

**Band
424**

Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier (Hrsg.)
Advanced Systems Engineering

Christoph Pierenkemper

Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien

Christoph Pierenkemper

***Systematik zur Entwicklung
Leistungsstufen-basierter
Industrie 4.0-Strategien***

***Approach for the development of
performance level-based
Industry 4.0 strategies***

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Band 424 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2024

ISSN (Print): 2195-5239

ISSN (Online): 2365-4422

ISBN: 978-3-947647-43-9

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Als elektronische Version frei verfügbar über die Digitalen Sammlungen der Universitätsbibliothek Paderborn.

Satz und Gestaltung: Christoph Pierenkemper

Geleitwort

Das Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik. Unser generelles Ziel ist die Steigerung der Innovationskraft von Industrieunternehmen im Informationszeitalter. Ein Schwerpunkt des Fachgebiets „Advanced Systems Engineering“ ist die strategische Planung und Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen für die Märkte von morgen im Kontext der industriellen Produktion.

Die Digitalisierung durchdringt alle Lebensbereiche und führt insbesondere zu tiefgreifenden Veränderungen der industriellen Wertschöpfung (Industrie 4.0). Neben den technischen Herausforderungen rücken in Zeiten immer kürzerer Innovations- und Produktlebenszyklen und sich permanent wandelnden Geschäftsumfeldern zunehmend organisatorische und soziale Aspekte bei der Ausgestaltung des Geschäfts von morgen in den Vordergrund. Vor allem kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) müssen mit den kontinuierlichen Veränderungen Schritt halten. Aufgrund ihrer gesamtwirtschaftlichen Bedeutung und der Tatsache, dass den mittelständischen Unternehmen eine konsequente digitale Transformation offensichtlich häufig schwer fällt, ist eine Unterstützung bei der strategischen Planung im Zusammenhang mit Industrie 4.0 unerlässlich.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Pierenkemper eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien entwickelt. Die Systematik zeigt auf, wie produzierende Unternehmen eine Digitalisierungsstrategie mit Hilfe eines Reifegradmodells unter Berücksichtigung der drei Dimensionen Technik, Business und Mensch ausgestalten können. Dazu wird ein Vorgehen bereitgestellt, das ausgehend von einem Industrie 4.0-Reifegradmodell eine Standortbestimmung und eine auf Methoden der Vorausschau basierende Zieldefinition ermöglicht. Unter Berücksichtigung der Zukunftsentwicklungen und der Kombination konsistenter Ziel-Leistungsstufen können Entwicklungspfade mit Zwischenzielen abgeleitet werden. Resultat der Systematik ist eine Industrie 4.0-Strategie, die insbesondere KMU unterstützt, ihre digitale Transformation unter soziotechnischen Gesichtspunkten vollumfänglich zu planen. Die Systematik wurde in einem anspruchsvollen Industrieprojekt validiert. Die Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit auszugsweise und anonymisiert dargestellt.

Mit seiner Arbeit hat Herr Pierenkemper einen wertvollen Beitrag zur strategischen Geschäftsplanung im Zeitalter der Digitalisierung geleistet. Die Systematik zeichnet sich u. a. durch ihre Praxisrelevanz aus und fügt sich in das 4-Ebenen-Modell der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung des Heinz Nixdorf Instituts ein.

Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen- basierter Industrie 4.0-Strategien

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät Maschinenbau
der Universität Paderborn

vorgelegte
DISSERTATION

von
M.Sc. Christoph Pierenkemper
aus Rheda-Wiedenbrück

Tag des Kolloquiums:
Referent:
Korreferent:

16. Mai 2024
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut (HNI) der Universität Paderborn. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, der mich während unserer intensiven Zusammenarbeit tagtäglich forderte und zugleich förderte. Die Möglichkeit zur Mitwirkung in anspruchsvollen Projekten verbunden mit den fachlichen Diskursen, dem stets konstruktiven Feedback und dem höchsten Anspruch an die Qualität von Arbeitsergebnissen hat mich maßgeblich geprägt. Ich fasse es als hohes Privileg auf, dass Sie mich während meiner Laufbahn als Mentor begleitet haben. Ausdrücklich bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu. Unsere Zusammenarbeit war geprägt von großem Vertrauen, was mir durch große Freiräume und Gestaltungsmöglichkeiten in meiner täglichen Arbeit immer wieder vor Augen geführt wurde. Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl von der Technischen Universität Darmstadt.

Meinen Mitstreiterinnen und Mitstreitern in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering sowie des Fraunhofer-Instituts IEM danke ich für die hervorragende und kollegiale Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt Dr.-Ing. Marvin Drewel, Dr.-Ing. Christian Dülme, Dr.-Ing. Maximilian Frank, Dr.-Ing. Christian Koldewey, Dr.-Ing. Maurice Meyer, Dr.-Ing. Jannik Reinhold, Dr.-Ing. Marcel Schneider, Patrick Ködding, Steffen Menzefricke, Michel Scholtysik und Leon Özcan. Ein großes Dankeschön gilt auch Alexandra Dutschke als „gute Seele“ für die großartige Unterstützung während der gesamten Zusammenarbeit. Ich danke auch den Studierenden für ihre Unterstützung als studentische Hilfskraft oder durch ihre studentischen Abschlussarbeiten. Hervorheben möchte ich Lisa Kirchberg und Thilo Kriegel. Der gelebte Teamspirit sowie der Anspruch an tägliche Höchstleistungen sucht seinesgleichen. Die Zusammenarbeit in einem solchen Umfeld kann man sich nur wünschen. Ich blicke unfassbar dankbar auf die gemeinsame Zeit zurück!

Meinen Eltern Gabi und Hermann sowie meiner Schwester Jana danke ich für die ausnahmslose Rückendeckung und Unterstützung auf meinem gesamten Lebensweg. Ihr habt mich stets auf die richtige Bahn gelenkt und mich zu dem gemacht, der ich heute bin. Dass am Ende meiner akademischen Laufbahn die Promotion stehen würde, haben wir wohl alle nicht erahnt.

Mein größter Dank gilt meiner Frau Vanessa. Du musstest häufig zurückstecken und verzichten. Gleichzeitig hast Du mir stets den Rücken frei gehalten. In den entscheidenden Momenten hast Du mich aufgebaut und daran erinnert, was wirklich wichtig im Leben ist. Ohne Dich hätte ich diese Arbeit nicht so erfolgreich abschließen können. Die Geburt unserer liebenswerten Tochter Sophie während der Promotionsphase macht unser Glück perfekt. Ich bin so dankbar, dass ich Euch habe!

Vorveröffentlichungen

- [DGK+17] DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.; KLUGE, A.; PIERENKEMPER, C.: Erfolgsgarant digitale Plattform – Vorreiter Landwirtschaft. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, F.; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017, 11.-12. Mai 2017, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, 2017, S. 53–66
- [KDM+18] KNOSPE, O.; DREWEL, M.; MITTAG, T.; PIERENKEMPER, C.; HOBSCHEIDT, D.: Leistungssteigerung durch Industrie 4.0 für kleine und mittlere Unternehmen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (113) 1-2, 2018, S.83-87
- [PDG18] PIERENKEMPER, C.; DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.: Zukunftsorientierte Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0. In: Smajic, H. (Hrsg.): Tagungsband AALE 2018 – Das Forum für Fachleute der Automatisierungstechnik aus Hochschulen und Wirtschaft, 15. Konferenz für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung (AALE), 1–2.März 2018, Köln, VDE Verlag, Berlin, 2018, S. 19–27
- [PRD19] PIERENKEMPER, C.; REINHOLD, J.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Erfolg versprechende Industrie 4.0-Zielposition. In: Industrie 4.0 Management, 35 (2019) 5, S. 30–34
- [PG20] PIERENKEMPER, C.; GAUSEMEIER, J.: Developing Strategies for Digital Transformation in SMEs with Maturity Models. In: Bitran, I.; Conn, S.; Gernreich, C.; Heber, M.; Huizingh, K.R.E.; Kokshagina, O.; Torkkeli, M. (Eds.): Proceedings of the ISPIM Connects Bangkok – Partnering for an Innovative Community. ISPIM Connects, March 1 – 4 2020, Bangkok, Thailand, 2020
- [KHP+22] KOLDEWEY, CHRISTIAN; HOBSCHEIDT, DANIELA; PIERENKEMPER, CHRISTOPH; KÜHN, ARNO; DUMITRESCU, ROMAN: Increasing Firm Performance through Industry 4.0 – A Method to Define and Reach Meaningful Goals. Sci, 39 (2022) 4, S. 1-27

Zusammenfassung

Die Digitalisierung ist allgegenwärtig und führt zu einem fundamentalen Wandel in Gesellschaft und Industrie. Im industriellen Umfeld werden die damit verbundenen Veränderungen unter dem Schlagwort Industrie 4.0 (kurz: I4.0) zusammengefasst. Sie spiegeln sich sowohl in technischen als auch organisatorischen und sozialen Veränderungen wider. Unternehmen sind gezwungen, sich diesem Wandel zu stellen, ihn zu gestalten und vorteilhaft für das zukünftige Geschäft zu nutzen. Besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wird die „digitale Transformation“ aufgrund begrenzter Ressourcen zur Mammutaufgabe. Sie stehen vor der Frage, wie sie diese Aufgabe im Sinne eines evolutionären Wandels effizient planen und vollziehen sollen. Besonders die Formulierung eines Zielbildes sowie die Erarbeitung zeitlich abgestufter zielgerichteter Maßnahmen zur Erreichung der Zielposition bilden große Herausforderungen.

Ziel der Arbeit ist daher eine Systematik zur Leistungsstufen-basierten Entwicklung von I4.0-Strategien. Hierzu wird zunächst eine I4.0-Vision formuliert. Mit Hilfe eines Reifegradmodells wird daraufhin die heutige Leistungsfähigkeit des Unternehmens im Kontext von I4.0 ermittelt. Mit Methoden der Vorausschau werden anschließend denkbare zukünftige Entwicklungen der Digitalisierung antizipiert. Daraus werden mittel- und langfristige Zielpositionen abgeleitet. Zur Erreichung der Zielpositionen wird eine I4.0-Strategie formuliert, die eine stufenweise Umsetzung ermöglicht.

Abstract

Digitization is omnipresent today and is leading to fundamental change in society and industry. In the industrial environment, the associated changes are summarized under the buzzword Industry 4.0 (I4.0 for short). They are reflected in technical as well as organizational and social changes. Companies are forced to face this change, to shape it and to use it advantageously for their future business. For small and medium-sized enterprises (SMEs) in particular, the "digital transformation" is becoming a mammoth task due to limited resources. They are faced with the question of how to efficiently plan and execute this task in the sense of evolutionary change. In particular, the formulation of a target vision and the development of time-phased, targeted measures to achieve the target position are major challenges.

The aim of this work is therefore to develop a system for the performance level-based development of I4.0 strategies. For this reason, an I4.0 vision is formulated first. An identified maturity model is used to determine the current performance of the underlying company in the context of I4.0. Methods of foresight are then used to anticipate future developments in digitization. Medium- and long-term target positions in the maturity model can be derived. In order to achieve the target positions, an I4.0 strategy is formulated that allows a step-by-step implementation of I4.0 in the company.

Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen- basierter Industrie 4.0-Strategien

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Problematik.....	7
1.2	Zielsetzung	9
1.3	Vorgehensweise	10
2	Problemanalyse	11
2.1	Begriffsabgrenzung.....	11
2.1.1	Digitalisierung, Industrie 4.0 und digitale Transformation.....	11
2.1.2	Leistung, Leistungsfähigkeit und Leistungssteigerung	14
2.1.3	Reifegrad, Reifegradmodell und Reifegradmanagement	17
2.1.4	Strategie, Digitalisierungsstrategie, Industrie 4.0-Strategie.....	19
2.2	Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung	22
2.3	Digitalisierung industrieller Unternehmen (Industrie 4.0)	24
2.3.1	Digitalisierung des Leistungsangebots	24
2.3.2	Digitalisierung der Wertschöpfung durch Industrie 4.0	27
2.3.3	Analyse von Industrie 4.0-Implementierungsprozessen	29
2.3.4	Die Rolle von KMU im Rahmen der digitalen Transformation	31
2.4	Konzepte der strategischen Unternehmensführung	35
2.4.1	St. Galler Management-Konzept	35
2.4.2	Prozess der strategischen Führung nach GAUSEMEIER ET AL.....	36
2.4.3	Einordnung von Industrie 4.0-Strategien	40
2.4.4	Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien unter	
	soziotechnischen Gesichtspunkten	42
2.5	Einsatz von Reifegradmodellen zur Unternehmensführung.....	43
2.5.1	Anwendungsdomänen.....	44
2.5.2	Unterscheidungsmerkmale von Reifegradmodellen	47
2.5.3	Struktur und Aufbau von Reifegradmodellen.....	52
2.5.4	Popularität von Industrie 4.0-Reifegradmodellen	55
2.5.5	Benchmarking mit Reifegradmodellen.....	57
2.6	Problemabgrenzung	58
2.7	Anforderungen an die Systematik.....	61

2.7.1	Übergeordnete Anforderungen.....	61
2.7.2	Anforderungen an die Leistungsbewertung und -steigerung.....	62
2.7.3	Anforderungen an die Industrie 4.0-Strategieentwicklung.....	63
3	Stand der Technik.....	65
3.1	Reifegrad-basierte Strategie- und Transformationsansätze..... für Industrie 4.0.....	65
3.1.1	Industrie 4.0 Maturity Index (2020) nach SCHUH ET AL.....	65
3.1.2	Strategischer Ansatz zur Industrie 4.0-Transformation nach OLEFF und MALESSA	67
3.1.3	Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen..... nach HENNEGRIFF ET AL.....	69
3.1.4	Reifegrad-basierte Industrie 4.0-Migration nach MORLOCK ET AL.....	71
3.1.5	Industrie 4.0-Roadmapping nach SCHUMACHER ET AL.....	72
3.1.6	Erschließung von Industrie 4.0-Potentialen nach JODLBAUER und..... SCHAGERL	74
3.1.7	Industrie 4.0-Migration nach KAUFMANN	76
3.1.8	Reifegradmodell-basierte Planung von Cyber-Physical Systems nach WESTERMANN	78
3.1.9	Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap nach PESSL ET AL.....	80
3.1.10	Entwicklung von Digitalisierungsstrategien nach LIPSMEIER.....	82
3.2	Weitere Transformationsansätze für Industrie 4.0.....	85
3.2.1	Umsetzungspfade mit Hilfe soziotechnischer Industrie 4.0-Muster nach HOBSCHEIDT ET AL.....	85
3.2.2	Unternehmensspezifische Einführungsreihenfolgen für Industrie 4.0-Methoden nach LIEBRECHT ET AL.....	87
3.2.3	Entwicklung von Industrie 4.0-Einführungsstrategien nach MERZ	89
3.3	Ansätze zur Reifegrad-basierten Leistungssteigerung	90
3.3.1	Reifegrad-basierte Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand nach BENSIEK.....	90
3.3.2	Entwicklung Reifegrad-basierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle nach CHRISTIANSEN.....	92
3.3.3	VPS-Benchmark nach GAUSEMEIER ET AL.....	94
3.4	Weitere Ansätze zur Leistungssteigerung von Unternehmen	95
3.4.1	PDCA-Systematik nach DEMING	95
3.4.2	Business Process Reengineering (BPR) nach GAUSEMEIER ET AL.....	97
3.5	Ansätze zur Entwicklung von Strategien.....	99
3.5.1	Prozess der Strategieentwicklung nach WIRTZ.....	99
3.5.2	Entwicklung von Geschäftsstrategien nach GRÜNIG u. KÜHN.....	101

3.5.3	Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen..... nach BÄTZEL	102
3.6	Ansätze zur Unterstützung der Strategieentwicklung	104
3.6.1	Szenario-Management nach GAUSEMEIER.....	104
3.6.2	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) nach VDI/ZVEI ..	106
3.7	Ausgewählte Konzepte des Strategie-Controllings	108
3.7.1	Balanced Scorecard nach KAPLAN/NORTON	108
3.7.2	Performance Pyramid nach LYNCH/CROSS	110
3.7.3	Quantum Performance Measurement Matrix	112
3.8	Handlungsbedarf	113
4	Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien	119
4.1	Vorbereitung	120
4.1.1	Formulierung einer Industrie 4.0-Vision.....	121
4.1.2	Sammlung von Reifegradmodellen	123
4.1.3	Bewertung und Auswahl eines geeigneten	
	Industrie 4.0-Reifegradmodells	125
4.2	Standortbestimmung.....	128
4.2.1	Bewertung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit	129
4.2.2	Priorisierung von Handlungselementen.....	132
4.2.3	Abhängigkeitsanalyse	134
4.3	Zieldefinition	136
4.3.1	Strategische Vorausschau	136
4.3.2	Auswirkungsanalyse.....	142
4.3.3	Benchmarking und Ermittlung der Zielposition	143
4.3.4	Konsistenz-Check und Entwicklungsabfolge	145
4.4	Strategieentwicklung.....	147
4.4.1	Ableitung strategischer Industrie 4.0-Programme	147
4.4.2	Erstellung eines Maßnahmenkatalogs	150
4.4.3	Erstellung einer Industrie 4.0-Roadmap	151
4.4.4	Erarbeitung eines Controlling-Konzepts	153
4.4.5	Ableitung der Industrie 4.0-Strategie	155
4.5	Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen	157
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	161
6	Literaturverzeichnis.....	165

Anhang

A1	Industrielle Wirtschaftszweige	A-1
A2	Reifegradmodelle und deren Anwendungsdomänen	A-3
A3	Unterscheidungskriterien von Strategien	A-5
A4	Identifizierte Industrie 4.0-Reifegradmodelle	A-7
A5	INLUMIA-Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“	A-9
A6	Merkmale u: Ausprägungen zur Unternehmensklassifizierung ...	A-17
A7	Zukunftsszenarien	A-19
A8	Software-Werkzeug	A-23

Abkürzungsverzeichnis

bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CPS	Cyber-physische Systeme
CPPS	Cyber-physische Produktionssysteme
d.h.	das heißt
DSM	Design Structure Matrix
et al.	et alii
etc.	et cetera
f./ff.	folgende/ fortfolgende
ggf.	gegebenenfalls
i.d.R.	in der Regel
IT	Information Technology
KI	Künstliche Intelligenz
o.ä.	oder ähnliche
o.g.	oben genannte
OT	Operational Technology
S.	Seite
s.u./s.o.	siehe unten/siehe oben
sog.	sogenannte
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

„There is no alternative to digital transformation. Visionary companies will carve out new strategic options for themselves — those that don’t adapt, will fail.” – JEFF BEZOS

Die vorliegende Arbeit adressiert die Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Eine Industrie 4.0-Strategie beschreibt den Weg zur Erreichung einer unternehmerischen Vision bezogen auf die vierte industrielle Revolution („Industrie 4.0“ oder kurz: „I4.0“). Große Unternehmen und Konzerne haben die Bedeutung von Industrie 4.0 meist frühzeitig erkannt und in ihre strategische Unternehmensplanung einbezogen [Del19, S. 6f.]. Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) dagegen stehen häufig vor der Herausforderung, das „Paradigma Industrie 4.0“ zu verstehen, die wesentlichen Schlüsse hieraus für das eigene Unternehmen zu ziehen und Industrie 4.0 erfolgreich umzusetzen [Sch16-ol, S. 3ff.], [Del19, S. 6f.]. Die entwickelte Systematik unterstützt insbesondere KMU bei der Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie und zeigt auf, wie diese unter Nutzung der Leistungsstufen von Industrie 4.0-Reifegradmodellen systematisch hergeleitet werden kann. Im Fokus stehen produzierende Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, der Elektrotechnik sowie Unternehmen verwandter Branchen. Prinzipiell kann das Vorgehen aber auch auf andere Branchen und Klassen von Unternehmen übertragen werden.

In den Abschnitten 1.1 und 1.2 werden Problematik und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit dargestellt. Abschnitt 1.3 gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit.

1.1 Problematik

Die zunehmende Durchdringung von Gesellschaft und Industrie mit **Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)** treibt Innovationen im Maschinenbau und verwandten Branchen seit Jahren kontinuierlich voran [Ber15-ol], [for16, S. 9f.]. IKT bilden die Grundlage für die **ad-hoc-Vernetzung** von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen über den gesamten Globus. Wesentliche Treiber hierfür bilden sog. **Intelligente Technische Systeme (ITS)**, die mit umfangreicher Sensorik und Aktorik ausgestattet sind und über das Internet miteinander kommunizieren. Die Grenzen zwischen der physischen und virtuellen Welt verschmelzen zunehmend – es bilden sich sog. **Cyber-Physical-Systems (CPS)**, die auf dem engen Zusammenwirken von Disziplinen wie Mechanik, Elektronik und Software beruhen. Im Zuge des Leistungserstellungsprozesses produzierender Unternehmen wird dieses Paradigma seit vielen Jahren als sog. vierte industrielle Revolution – kurz: **Industrie 4.0** – bezeichnet [KWH13, S. 17].

Der Einsatz von CPS im produzierenden Gewerbe und die dadurch getriebene digitale Transformation von Unternehmen führen zu **tiefgreifenden Veränderungen in der Wertschöpfung** [Sch18, S. 6ff.]. Aufgrund der fortschreitenden Individualisierung von

Marktleistungen, kürzeren Produktlebenszyklen und einem steigenden Wettbewerbsdruck reichen eine Qualitäts-, Technologie- und Kostenführerschaft als Differenzierungsmerkmale nicht mehr aus [Man10, S. 1], [Luk13, S. 83], [LG14, S. 250]. Während sich Wettbewerbsvorteile bisher zum Beispiel aus technisch hochwertigen materiellen Erzeugnissen ergaben, gleichen sich durch die globale Annäherung von Produzenten und Konsumenten Produktfunktionalitäten, Qualität und Preise immer stärker an. Differenzierungen erfolgen zunehmend über produktbegleitende Dienstleistungen [SGK06, S. 26], [SD06, S. 464]. Bei der Digitalisierung rücken daten- und internetbasierte Dienstleistungen in den Fokus (sog. Smart Services) [EGK+16, S. 35], [BGG17, S. 3], [Pal17, S. 165]. Infolgedessen durchlaufen Unternehmen des produzierenden Gewerbes einen Wandel vom Produzenten zu produzierenden Dienstleistern [SFG04, S.17]. Es entstehen zwangsläufig **neue Wertschöpfungssysteme** [Sch18, S. 20ff.]. Ein Beispiel sind digitale Plattformen, bei denen Intermediäre die Kundenschnittstelle besetzen [EPR17, S. 26f.]. Damit einhergehend entstehen **neue digitale und zumeist Technologie-induzierte Geschäftsmodelle**, die auf eine Erhöhung des Kundennutzens und die Verbesserung der eigenen Wertschöpfung abzielen [PH14, S. 57f.], [EGK+16, S. 35].

