadurch sollen konkrete Kennzahlen wie die Gesamtanlageneffektivität und die Flexibilität verbessert werden, die wiederum unmittelbare Auswirkungen auf die Termintreue haben. Dazu ist ein ganzheitlicher Ansatz für ein Produkt oder eine

Produktgruppe zu wählen und eine Erweiterung des Piloten entlang des Wertschöpfungsprozesses zu realisieren. Hierunter ist nicht nur die Implementierung weiterer Sensorik zu verstehen, sondern auch die Integration in Ablauf- und Entscheidungsprozesse. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, datenbasierte Entscheidungen zu treffen (siehe Abbildung 25, rechte Seite). Erfahrungen bei der Implementierung der Piloten helfen dabei, eine Ausweitung umzusetzen.

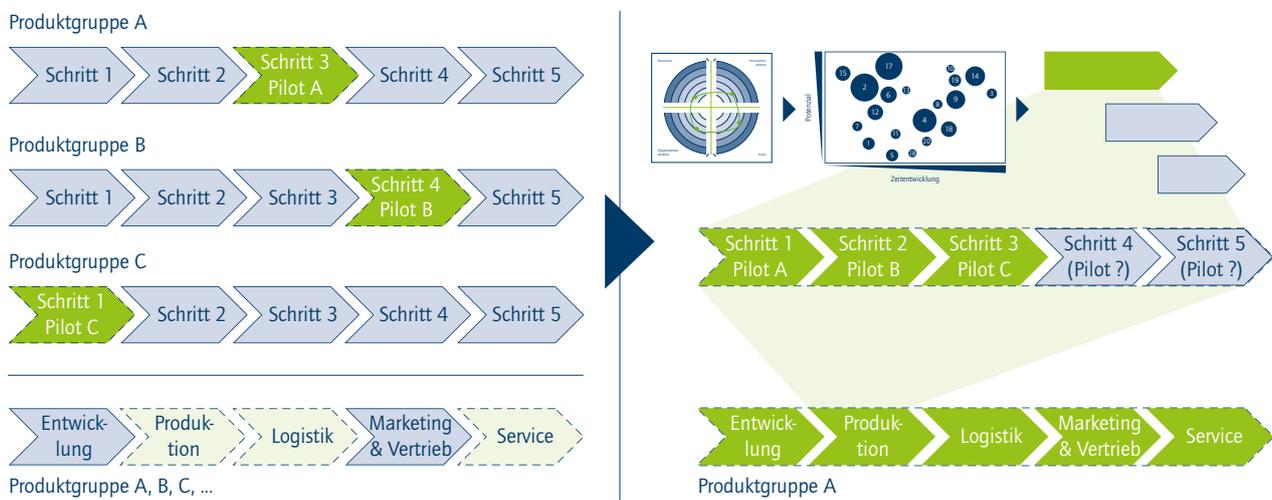


Abbildung 25: Beispiel der identifizierten Maßnahmen (Quelle: eigene Darstellung)

## 7 Zusammenfassung

Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde 2011 geprägt und beschreibt seitdem die weitreichende Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien im industriellen Umfeld. Der Begriff wird seitdem jedoch teilweise missinterpretiert und fokussiert sich zu häufig lediglich auf technologische Elemente. Unternehmen müssen jedoch auch deren organisatorische Strukturen und die Kultur transformieren. Ziel ist es, ein lernendes, agiles Unternehmen zu werden, das sich einer ständig ändernden Umwelt flexibel anpassen kann.

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index gibt den Unternehmen ein Werkzeug in die Hand, um die Transformation in ein lernendes, agiles Unternehmen zu unterstützen. Der Index beschreibt sechs Entwicklungsstufen für die vier Strukturelemente eines

jeden Unternehmens. Jede Stufe ermöglicht dem Unternehmen einen zusätzlichen Nutzen. Der Index kann dazu benutzt werden, eine individuelle digitale Roadmap zu entwickeln, um Industrie 4.0 in allen Unternehmensbereichen einzuführen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen und dem entwickelten Modell können zukünftig Werkzeuge zur konkreten Ausgestaltung der Transformation in Unternehmen entwickelt werden. Hierbei empfiehlt sich ein spezifisches Vorgehen für einzelne Industriedomänen zu entwickeln, um möglichst konkrete Handlungsempfehlungen geben zu können und den Unterschieden in den einzelnen Industrien Rechnung zu tragen. Hierzu sind die Eigenheiten verschiedener Industriezweige und Geschäftsbeziehungen im Rahmen weiterer Validierungen zu untersuchen. Das Modell lebt, ganz im Sinne des kontinuierlichen Lernens, von zusätzlichen Informationen. Diese ergeben sich nicht nur aus Validierung, sondern auch durch den Austausch mit interessierten Industrie- und Forschungspartnern.