Neben den beschriebenen technischen und organisatorischen Herausforderungen werden mit Industrie 4.0 auch **soziale Veränderungen am Arbeitsplatz** vorhergesagt [Zim17, S. 69], [aca19, S. 5f.]. Hierzu zählen zum Beispiel neue Formen der Arbeitsorganisation und Zusammenarbeit sowie Fähigkeiten zum Austausch mit Maschinen (Mensch-Maschine-Interaktion), Problemlösungs- und Optimierungskompetenzen oder die Fähigkeit und Bereitschaft zur Mitwirkung an Innovationsprozessen [Bot15, S. 4], [aca16, S. 18].

Angesichts der vielfältigen Veränderungen und Möglichkeiten sehen sich insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit **kaum überschaubaren Handlungsalternativen und Herausforderungen** konfrontiert [Sch16-ol, S. 4ff.], [BUB17, S. 119], [BB17, S. 13]. Zudem sind für viele Unternehmen die Ziele und Nutzenpotentiale von Industrie 4.0 nicht hinreichend erkennbar bzw. das Kosten-/Nutzenverhältnis unklar [WWB15, S. 36], [VDM15, S. 7], [Bis15, S. 70], [SAD+20, S. 11]. Daher ist es notwendig, sich dem Thema schrittweise zu nähern. **Reifegradmodelle für Industrie 4.0** mit klar definierten, aufeinander aufbauenden Entwicklungsstufen bieten einen geeigneten Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung [MWL+16, S. 306ff.]. Sie haben wesentliche Vorteile: Sie identifizieren systematisch Verbesserungspotentiale in den Unternehmensbereichen, ermöglichen eine umfangreiche Analyse der Ist-Situation und erlauben den Vergleich mit einem geplanten Soll-Zustand. Gleichzeitig sind sie einfach anzuwenden, aufgrund der vorgegebenen Struktur für mehrere Betrachter aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen nachvollziehbar und die Bewertungsergebnisse liegen nach der Anwendung unmittelbar zur weiteren Interpretation vor [KT17, S. 30ff.]. Sie können zum Beispiel zur **systematischen, evolutionären Planung der digitalen Transformation in KMU** in Form einer Industrie 4.0-Strategie genutzt werden.

Untersuchungen belegen allerdings, dass eine **Industrie 4.0-Strategie** in mittelständischen Unternehmen häufig nicht existiert [Bis15, S. 69], [Sch16-ol, S. 11f.], [MG+17,

S. 608], [FHL+19, S. 33f.]. Vor dem Hintergrund der Nutzenpotentiale von Industrie 4.0, dem steigenden internationalen Wettbewerbs- und Innovationsdruck sowie der Struktur der hier betrachteten Unternehmen ist dieser Zustand inakzeptabel. Mit Hilfe fundierter Industrie 4.0-Strategien muss sichergestellt werden, dass die deutsche Industrie nicht den Anschluss verliert [Sch16-ol, S. 3], [KAG+16, S. 39]. Die Strategien müssen auf die individuelle Situation eines Unternehmens zugeschnitten sein. Unternehmen benötigen Unterstützung bei der **systematischen Erfassung des aktuellen Leistungsstands** im Bereich Industrie 4.0 („*Wo befindet sich unser Unternehmen heute?*“). Ferner ist eine Hilfestellung bei der **Ermittlung der unternehmensindividuellen Zukunftsposition** erforderlich („*Wo sehen wir unser Unternehmen in der Zukunft?*“). Zudem gilt es, Unternehmen bei der **Planung des individuellen Umsetzungspaths** zu begleiten und die Umsetzungsaktivitäten in einer schlagkräftigen Industrie 4.0-Strategie zu konsolidieren („*Wie gestalten wir den Weg von der heutigen Situation zur wünschenswerten Situation in der Zukunft?*“).

Fazit: Um die Geschäftspotentiale durch Industrie 4.0 bestmöglich auszuschöpfen, muss die digitale Transformation eine zentrale Rolle in den strategischen Planungsprozessen von Unternehmen einnehmen. Die unkoordinierte Umsetzung einzelner Digitalisierungsaktivitäten im Sinne von Insellösungen führt nicht zum Erfolg. Vielmehr sind die Anstrengungen aufeinander abzustimmen und in einer schlagkräftigen Industrie 4.0-Strategie zu bündeln. Eine derartige Strategie sichert den langfristigen Erfolg der Unternehmen und leistet einen wesentlichen Beitrag für kleine und mittelständische Unternehmen, die Positionierung im globalen Wettbewerb zu stärken.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Sie dient dazu, Unternehmen bei der vorteilhaften Positionierung im Wettbewerb durch den Einsatz von Reifegradmodellen bezogen auf die Digitalisierung zu unterstützen. Die Systematik richtet sich insbesondere an Top-Manager und Führungskräfte wie beispielsweise Digital Transformation Officer (DTO), Chief Digital Officer (CDO), und Business Development Manager (BDM) in kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie an Unternehmensberater, die sich in ihrer täglichen Beratungspraxis mit der digitalen Transformation produzierender Unternehmen befassen.

Die Systematik besteht aus einem Vorgehensmodell sowie einem Software-Werkzeug. Das **Vorgehensmodell** dient als Orientierungsrahmen für Anwender im Sinne einer Schritt-für-Schritt-Anleitung. Das **Software-Werkzeug** bildet ein Hilfsmittel und leitet den Anwender mit Hilfe eines rechnerunterstützten Workflows durch das Vorgehensmodell. Die Validierung erfolgt anhand eines Praxisbeispiels.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit ist in fünf Kapitel gegliedert. Nach der Einleitung wird in **Kapitel 2** die dargelegte Problematik präzisiert. Dazu werden zunächst relevante Begriffe definiert und abgegrenzt. Anschließend wird die zu entwickelnde Systematik in das 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung nach GAUSEMEIER eingeordnet. Es folgt eine Diskussion über die Digitalisierung produzierender Unternehmen, gefolgt von einer Diskussion des Konzepts der strategischen Unternehmensführung. Anschließend wird der Einsatz von Reifegradmodellen untersucht. Ferner werden die resultierenden Handlungsfelder aufgezeigt. Die Problemanalyse schließt mit Anforderungen an die Systematik.

In **Kapitel 3** wird der Stand der Technik dargelegt. Dieser beinhaltet – zum Teil Reifegrad-basierte – Methoden und Hilfsmittel, die sich zur Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien eignen oder diese sogar unmittelbar adressieren. Die Untersuchung und Bewertung der dargelegten Ansätze anhand der in Kapitel 2 ermittelten Anforderungen erlauben die Ableitung des Handlungsbedarfs.

Kapitel 4 beinhaltet die Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Zu Beginn wird das Vorgehensmodell vorgestellt. In den folgenden Abschnitten werden einzelnen Phasen der Systematik erläutert. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung der in Kapitel 2 gestellten Anforderungen an die Systematik.

Kapitel 5 liefert eine Zusammenfassung und einen Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen im Themenfeld von Industrie 4.0-Strategien.

2 Problemanalyse

Ziel der Problemanalyse sind Anforderungen an eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Den Ausgangspunkt bildet die in Abschnitt 1.1 dargelegte Problematik. Diese wird in der Problemanalyse konkretisiert. Abschnitt 2.1 dient dazu, wesentliche Begriffe für das Verständnis der Arbeit zu diskutieren. In Abschnitt 2.2 erfolgt eine Einordnung der Systematik in das 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung nach GAUSEMEIER.

Den Kern der Arbeit bildet die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie mit Hilfe eines Industrie 4.0-Reifegradmodells. Vor diesem Hintergrund werden zunächst das Paradigma Industrie 4.0 sowie dessen Auswirkungen auf produzierende Unternehmen in Abschnitt 2.3 diskutiert. Abschnitt 2.4 widmet sich anschließend dem Konzept der strategischen Unternehmensführung. Daraufhin wird in Abschnitt 2.5 der Einsatz von Reifegradmodellen im Rahmen der Unternehmensführung diskutiert. Abschließend erfolgt eine Problemabgrenzung (Abschnitt 2.6) und es werden Anforderungen an die Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien abgeleitet (Abschnitt 2.7).

2.1 Begriffsabgrenzung

In den folgenden Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.4 werden Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt, die für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung sind. Hierdurch wird sichergestellt, dass für die in der einschlägigen Literatur zum Teil kontrovers diskutierten Begriffe ein einheitliches Verständnis existiert. Die folgenden Abschnitte erheben keinen Anspruch auf eine vollständige Diskussion der Literatur.

2.1.1 Digitalisierung, Industrie 4.0 und digitale Transformation

Die Begriffe *Digitalisierung*, *Industrie 4.0* und *digitale Transformation* werden in der Literatur häufig nicht trennscharf oder sogar synonym verwendet, als Megatrend, Paradigma, Hype oder gar Revolution bezeichnet, in verschiedene Abwandlungsformen¹ überführt oder aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. MERTENS und BARBIAN sprechen in diesem Zusammenhang sogar von einer „*Inflationierung*“ des „*D-Wortes*“, des „*I-Wortes*“ und der „*Zahl 4.0*“ [MB16, S. 303ff.]. Für WOLF und STROHSCHEN sorgt das inkonsistente Spektrum der oft synonym verwendeten Begrifflichkeiten sogar für eine *Verwässerung* [WS18, S. 56]. Die nachfolgenden Ausführungen ordnen diese Begriffe und stellen ihre Verbindung zueinander dar. Die Basis bildet der Digitalisierungsbegriff, für den zwei wesentliche Interpretationsweisen existieren – die *technische Sicht* (im Fol-

¹ Zum Beispiel „Farming 4.0“ im landwirtschaftlichen Kontext (vgl. [Cla16, S. 33ff.]).

genden bezeichnet als *Digitalisierung im (originären) engeren Sinne*) und die *gesellschaftliche Sicht* (nachfolgend als *Digitalisierung im weiteren Sinne* bezeichnet) [BS16, S. 75], [AP16, S. 21f.], [Ech20, S. 17ff.].

Digitalisierung im (originären) engeren Sinne beschreibt die Umwandlung von analogen zu digitalen Daten zum Zweck der Speicherung, Verarbeitung und elektronischen Übertragung [PMT04, S. 26ff.], [MBB17, S. 35], [Web17, S. 16]. Den Ausgangspunkt bilden meist analoge Medien (z. B. Photonegativ, Diapositiv, Tonband oder Schallplatte), die in digitale (binäre) Repräsentationen überführt werden. Daher wird die Unterscheidung digital/analog auch häufig der Medienhistorie Mitte des 20. Jahrhundert zugeschrieben, wenngleich Sichtweisen existieren, die diesen Umbruch auch anderen Domänen zu deutlich früheren Zeitpunkten² zuordnen [Sch04, S. 7ff.]. Im Zuge der Durchdringung aller Lebensbereiche der Gesellschaft mit Informationstechnologien³ und den damit verbundenen Möglichkeiten und Veränderungen hat sich in den vergangenen Jahren allerdings ein erweitertes Begriffsverständnis herausgebildet [AP16, S. 22].