## Literatur

- acatech 2016**  
acatech (Hrsg.): *Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze* (acatech POSITION), München 2016.
- Afshari/Gibson 2016**  
Afshari, L./Gibson, P.: „How to Increase Organizational Commitment through Transactional Leadership“. In: *Leadership & Org Development*, 37: 4, 2016, S. 507-519. DOI: 10.1108/LODJ-08-2014-0148.
- Andersen et al. 2006**  
Andersen, B./Henriksen, B./Aarseth, W.: „Holistic Performance Management: an Integrated Framework“. In: *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55: 1, 2006, S. 61-78.
- Bauernhansel et al. 2016**  
Bauernhansel, T./Krüger, J./Reinhart, G./Schuh, G.: *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik Wgp e. V. (Hrsg.), 2016.
- Boos et al. 2011**  
Boos, W./Völker, M./Schuh, G.: „Grundlagen des Managements produzierender Unternehmen“. In: Schuh, G./Kampker, A. (Hrsg.): *Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag (VDI-Buch) 2011, S. 1-62.
- BMWi 2015**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): *Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm*, 2015.
- Burns/Stalker 2001**  
Burns, T./Stalker, G. M.: *The Management of Innovation*, Oxford: Oxford Univ. Press 2001.
- Ciupek 2016**  
Ciupek, M.: „Neues Leben für alte Maschinen“. In: *VDI nachrichten*, 29.04.2016 (17). URL: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Neues-Leben-fuer-alte-Maschinen> [Stand: 31.03.2017].
- Grunau 2014**  
Grunau, J.: *Führungsstile in der Diskussion: Transaktionale und transformationale Ansätze im Vergleich*, 2014.
- Gudehus 2010**  
Gudehus, T.: *Logistik*, Berlin, Heidelberg: Springer 2010.
- Hackathom 2002**  
Hackathom, R.: „Minimizing Action Distance“. In: *DM Review*, 12, 2002, S. 22-23.
- IEC**  
IEC 62443: *Network System and Security*.
- Jassawalla/Sashittal 1999**  
Jassawalla, A. R./Sashittal, H. C.: „Building Collaborative Cross-functional New Product Teams“. In: *Academy of Management Perspectives*, 13: 3, 1999, S. 50-63. DOI: 10.5465/AME.1999.2210314.
- Jensen 1998**  
Jensen, M. C.: *Foundations of Organizational Strategy*, Harvard University Press 1998.
- Kampker 2015**  
Kampker, A. (Hrsg.): *Wir müssen früh scheitern, um schneller erfolgreich zu sein. Effizienzsteigerung im Industrialisierungsprozess am Beispiel des StreetScooter*, Aachen: Apprimus Verlag 2015 (Return of Engineering).
- Love/Roper 2001**  
Love, J./Roper, S.: „The Organisation of Innovation: Collaboration, Cooperation and Multifunctional Groups in UK and German Manufacturing“. In: *Cambridge Journal of Economics*, 28: 3, 2001.
- McGrath 2012**  
McGrath, R. G.: „How the Growth Outliers Do It“. In: *Harvard Business Review*, Januar/Februar, 2012, S. 110-116.
- Muehlen/Shapiro 2010**  
Muehlen, M. zur/Shapiro, R.: „Business Process Analytics“. In: Brocke, J. vom/Rosemann, M. (Hrsg.): *Handbook on Business Process Management. Strategic Alignment, Governance, People and Culture*, zweite Auflage, New York: Springer Berlin Heidelberg 2010 (International Handbooks on Information Systems).

**Porter 1989**

Porter, M. E.: „From Competitive Advantage to Corporate Strategy“. In: Asch, D./Bowman, C. (Hrsg.): *Readings in Strategic Management*, London: Macmillan Education UK 1989, S. 234-255.

**Prahalad/Hamel 1990**

Prahalad, C. K./Hamel, G.: „The Core Competence of the Corporation“. In: *Harvard Business Review*, 86, 1990, S. 79-91.

**Pümpin/Amann 2005**

Pümpin, C./Amann, W.: *SEP. Strategische Erfolgspositionen; Kernkompetenzen aufbauen und umsetzen*, Bern: Haupt 2005.

**Reichwald/Piller 2009**

Reichwald, R./Piller, F.: *Interaktive Wertschöpfung. Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung*, Wiesbaden: Gabler Verlag/GWV Fachverlage GmbH 2009.

**Ries 2011**

Ries, E.: *The Lean Startup. How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*, New York, NY: Crown Business 2011.

**Schuh et al. 2014**

Schuh, G./Reiher, S./Heinitz, K./Soellner, R.: „Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme“. In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2014, S. 277-296.

**Schuh/Kampker 2011**

Schuh, G./Kampker, A.: *Strategie und Management produzierender Unternehmen*, Berlin, Heidelberg: Springer 2011.

**Schulte-Zurhausen 2014**

Schulte-Zurhausen, M.: *Organisation*, München: Vahlen 2014.

**Sturm et al. 2011**

Sturm, M./Potente, T./Thomas, C./Hauptvogel, A.: „Transformationale, transaktionale und passiv-vermeidende Führung. Eine metaanalytische Untersuchung ihres Zusammenhangs mit Führungserfolg“. In: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 55: 2, 2011.

**ten Hompel 2013**

ten Hompel, M.: „*Neue vernetzte Wege in der Logistik*“, BMWI. Autonomik – Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand, Berlin 2013.

**Yin 2009**

Yin, R. K.: *Case Study Research. Design and Methods*, Thousand Oaks [u. a.]: Sage Publications 2009.





## acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)



**Herausgeber:**

**Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh**  
RWTH Aachen  
Steinbachstraße 19  
52074 Aachen

**Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl**  
Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion  
Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier**  
Heinz Nixdorf Institut  
Universität Paderborn  
Fürstenallee 11  
33102 Paderborn

**Prof. Dr. Michael ten Hompel**  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4  
44227 Dortmund

**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster**  
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche  
Intelligenz GmbH, DFKI  
Stuhlsatzenhausweg 3  
66123 Saarbrücken

**Reihenherausgeber:**

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2017**

Geschäftsstelle	Hauptstadtbüro	Brüssel-Büro
Karolinenplatz 4	Pariser Platz 4a	Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
80333 München	10117 Berlin	1000 Brüssel (Belgien)
T +49 (0)89/52 03 09-0	T +49 (0)30/2 06 30 96-0	T +32 (0)2/2 13 81-80
F +49 (0)89/52 03 09-900	F +49 (0)30/2 06 30 96-11	F +32 (0)2/2 13 81-89
info@acatech.de		
www.acatech.de		

**Empfohlene Zitierweise:**

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (Hrsg.): *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2017.