Unter der **Digitalisierung im weiteren Sinne** wird die Durchdringung aller Lebensbereiche mit digitalen Technologien sowie alle Veränderungen verstanden, die durch die zunehmende Anwendung bzw. den Einsatz von digitalen Technologien entstehen [Eck14, S. 263], [Lei15, S. 2], [Str15, S. 15], [Düc19, S. 183]. Jene digitalen Technologien wie Mikroprozessoren, Sensoren/Aktoren und das Internet gelten als „Enabler“ der Digitalisierung [KG16, S. 53], [CD16, S. 27ff.]. Geräte und Systeme in der physischen Umgebung werden mittels dieser Technologien sowie mit Hilfe eingebetteter Software in das globale Kommunikationsnetz integriert, wodurch das sog. „*Internet der Dinge*“ entsteht. Gleichzeitig stellen die heutigen Möglichkeiten der Datenverarbeitung und des Datentransports, Cloud Computing, Big Data, Künstliche Intelligenz, Robotik sowie Blockchain-Technologien und Cyber Security zusätzliche Treiber der Digitalisierung dar [Abo16, S. 28f.], [Fab19, S. 3ff.]. Hierdurch ergeben sich faszinierende Möglichkeiten für innovative Dienstleistungen, die in geschickter Kombination mit Sachleistungen zu attraktiven Geschäftsmodellen führen können. Es entsteht das sog. „*Internet der Daten und Dienste*“ (Bild 2-1) [KRH+14, S. 26ff.], [GCD15, S. 15ff.].

Die zwei aufgezeigten Entwicklungsstränge führen zu einer Verschmelzung der realen und virtuellen Welt [KLW11, S. 2], [GP14, S. 3ff.]. Sie eröffnen darüber hinaus völlig neue Anwendungsfelder in der Gesellschaft sowie der industriellen Wertschöpfung von Unternehmen. Der damit verbundene Wandel der Unternehmenswelt und die Etablierung digitaler Technologien auf Basis des Internets sowie deren fundamentale Auswirkungen auf die Gesellschaft werden auch als **digitale Transformation** bezeichnet⁴ [BM17, S. 46], [Lin18, S. 128ff.], [Pou20-ol]. KAGERMANN ET AL. haben diesen industriellen

² Beispiele sind das LEIBNIZ'sche Binärkalkül im 17. Jahrhundert oder die Erfindung der Telegraphie im 19. Jahrhundert [Sch04, S. 8].

³ NORA und MINC sprechen in diesem Kontext von *Informatisierung der Gesellschaft* (vgl. [NMK79]).

⁴ Hierbei handelt es sich um die hier zugrunde gelegte Definition. Eine einheitliche Definition existiert bisher nicht. Weitere Definitionen können beispielsweise [Sch16] entnommen werden.

Transformationsprozess 2011 als vierte industrielle Revolution⁵ (kurz: **Industrie 4.0**) ausgerufen. Der Ausdruck beschreibt die technische Integration von Cyber-physischen Systemen (CPS) in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in die Wertschöpfungsprozesse von Industrieunternehmen⁶ [KWH13, S. 18]. Einer ähnlichen Definition folgt OBERMAIER, in dem er Industrie 4.0 als „eine Form industrieller Wertschöpfung, die durch Digitalisierung, Automatisierung sowie Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure charakterisiert ist und auf Prozesse, Produkte oder Geschäftsmodelle von Industriebetrieben einwirkt“ beschreibt [Obe16, S. 8]. Durch Industrie 4.0 entstehen neue globale und hochdynamische, ad-hoc vernetzte und echtzeitfähige Formen der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen. Sie ermöglichen beispielsweise die Erfüllung individueller Kundenwünsche bzgl. des Designs, der Konfiguration etc. sowie die Erfüllung kurzfristiger Änderungswünsche an Produkte. Ferner entstehen neue Kollaborationsformen zwischen Menschen, zwischen Maschinen sowie zwischen Menschen und Maschinen, die die Arbeitsgestaltung prägen [KWH13, S. 19ff.], [GKD+16, S. 11ff.].

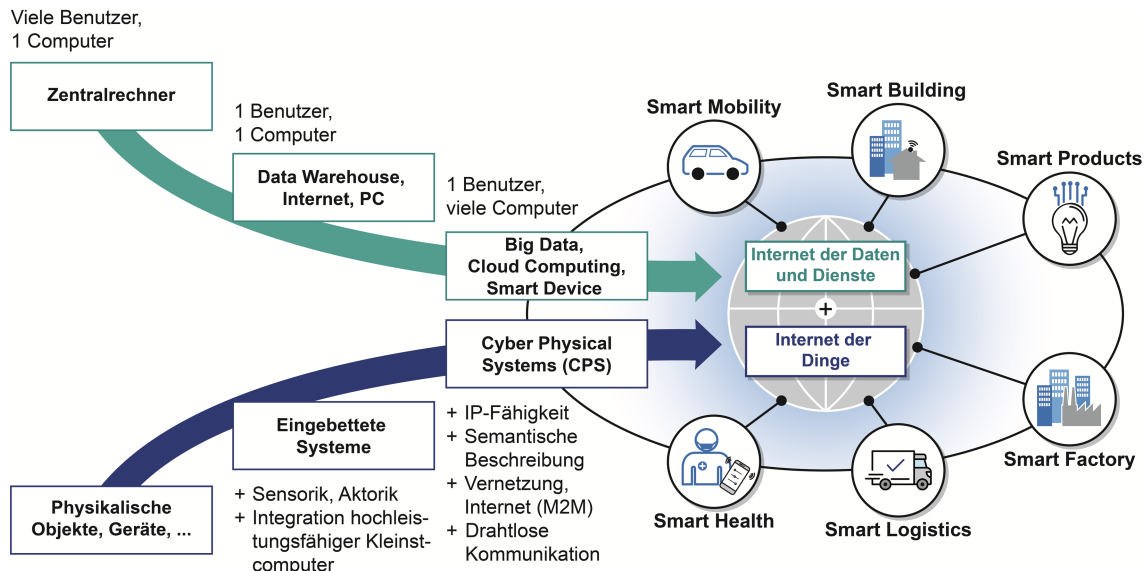


Bild 2-1: Zwei konvergierende Entwicklungsstränge führen zu Industrie 4.0; in Anlehnung an [KWH13, S. 23ff.] und [GCD15, S. 16ff.]

Im Gegensatz zur Digitalisierung im weiteren Sinne fokussiert sich Industrie 4.0 also unmittelbar auf die industrielle Wertschöpfung. SIVRI und KRALLMANN sehen die Digitalisierung allerdings als *Schlüssel der vierten industriellen Revolution* [SK16, S. 12]. Nach

⁵ Die vierte industrielle Revolution wird hierbei als Nachfolger der vorherigen industriellen Revolutionen (Automatisierung durch Einsatz von Elektronik und IT, arbeitsteilige Massenproduktion mit Hilfe elektrischer Energie und mechanische Produktionsanlagen mit Hilfe von Wasser und Dampfkraft) verstanden [KWH13, S. 17].

⁶ Eine Übersicht, welche Wirtschaftszweige im Rahmen dieser Arbeit hierunter gefasst werden, befindet sich im Anhang (Abschnitt A1).

LIPSMEIER ET AL. existieren vier in Wechselwirkung zueinander stehende Handlungsfelder, die im Rahmen der digitalen Transformation adressiert werden müssen [LKD+19, S. 316f.]:

- **Marktleistung:** Betrifft die digitale Transformation von Produkten und Services vor dem Hintergrund der zunehmenden Verschmelzung von Produkt- und Serviceanteilen [aca18, S. 7], [LKD+19, S. 317].
- **Leistungserstellung:** Bezieht sich auf die digitale Transformation von Wertschöpfungsprozessen und Unternehmensressourcen in der Produktion [LKD+19, S. 317].
- **Geschäftsmodelle:** Beinhaltet Initiativen zur Veränderung der Geschäftslogik durch digitale Geschäftsmodelle, wobei diese häufig mit einer Anpassung vorhandener Leistungen einhergehen [LKD+19, S. 317].
- **Organisation:** Dient als Grundlage für die Anpassung von Marktleistungen, Leistungserstellung und Geschäftsmodellen. Hierunter werden Initiativen zur digitalen Transformation der Aufbau- und Ablauforganisation sowie der Unternehmenskultur und Arbeitswelt subsumiert [LKD+19, S. 317].

Die digitale Transformation von Unternehmen hin zu Industrie 4.0 und hier insbesondere die vier genannten Handlungsfelder stehen im Fokus der vorliegenden Arbeit. Übergeordnetes Ziel ist es, die Leistungsfähigkeit von Unternehmen in diesen Bereichen signifikant zu steigern und damit eine schrittweise Umsetzung von Industrie 4.0 zu ermöglichen. Dies erfordert eine Differenzierung der Begriffe Leistung, Leistungsfähigkeit und Leistungssteigerung.

2.1.2 Leistung, Leistungsfähigkeit und Leistungssteigerung

Der Begriff **Leistung** weist mehrere Bedeutungen auf. Hierzu zählen beispielsweise das physikalische Verständnis von Leistung (geleistete Arbeit pro Zeit) oder die körperliche sowie geistige Leistung im Rahmen der betrieblichen Arbeit oder des Sports. Ferner wird der Begriff regelmäßig im wirtschaftlichen Kontext verwendet, z. B. im Sinne einer Zahlung (Geldbetrag, Versicherungsleistung o.ä.)⁷. In der Betriebswirtschaftslehre beschreibt der Begriff das „(gelungene) Ergebnis eines betrieblichen Erzeugungsprozesses“ [AAW04, S. 1882], [Wah11, S. 937]. Ferner existieren in der Literatur Definitionen, die Leistung als Grad der Erreichung eines vorher definierten Ziels (im Sinne eines Zielerreichungsgrads) interpretieren. Hierzu zählen auch Ergebnisse aus betrieblichen Tätigkeiten, die auf die Erreichung von Unternehmenszielen ausgerichtet sind. In diesem Fall

⁷ Weitere Verständnisse, wie z. B. aus den Bereichen Bildung (Lernergebnis), Recht (Tun/Unterlassen) oder Rechnungswesen (Betriebsertrag), werden aufgrund ihrer geringen Bedeutung für die Arbeit an dieser Stelle nicht näher erläutert.

wird auch von *Unternehmensleistung*⁸ gesprochen [WKK+93, S. 2563], [FS97, S. 60], [Mei96, S. 16f.], [Stu00, S. 22f.].

Leistungsfähigkeit beschreibt die Eigenschaft, leistungsfähig zu sein [Dud20a-ol] – darunter wird also die Fähigkeit bzw. Eignung verstanden, eine bestimmte Leistung zu erbringen. Hierzu zählen beispielsweise die physische oder auch körperliche Leistungsfähigkeit (z. B. Belastbarkeit, Kondition), die kognitive bzw. geistige Leistungsfähigkeit (Intelligenz) sowie die betriebliche (Ressourcen, Kapazitäten) oder volkswirtschaftliche Leistungsfähigkeit (Inlandsprodukt)⁹. Übertragen auf den betrieblichen Kontext wird unter der Leistungsfähigkeit im Folgenden die Eigenschaft verstanden werden, eine Wertschöpfung (z. B. im Leistungserstellungsprozess) zu erbringen.