ISSN 2192-6174

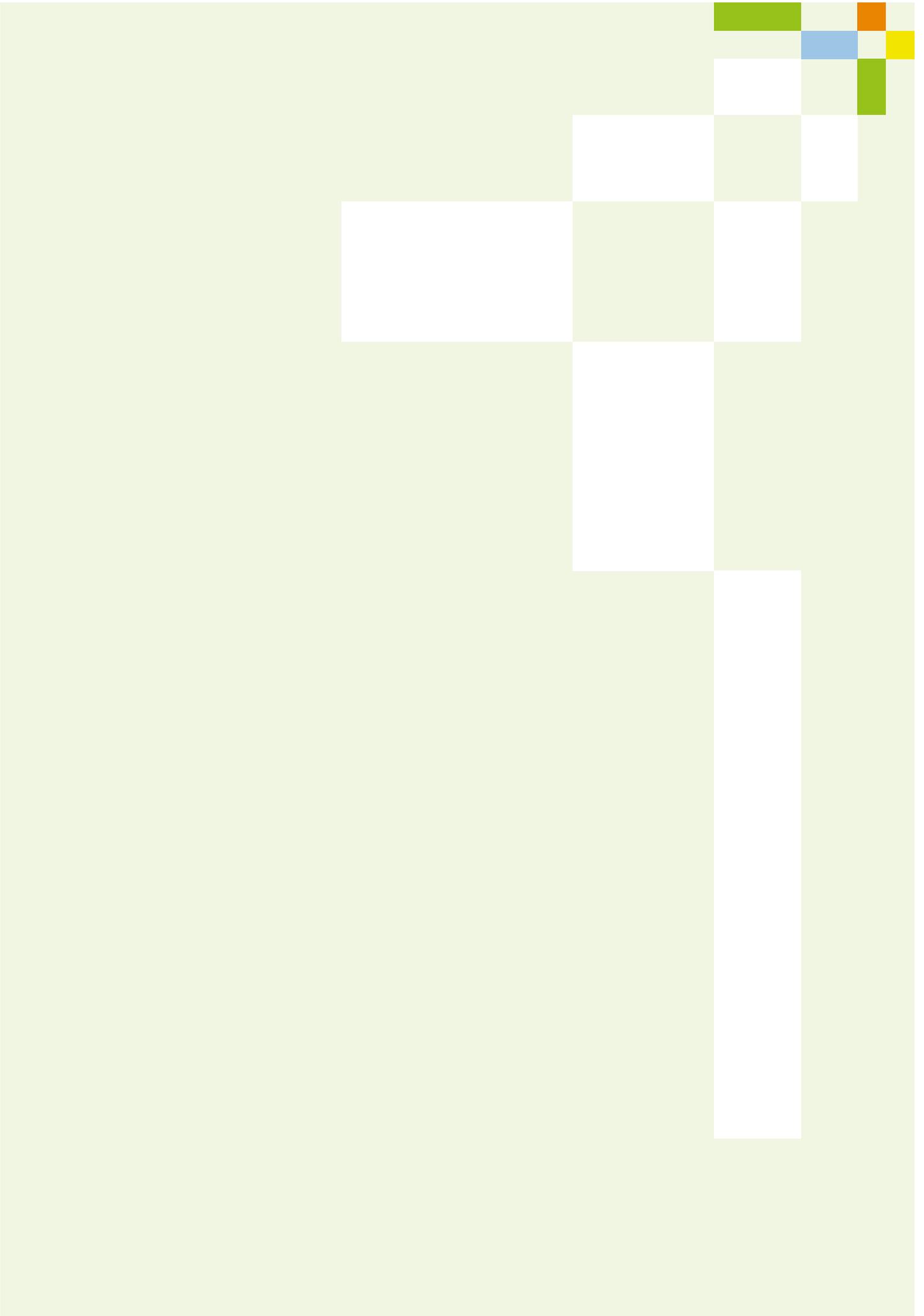
**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Koordination: Dr. Alexander Werbik, Dr. Johannes Winter  
Redaktion: Birgit Obermeier  
Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg  
Titelfoto: Florian Küttler/Westend61  
Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)





Die digital vernetzte industrielle Produktion verspricht schnellere und effizientere Prozesse – in Entwicklung und Produktion wie auch in Service, Marketing und Vertrieb oder bei der Anpassung ganzer Geschäftsmodelle. Agil zu handeln und in Echtzeit Veränderungen vorzunehmen, wird in der Industrie 4.0 zur strategischen Erfolgseigenschaft eines Unternehmens. Voraussetzung dafür ist der Aufbau einer immer breiteren Datenbasis. Ob deren Potenzial effektiv genutzt wird, hängt jedoch auch wesentlich von der Organisationsstruktur und Kultur eines Unternehmens ab.

Die vorliegende acatech STUDIE stellt ein neues Instrument vor, mit dem produzierende Unternehmen den Weg zum lernenden, agilen Unternehmen individuell gestalten können. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index ist als sechsstufiges Reifegradmodell aufgebaut und analysiert die in der digitalisierten Industrie benötigten unternehmerischen Fähigkeiten in den Gestaltungsfeldern Ressourcen, Informationssysteme, Kultur und Organisationsstruktur. Jede erreichte Entwicklungsstufe verspricht produzierenden Unternehmen einen konkreten Zuwachs an Nutzen. Das Modell wurde in der praktischen Anwendung in einem mittelständischen Betrieb validiert.