Zwei eng mit den Begriffen Leistung und Leistungsfähigkeit in Verbindung stehende Begriffe sind die **Effektivität** und die **Effizienz** [Stu00, S. 24]. Während Effektivität Tätigkeiten oder Werkzeuge im Hinblick auf ihre Wirksamkeit beurteilt, bewertet die Effizienz diese im Hinblick auf ihre Angemessenheit bzw. Wirtschaftlichkeit. Es kann daher festgehalten werden, dass die *Effektivität* ein Maß für den Grad der Zielerreichung und die *Effizienz* ein Maß für die Relation von Nutzen zu Aufwand ist¹⁰ [Chr09, S. 7]. Im ökonomischen Sinne zielt die Effektivität also auf die Erreichung von Unternehmenszielen wie beispielsweise die Steigerung des Gewinns oder der Liquidität ab. Im Gegensatz dazu bewertet die Effizienz, inwieweit ein Vorhaben (unter Einsatz eines möglichst geringen Ressourceneinsatzes) zu einem attraktiven Kosten-Nutzen-Verhältnis realisiert werden kann [Stu00, S. 24f.], [Chr09, S. 7].

Der Einsatz von Kennzahlen zur Messung bzw. Bewertung der Unternehmensleistung wird auch als Performance Measurement bezeichnet [Spr09, S. 46f.]. Im Gegensatz zur traditionellen Leistungsmessung, deren Fokus vor allem auf den finanziellen Zielen liegt, wird der Unternehmenserfolg beim Performance Measurement auch im Hinblick auf weitere (nicht-finanzielle) Leistungsdimensionen bewertet (vgl. [Kli00, S. 20ff.]). Tabelle 2-1 liefert einen Überblick über die Unterschiede der zukunftsorientierten, mehrdimensionalen Leistungsbewertung (Performance Measurement) im Gegensatz zur traditionellen Leistungsmessung.

⁸ Auch Unternehmensperformance oder einfach Performance genannt [Grü02, S. 4]. Der Begriff Performance entstammt zwar gewöhnlich der Kosten- und Leistungsrechnung, wird im Deutschen aber häufig mit dem Leistungsbegriff gleichgesetzt [Kaa12, S. 60]. Auch im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe synonym verwendet.

⁹ Definition in Anlehnung an [Wis99, S. 2403].

¹⁰ CHRISTIANSEN versteht unter dem Begriff Leistung im betrieblichen Kontext 1) die Leistungsfähigkeit von Prozessen in den Dimensionen Effektivität und Effizienz und 2) das Ergebnis/Resultat eines Prozesses. Bezogen auf den Leistungserstellungsprozess eines Unternehmens handelt es sich also auch bei Produkten und Dienstleistungen um Leistung(en) [Chr09, S. 7f.].

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung von traditioneller Leistungsmessung und Performance Measurement [LC95, S. 38]

Traditionelle Leistungsmessung	Performance Measurement
Finanzfokussiert	Prozessfokussiert
Vergangenheitsorientiert	Zukunftsorientiert
Beschränkt flexibles System	Flexibles System für operationales Feedback
Nicht mit betrieblicher Strategie verbunden	Verfolgt (parallele) Unternehmensstrategien
Zur Kostenreduzierung	Zur Leistungsverbesserung
Vertikale, funktionsorientierte Auswertungen	Horizontale, prozessorientierte Auswertungen
Fragmentiert: Isolierte Betrachtung von Output, Qualität und Kosten	Integriert: Simultane Bewertung von Qualität, Output, Zeit und Kosten
Zielkonflikte bleiben unberücksichtigt	Zielkonflikte werden berücksichtigt
Individuelles Lernen	Organisationales Lernen

Die Leistungsmessung im Unternehmen vollzieht hier offensichtlich einen Wandel: Die Unternehmensleistung wird nicht mehr ausschließlich monetär und rückblickend erfasst, sondern kann im Sinne der Zukunftsorientierung des Performance Measurements aktiv gestaltet werden. Werden zu diesem Zwecke mehrere Leistungskennzahlen definiert und zur Messung von Effektivität und Effizienz zusammengefasst, wird auch von einem Performance Measurement System (PMS) gesprochen [NGP95, S. 81]. PMS existieren in unterschiedlichen Ausprägungen. Beispiele sind Kennzahlensysteme (z. B. Du-Pont-Schema, vgl. [Bot97]), Berichtsbögen (vgl. Konzept der Balanced Scorecard [KN96]) oder das Benchmarking (vgl. [Bur93]). Zur Messung der Leistungsfähigkeit industrieller Geschäftsprozesse verwendet CHRISTIANSEN auch Reifegradmodelle (vgl. [Chr09, S. 2f.]). Sie eignen sich zur Optimierung der gesamten Wertschöpfung und führen zu erheblichen Leistungssteigerungen [Chr09, S. 1]. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung sollen sie daher in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kommen. Der Begriff der Leistungssteigerung wird in diesem Zusammenhang näher definiert.

Der Begriff **Leistungssteigerung** beschreibt die Erhöhung bzw. Steigerung der Leistungsfähigkeit eines zugrunde liegenden Betrachtungsobjekts (vgl. [Dud20b-ol]). Im Rahmen dieser Arbeit und im Kontext der Unternehmensgestaltung wird darunter der Prozess zur Erhöhung der Unternehmensleistung verstanden. Es gilt, das Unternehmen auf Basis verschiedener Leistungsindikatoren, die ein Maß für die Leistungsfähigkeit darstellen, ausgehend von einer aktuellen Position (heutige oder Ist-Leistungsfähigkeit) auf eine (Ziel-)Position (zukünftige bzw. Soll-Leistungsfähigkeit) zu heben.

2.1.3 Reifegrad, Reifegradmodell und Reifegradmanagement

Bei einem **Reifegrad**¹¹ handelt es sich um „*ein objektives Maß für das Vorhandensein bestimmter Fähigkeiten einer Organisationseinheit in Bezug auf das zugrunde liegende Modell*“¹² [Chr09, S. 8]. Diese sehr allgemeine Definition lässt sich weiter spezifizieren. Nach JOCHEM beschreibt ein Reifegrad „*inwieweit ein Betrachtungsgegenstand die in den Entwicklungsstufen definierten allgemeingültigen Anforderungen erfüllt*“ [ST05, S. 14ff.], [Joc19, S. 88]. Zur Beurteilung des Erfüllungsgrads werden Reifegraden daher eine oder mehrere Anforderungen zugeordnet. BECKER ET AL. sprechen in diesem Zusammenhang von festgelegten Merkmalen und Merkmalsausprägungen, die das Erreichen eines Reifegrads definieren [BKP09, S. 249]. Die Merkmalsausprägungen können als Reifegradstufen interpretiert werden. Ein Reifegrad gilt als erreicht, wenn nachgewiesen werden kann, dass die in einer Reifegradstufe definierten Anforderungen¹³ sowie ggf. die Anforderungen der Vorstufe erreicht worden sind. Reifegrad bzw. Reifegradstufen bauen also aufeinander auf [ST05, S. 14f.], [Joc10, S. 71]. Häufig wird hierzu eine Reifegradskala als Spanne vom Reifegrad mit der niedrigsten Stufe bis zum Reifegrad mit der höchsten Stufe definiert¹⁴ [Chr09, S. 139]. Im Gegensatz zu Kennzahlen handelt es sich bei den Reifegraden in der Regel um qualitativ ausgedrückte Ziele und Resultate, die erreicht werden müssen bzw. Praktiken, die es durchzuführen gilt [Chr09, S. 24]. Gemäß CHRISTIANSEN lassen sich relative und absolute Reifegrade unterscheiden [Chr09, S. 139f.]:

- **Relative Reifegrade:** Hier wird die Reifegradskala nicht fest vorgegeben, sondern unternehmensspezifisch ausgeprägt. Der höchste Reifegrad stellt den optimalen Zielzustand des Unternehmens dar. Die Leistungsfähigkeit lässt sich hierbei i.d.R. nur unternehmensintern vergleichen. Das Ziel ist die Darstellung der Diskrepanz zwischen Ist- und Soll-Zustand.
- **Absolute Reifegrade:** Sie verfügen über eine fest vorgegebene Reifegradskala, die nicht unternehmensspezifisch angepasst werden kann. Die höchsten Reifegradstufen stellen hierbei einen in der Praxis allgemein anerkannten, sehr guten Zielzustand dar. Inwieweit dieser erstrebenswert ist, muss ein Unternehmen für sich selbst bestimmen. Durch die fest definierte Reifegradskala kann sowohl ein unternehmensinterner als auch unternehmensübergreifender Vergleich erfolgen.

¹¹ Es existieren Modelle, in denen zwischen *Maturity Level* und *Capability Level* unterschieden wird (vgl. [CKS05, S. 75]).

¹² Der Modellbegriff wird an dieser Stelle nicht diskutiert. Umfangreiche Ausführungen zum Begriffsverständnis liefert beispielsweise [ST05, S. 10ff.].

¹³ CHRISTIANSEN spricht in diesem Zusammenhang in Anlehnung an das Software Engineering Institute (SEI) von Kriterien zur Beurteilung, ob ein bestimmter Reifegrad vorliegt [Chr09, S. 24].

¹⁴ Gemäß CHRISTIANSEN besteht ein sog. Reifegradsystem aus einer Reifegradskala sowie einer Methode zur Bestimmung des Reifegrades [Chr09, S. 139].

Der Begriff **Reifegradmodell**¹⁵ beschreibt die Zusammenfassung einer Folge von Reifegraden für eine Klasse von Objekten (z. B. Prozesse). Die Objekte verfügen über definierte, diskrete Rangstufen. Diese zeigen antizipierte, gewünschte oder typische Entwicklungspfade dieser Objekte beginnend bei einem Anfangsstadium bis hin zur vollständigen Reife auf. Das Voranschreiten entlang des Entwicklungspfads führt zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit bzw. Güte des betrachteten Objekts¹⁶ [BKP09, S. 249]. Reifegradmodelle werden als Bewertungs- und Vergleichsgrundlage für Verbesserungen und zur Steigerung der Leistungsfähigkeit eines bestimmten Bereichs innerhalb einer Organisation verwendet [BRF+05, S. 8].

Im Rahmen des **Reifegradmanagements** kommen Werkzeuge und Methoden zum Einsatz, die dabei unterstützen, ein Objekt zu einer entsprechenden Reife zu führen. Dazu zählen beispielsweise Vorgehensmodelle, Checklisten, Maßnahmenpläne oder Software [Ben13, S. 21]. Häufig werden diese auch miteinander kombiniert. Dies ist beispielsweise bei Reifegradmodellen im Digitalisierungskontext zu beobachten. Sie sind häufig in Vorgehensmodelle eingebettet, werden teilweise mittels Software ausgewertet und in Maßnahmenpläne überführt. Bild 2-2 visualisiert die bestehenden Zusammenhänge.

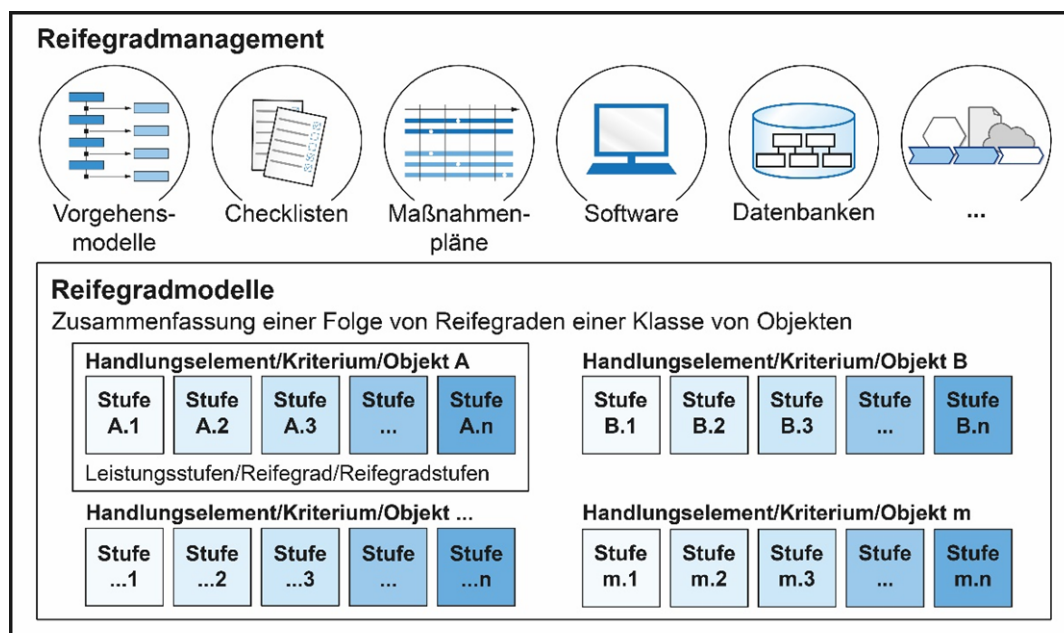


Bild 2-2: Zusammenhang zwischen Reifegradstufen, Reifegradmodellen und Reifegradmanagement

¹⁵ Das beschriebene Konzept des Reifegradmodells ist auf die Theorie des „situativen Führens“ nach HERSEY/BLANCHARD zurück zu führen (vgl. [HB77]). Das Konzept wurde mittlerweile auf vielerlei Domänen übertragen (vgl. Abschnitt 2.5.1).

¹⁶ AHLEMANN ET AL. definieren Reifegradmodelle als eine spezielle Form von Kompetenzmodellen. Kompetenzmodelle dienen „der Beurteilung, inwieweit ein Kompetenzobjekt die für eine Klasse von Kompetenzobjekten allgemeingültig definierten qualitativen Anforderungen erfüllt“.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der Arbeit bedarf es nach der Klärung des Reifegrad- bzw. Leistungsstufenbegriffs einer Definition des Strategiebegriffs. Da die Strategieentwicklung bezogen auf Industrie 4.0 erfolgen soll, werden auch die Begriffe Digitalisierungsstrategie und Industrie 4.0-Strategie im Folgenden näher differenziert.

2.1.4 Strategie, Digitalisierungsstrategie, Industrie 4.0-Strategie

In der Literatur existiert kein einheitliches Verständnis des Strategiebegriffs¹⁷ [Gäl05, S. 55ff.], [Bri10, S. 10], [Hin11, S. 45]. Eine etymologisch-historische Annäherung verdeutlicht, dass der Begriff **Strategie** offensichtlich einen militärischen Ursprung aufweist und so viel bedeutet wie „ein Heer führen“¹⁸ [Eve83, S. 58]. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurde der Begriff zunächst über die Spieltheorie¹⁹ in die Betriebswirtschaftslehre eingeführt und in den 1960er Jahren von ANSOFF und weiteren Vertretern des sog. „*Harvard Approach*“ (vgl. [Ans65]) in die Managementlehre übertragen²⁰ [WAE17, S. 18]. WELGE ET AL. beobachten zwei Strömungen im unternehmerischen Kontext: das *klassische Strategieverständnis* sowie das *Strategieverständnis der Schule um MINTZBERG* [WAE17, S. 18].

Vertreter des **klassischen Strategieverständnisses** definieren eine Strategie „*als ein geplantes Maßnahmenbündel der Unternehmung zur Erreichung ihrer langfristigen Ziele*“. (vgl. hierzu auch CHANDLER [Cha62, S. 13]) Dieser Definition liegt die Annahme zugrunde, dass eine Strategie das Ergebnis formaler rationaler Planungen ist. Strategien weisen die folgenden Merkmale auf [WAE17, S. 18]:

- **Strategien bestehen aus einer Reihe miteinander verbundener Einzelentscheidungen:** Diese stehen in einem stimmigen Verhältnis zueinander und stellen für sich genommen wiederum komplexe Maßnahmenbündel dar. Beispiel: Verdoppelung des Marktanteils binnen zehn Jahren. Maßnahmen: Verbesserung der Produktqualität, Intensivierung von Forschung und Entwicklung oder Ausbau der Distributionskanäle [MW12, S. 259ff.].
- **Strategien sind ein hierarchisches Konstrukt:** Sie stehen in Beziehung zu anderen Komponenten des strategischen Managements. Beispiel: Die *Strategie* dient der Umsetzung *strategischer Ziele*, die wiederum durch die *Mission* der Unternehmung determiniert werden (vgl. [Bar02, S. 10ff.]).
- **Strategien treffen Aussagen zur Positionierung der Unternehmung:** Ziel ist eine Stimmigkeit („Fit“) von Stärken und Schwächen des Unternehmens und den

¹⁷ Eine Systematisierung liefert beispielsweise [WA92].

¹⁸ Der Begriff Strategie kann aus den beiden griechischen Wörtern „Stratos“ (das Heer) und „again“ (Führen) zusammengesetzt werden. Im griechischen Heer wurde beispielsweise die Funktion des Generals mit „Strategos“ beschrieben [Eve83, S. 58].

¹⁹ Vgl. [NM67, S. 79].

²⁰ Weiterführende Literatur zur historischen Entwicklung des Strategiebegriffs liefern beispielsweise [Bra80, S. 219ff.], [Eve83, S. 58f.], [Min90, S. 171ff.].

Chancen und Risiken der Umwelt. Dahinter verbirgt sich das sog. SWOT-Konzept, das unter Ausnutzung der Stärken (Strenghts) und Behebung der Schwächen (Weaknesses) eine bestmögliche Positionierung der Unternehmung in der Umwelt unter Ausnutzung der Chancen (Opportunities) und Vermeidung von Risiken (Threats) darstellt [Bar02, S. 19ff.], [WAE17, S. 20].

- **Strategien treffen Aussagen zur Ressourcenallokation:** Die Konkretisierung der Strategie und Umsetzung über Programme und Maßnahmenpakete sorgen für eine Allokation von finanziellen Mitteln, Personalkapazitäten etc. Strategien stellen daher das Ergebnis von Aushandlungsprozessen knapper Unternehmensressourcen dar [WAE17, S. 20].

Demgegenüber steht das **Strategieverständnis der Schule um MINTZBERG**. Die Schule vertritt die Annahme, dass eine Strategie nicht zwingend das Ergebnis rationaler Planungen sein muss. Vielmehr existieren unterschiedliche Arten von Strategietypen in Unternehmen [WAE17, S. 21]. Diese werden unter den „*Five Ps for Strategy*“ zusammengefasst [Min87, S. 13ff.].

- **Strategien als Pläne (Plan):** Dieser Strategietyp folgt im Wesentlichen dem klassischen Strategiebegriff. Nach MINTZBERG tritt dieser Typ aber nur sehr selten und nur unter bestimmten Bedingungen (wie beispielsweise konstanten Umfeldentwicklungen) auf.
- **Strategien als List (Ploy):** Dieser Typ beinhaltet im Sinne einer „Kriegslist“ eher spontane, taktische Maßnahmen, mit denen Konkurrenten überrascht werden.
- **Strategien als Muster (Pattern):** Dahinter verbirgt sich die Auffassung, dass sich eine Strategie unbeabsichtigt aus dem Handeln und den Entscheidungen der Unternehmung heraus ergibt. Jene Strategien entstehen also zufällig und sind erst ex post erkennbar, wenn sich dahinter ein konsistentes Muster in den Entscheidungen der Unternehmungen abzeichnet. Gemäß MINTZBERG ist dieser Typ sehr häufig vorzufinden.
- **Strategien als Positionierungen (Position):** Sie beschränken sich auf die Positionierung eines Unternehmens zu seiner Umwelt. Diese kann geplant oder zufällig sein (z. B. durch Fehler der Wettbewerber).
- **Strategien als Denkhaltung (Perspektive):** Sie existieren lediglich als Denkhaltung (Philosophie) in den Köpfen des Managements, sind nicht schriftlich festgehalten und nicht expliziert kommuniziert. Sie stellen ein gemeinsames Einstellungsmuster dar, das das strategische Verhalten der Unternehmung jedoch maßgeblich beeinflusst.

Im weiteren Verlauf wird das klassische Strategieverständnis zugrunde gelegt. Gemäß der Ausführung von CHANDLER („*structure follows strategy*“) sowie PÜMPIN wird die

Strategie in Form eines Pfeils aufgefasst (Bild 2-3) [Cha62, S. 14ff.], [PG88, S. 6]. Demnach stellt die Strategie den Weg von der heutigen Situation eines Unternehmens zu einer unternehmerischen Vision dar. Sie bildet eine Leitlinie des täglichen Handelns zur Erreichung dieser Situation in der Zukunft und umfasst die „Leitplanken“ für den zu beschreibenden Weg. Diese sorgen für eine Fokussierung der Maßnahmen und Ziele und damit für eine Bündelung der Kräfte des Unternehmens zur Verwirklichung der Vision [GP14, S. 38].

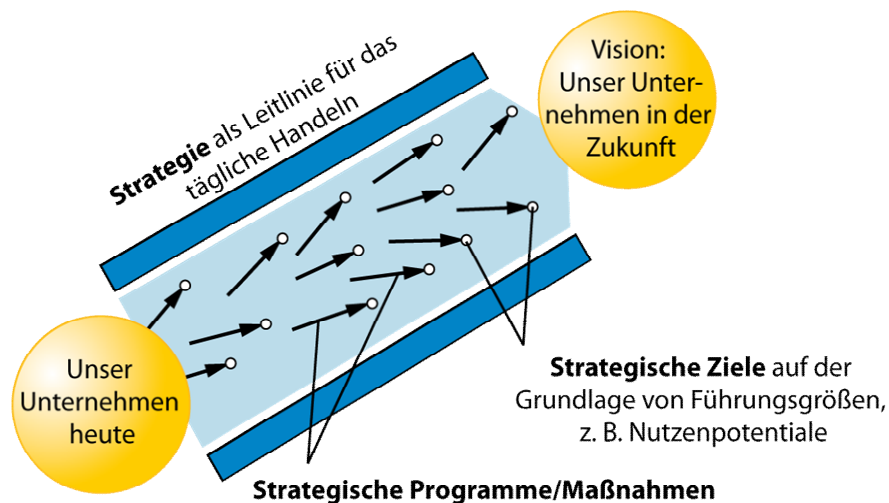


Bild 2-3: Strategie als Weg zu einer unternehmerischen Vision [GP14, S. 39]

Unabhängig vom Strategieverständnis existieren verschiedene Unterscheidungsformen für Strategien. Spezielle Formen stellen beispielsweise die Digitalisierungs- bzw. Industrie 4.0-Strategie dar. Sie werden aufgrund ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit hervorgehoben und nachfolgend voneinander abgegrenzt.

Bei der **Digitalisierungsstrategie** handelt es sich um eine Strategie zur vollumfänglichen Koordination, Priorisierung und Umsetzung der digitalen Transformation im Unternehmen²¹ [MHB15, S. 339], [Kof18, S. 40]. Sie setzt die „Leitplanken“ für die digitale Transformation eines Unternehmens und dient zur Planung, Initiierung, Überwachung und Steuerung sämtlicher Digitalisierungsaktivitäten [HB17, S. 317], [Kof18, S. 40]. Beobachtungen zeigen, dass der Begriff Digitalisierungsstrategie häufig sehr weit gefasst wird und in vielerlei Wirtschaftszweigen Verwendung findet. Beispiele sind die Bereiche Gesundheits- und Sozialwesen, Energieversorgung, öffentliche Verwaltung oder Verkehr. Da die vorliegende Arbeit den Schwerpunkt in der Entwicklung einer Strategie zur Umsetzung der Digitalisierung produzierender Unternehmen bildet, wird daher unter dem Begriff **Industrie 4.0-Strategie** eine Strategie zur vollumfänglichen Planung, Initiierung,

²¹ Die Begriffe Digitalstrategie und Digitalisierungsstrategie werden in der Literatur zum Teil synonym verwendet (vgl. z. B. [Kof18, S. 39ff.]). VON BOESELAGER sieht hingegen in der Digitalstrategie den Vorgänger einer Digitalisierungsstrategie, da diese lediglich die Umstellung der IT von analog auf digital bzw. die digitale Vermarktung beinhaltet [Boe18, S. 11].

Überwachung und Steuerung sämtlicher **Digitalisierungsaktivitäten eines Unternehmens des produzierenden Gewerbes** verstanden. Sie dient der strategischen Planung der mit der vierten industriellen Revolution verbundenen Entwicklungen (vgl. Abschnitt 2.1.1 bzw. [HB17, S. 317], [Kof18, S. 40]). Detaillierte Ausführungen zu den Bestandteilen sowie der Einordnung respektive Systematisierung der verschiedenen Strategiearten liefert Abschnitt 2.4.

2.2 Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Sie dient vordergründig dazu, Unternehmen bei der Planung einer erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0 zu unterstützen (vgl. Abschnitt 1.2). Dadurch zielt sie auf eine zukunftsorientierte Ausrichtung eines Unternehmens ab und adressiert unterschiedliche Ebenen der Unternehmensgestaltung. Daher wird die zu Grunde liegende Systematik in *das 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung* nach GAUSEMEIER eingeordnet (Bild 2-4) [GCD15, S. 17ff.]. Das Modell platziert Industrie 4.0 am Ende einer wohl überlegten Handlungskette, bestehend aus vier Stufen. Im Folgenden werden diese Stufen erläutert sowie die Auswirkungen der Systematik auf die verschiedenen Ebenen herausgestellt.

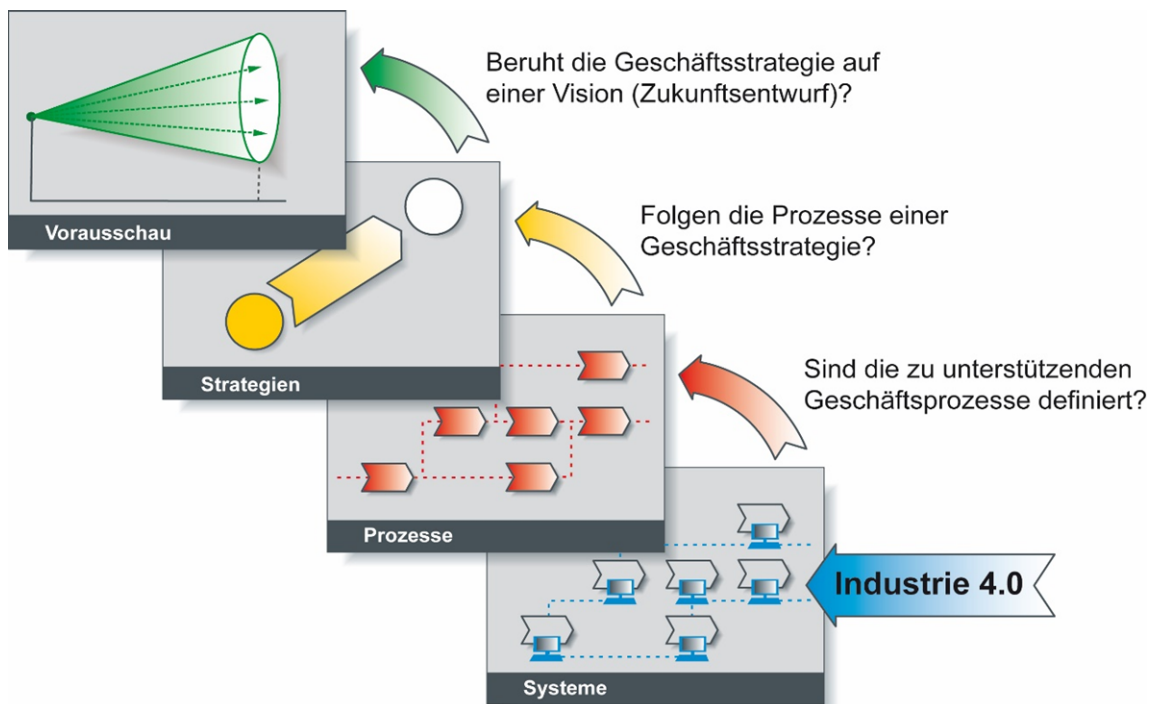


Bild 2-4: 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung nach GAUSEMEIER [GCD15, S. 18]

Vorausschau (Ebene 1): Auf der obersten Ebene werden mit Hilfe einer Vorausschau Entwicklungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern antizipiert, um die

Chancen für das Geschäft von morgen (Erfolgs- und Nutzenpotentiale) sowie Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute aufzudecken. Zielführende Methoden hierfür sind beispielsweise die Szenario-Technik, die Delphi-Methode oder die Trendanalyse. Die Vorausschau bildet die Grundlage zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie. Hierdurch können die mit Industrie 4.0 verbundenen Chancen und Risiken unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen frühzeitig analysiert werden [GP14, S. 38], [GCD15, S. 18].

Strategien (Ebene 2): Auf Basis der Erkenntnisse der Vorausschau-Ebene lassen sich Strategien entwickeln, die die grundsätzliche „Marschrichtung“ eines Unternehmens beinhalten (z. B. Unternehmens-, Geschäfts- oder Technologiestrategien). Je nach Strategieart beinhalten diese beispielsweise auch Schlüsselfähigkeiten, konkrete Marktleistungs- und Geschäftsziele sowie Konsequenzen und Maßnahmen für einzelne Handlungsbereiche [GP14, S. 38], [GCD15, S. 18]. Die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie adressiert diese Ebene unmittelbar.

Prozesse (Ebene 3): Auf der Prozess-Ebene gilt es, die Leistungserstellungs- bzw. Geschäftsprozesse auf die Vorgaben der Strategie hin auszurichten. Konsequenterweise muss unter Effizienz-Gesichtspunkten hierbei neben der Ablauforganisation auch die Aufbauorganisation überprüft werden, damit die Aufbauorganisation und die Prozesse bestmöglich aufeinander abgestimmt sind. Die Anpassung bzw. Ausgestaltung erfolgen so, dass die Strategie ideal unterstützt wird. Es empfiehlt sich, hierbei die Mitarbeiter intensiv mit einzubeziehen, damit die Veränderungen nachvollzogen und akzeptiert werden [GP14, S. 39], [GCD15, S. 18]. Die Prozessgestaltung schließt sich unmittelbar an die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie an und bildet einen wesentlichen Schritt bei der Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen.

IT-Systeme (Ebene 4): Die wohlstrukturierten Geschäftsprozesse werden auf dieser Ebene durch den Einsatz geeigneter IT-Systeme wirkungsvoll unterstützt. Hierzu zählen beispielsweise Hardwaresysteme, Basissysteme wie Betriebssysteme, Datenbanksysteme und Kommunikationssysteme sowie Anwendersoftwaressysteme zur Unterstützung der Hauptgeschäftsprozesse [GP14, S. 39], [GCD15, S. 18]. Da IT-Systeme als Enabler der digitalen Transformation gelten [CD16, S. 34ff.] spielen sie für die Operationalisierung einer Industrie 4.0-Strategie eine wesentliche Rolle.

Einordnung der Arbeit

Kern der Arbeit ist die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie. Die dafür zu entwickelnde Systematik ist vordergründig der zweiten Ebene zuzuordnen. Die erste Ebene als Basis einer erfolgreichen Strategieentwicklung wird unmittelbar mit adressiert. Sie liefert nämlich das Zielbild der Zukunft bezogen auf Industrie 4.0, auf das die Strategie ausgerichtet werden muss. Die dritte und vierte Ebene können der Umsetzung der Industrie 4.0-Strategie zugeordnet werden. Sie werden im Rahmen der Strategieentwicklung (zunächst) nicht näher beleuchtet, wenngleich erste Implikationen im Hinblick auf Geschäftsprozesse und Systeme bereits in der Industrie 4.0-Strategie determiniert werden. Gemäß Bild

2-4 liefert die Systemebene zwar den entscheidenden Impuls für Industrie 4.0, die übergeordneten Geschäftsprozesse müssen aber wohl definiert sein und einer Strategie folgen, die auf einem Zukunftsentwurf beruht [EGK+16, S. 36].

2.3 Digitalisierung industrieller Unternehmen (Industrie 4.0)

Die Digitalisierung als Treiber ruft in Unternehmen des produzierenden Gewerbes einen tiefgreifenden Wandel hervor [KWH13, S. 17ff.], [BF14, S. 17ff.]. Sie führt zu Veränderungen der Marktleistungen²² und Geschäftsmodelle (Angebotssicht) und zu Veränderungen der Leistungserstellung (Wertschöpfungssicht) [Ech20, S. 25]. Diese radikalen Veränderungen werden häufig als Paradigmenwechsel bezeichnet [KLW11, S. 2], [Spa13, S. 92], [UVT+15, S. 769]. Vor diesem Hintergrund beleuchten die nachfolgenden Abschnitte diese Veränderungen aus der Sicht des Leistungsangebots (Abschnitt 2.3.1) sowie aus der Perspektive der Leistungserstellung (Abschnitt 2.3.2). Die darin beschriebenen Veränderungen bergen gleichermaßen Chancen und Herausforderungen – vor allem aber versprechen sich Unternehmen Wettbewerbsvorteile und die Möglichkeit, eine Vorreiterrolle einzunehmen bzw. die bestehende Vormachtstellung auszubauen [SAD+20, S. 5]. Daher befasst sich Abschnitt 2.3.3 mit bestehenden Industrie 4.0-Implementierungsprozessen und analysiert, wie die digitale Transformation für das produzierende Gewerbe Erfolg versprechend vollzogen werden kann. Da kleinen und mittleren Unternehmen hierbei häufig eine Sonderrolle zugesprochen wird, werden diese abschließend in Abschnitt 2.3.4 näher beleuchtet.

2.3.1 Digitalisierung des Leistungsangebots

Die Realisierung von Industrie 4.0 führt neben den Veränderungen bei der Leistungserstellung auch zu einem tiefgreifenden Wandel des Leistungsangebots von Unternehmen [Ger17, S. 374], [AGS+17, S. 1]. Die Basis hierfür bilden digitalisierte Produkte, die sich sowohl durch physische als auch digitale Bestandteile auszeichnen (vgl. [Ech20, S. 25ff.]). Im Laufe der vergangenen Jahre haben sie sich vom „klassischen“ mechatronischen System über verschiedene Leistungsstufen zu sog. **Smart Products** entwickelt (Bild 2-5) [Ech20, S. 25ff.].

Das mechatronische System besteht in der Regel aus einer mechanischen, elektromechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Grundstruktur bzw. einer Kombination aus diesen (**Grundsystem**). Mit Hilfe von **Sensorik** werden ausgewählte Zustandsgrößen des Grundsystems erfasst. Hieraus resultieren Eingangsgrößen für die **Informationsverarbeitung**. Sie ermittelt die erforderlichen Einwirkungen, um die Zustandsgrößen des Grundsystems wie gewünscht zu beeinflussen. Die Einwirkung erfolgt im Sinne einer

²² Unter einer Marktleistung wird nach GAUSEMEIER ET AL. ein reines Produkt, eine reine Dienstleistung oder ein kombiniertes Angebot aus Produkten und Dienstleistungen verstanden [GEA16, S. 13]. Letztere werden auch als hybride Leistungsbündel (vgl. [MU12, S. 6]) oder Produkt-Service-Systeme bezeichnet (vgl. [Sch10, S. 7]).

nicht kognitiven Regulierung: Sensorik und Aktorik sind starr gekoppelt und das System ist nicht bzw. nur stark eingeschränkt lernfähig [Str98, S. 120], [GEK01, S. 28ff.], [Dum11, S. 29], [Kol21, S. 29]. Eine **Mensch-Maschine-Schnittstelle** sorgt für den Informationsaustausch zwischen System und Nutzer. **Aktoren** setzen die o.g. Einwirkungen am Grundsystem um [VDI2206, S. 14f.]. Jene beschriebenen Systeme werden zu intelligenten technischen Systemen (ITS), wenn sich die Informationsverarbeitung gemäß des 3-Schichtenmodells aus der Kognitionswissenschaft weiterentwickelt. Eine **assoziative Regulierung** ermöglicht eine Konditionierung und es werden Reiz-Reaktionsmechanismen eingeführt. Hinzu kommt eine **kognitive Regulierung**, die das Planen, Ziele modifizieren und Lernen ermöglicht. ITS weisen dadurch die Fähigkeit zur Selbstoptimierung auf. Kommunizieren und kooperieren diese Systeme über das Internet, entstehen Cyber-physische Systeme, im Produktkontext auch Smart Products genannt [Str98, S. 120ff.], [GDE+19, S. 86f.], [Ech20, S. 30], [Kol21, S. 29].

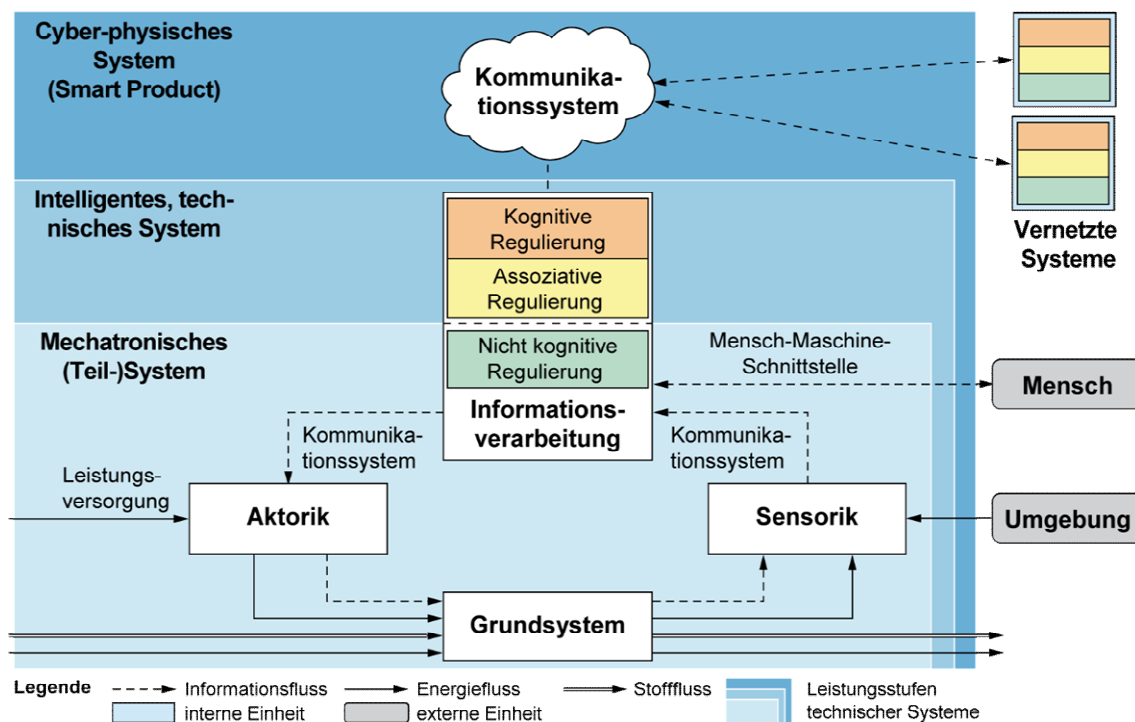


Bild 2-5: Entwicklung von mechatronischen zu cyber-physischen Systemen bzw. Smart Products in Anlehnung an [GDE+19, S. 87] und [Kol21, S. 30]

Smart Products übersteigen durch völlig neue Features den Funktionsumfang von herkömmlichen Produkten um ein Vielfaches und stiften hierdurch einen gesteigerten Kundennutzen [PH14, S. 36], [Ech20, S. 6]. Sie bilden außerdem die Basis für sog. **Smart Services**. Darunter werden digitale Dienstleistungen verstanden, die auf den Daten der Smart Products beruhen und diese nutzen, um durch Interaktion mit vernetzten Systemen und Diensten sowie dem Nutzer einen Mehrwert für den Kunden zu generieren [PD17, S. 94], [FKR+18, S. 308]. Hierdurch entstehen **digitale Ökosysteme**. Diese Evolution stellen PORTER und HEPPELMANN in einem Schaubild am Beispiel der Landwirtschaft dar (Bild 2-6).

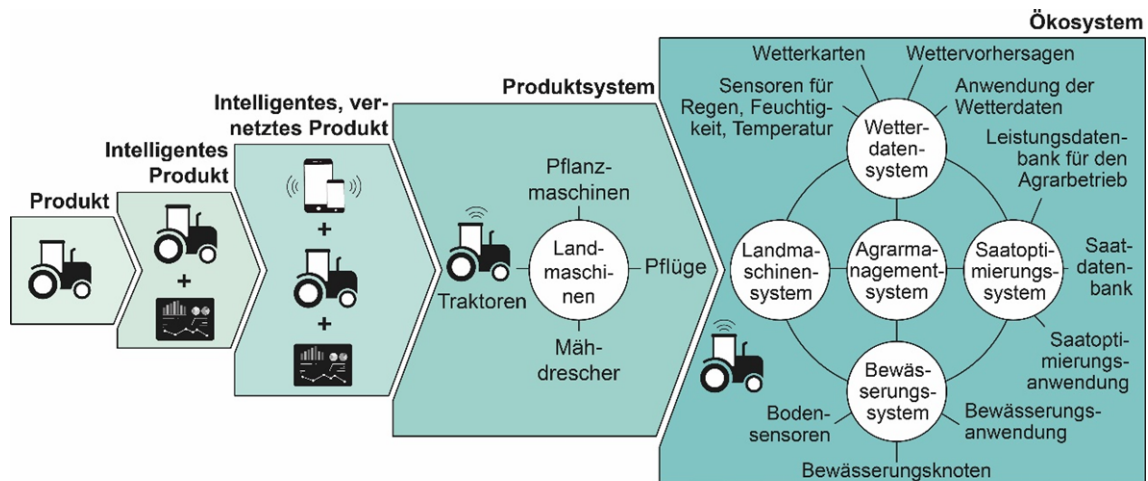


Bild 2-6: Evolution vom klassischen Produkt zum digitalen Ökosystem am Beispiel der Landwirtschaft [PH14, S. 43ff.]

Das klassische Produkt, in diesem Fall der Traktor, wurde im Zeitverlauf mit elektronischen Optimierungssystemen ausgestattet („on board“), wodurch ein intelligentes Produkt entsteht. Mit Hilfe von Kommunikationstechnologien wurden diese Systeme zu intelligenten, vernetzten Produkten weiterentwickelt. Über Landmaschinensysteme sind weitere am Prozess beteiligte Maschinen wie beispielsweise Mähdrescher in der Lage, Informationen mit den Traktoren und weiteren Systemen auszutauschen. Kommen neben den Landmaschinensystemen weitere Produktsysteme hinzu (z. B. Wetterdatensysteme), entsteht ein digitales Ökosystem, das die Gesamtleistung eines landwirtschaftlichen Betriebes mit Hilfe zusätzlicher (digitaler) Dienstleistungen erheblich steigert [PH14, S. 47f.], [DGK+17, S. 58ff.]. Es liegt auf der Hand, dass hiermit auch ein **Wandel etablierter Geschäftsmodelle** einhergeht (vgl. [SSJ+17, S. 3ff.] bzw. [DGK+17, S. 58f.]). Die Digitalisierung des Produktprogramms stellt Unternehmen allerdings vor zahlreiche Herausforderungen: eine unüberschaubare Optionsvielfalt, veränderte Möglichkeiten zur Differenzierung, ungewisse Geschäftsentwicklungen, ein erweiterter Wettbewerb, der Umfang der Programmanpassung, erhöhte Produktkomplexität und ein kontinuierlicher Änderungsprozess sorgen dafür, dass Unternehmen den Wandel nur langsam und schwerfällig vollziehen (vgl. [Ech20, S. 42]).

Einhergehend mit den Veränderungen des Leistungsangebots wandelt sich auch die Art und Weise, wie Marktleistungen entwickelt werden [IN18, S. 33ff.]. Bestehende Prozesse, Methoden, IT-Werkzeuge, Organisationsstrukturen und Kompetenzen in der Produktentstehung eignen sich nur bedingt, um der Komplexität zukünftiger Marktleistungen und damit auch der damit verbundenen Entwicklungskomplexität zu begegnen [DAR+21, S. 10ff.]. **Advanced Systems Engineering (ASE)** als fachgebietsübergreifender Entwicklungsansatz für komplexe multidisziplinäre Systeme bietet hierfür einen Lösungsansatz (vgl. Abschnitt 2.3.2). Es beschreibt eine vollständig integrierte Sichtweise, die die strategische Produkt- und Dienstleistungsplanung, die Produktionssystementwicklung sowie die integrative Entwicklung von Produkt, Produktionssystem und Dienstleistung

berücksichtigt [GCD15, S. 31 ff.]. Insbesondere KMU haben hier gegenüber größeren Unternehmen Nachholbedarf [DAR+21, S. 10 ff.]. Eine Hilfestellung bieten beispielsweise spezifische Implementierungsleitfäden und Methoden zum Assessment des Engineering-Reifegrades [AH16, S. 28 f.].

Fazit: Industrie 4.0 eröffnet Unternehmen vielfältige neue Möglichkeiten zur Anpassung und Ausrichtung des Leistungsangebots. Die damit verbundenen Nutzenpotentiale sind vielfältig und häufig noch verborgen. Einhergehend damit verändert sich auch die Art und Weise der Entwicklung des Leistungsangebots. Die dafür erforderlichen Kompetenzen sind bisher häufig nicht verfügbar. Unternehmen und insbesondere KMU mangelt es an Hilfestellungen. Reifegradmodelle zur Bewertung des Digitalisierungsfortschritts in Bezug auf das Leistungsangebot sowie das Engineering stellen ein geeignetes Instrument dar, sowohl das Leistungsangebot als auch die damit verbundene Produktentwicklung schrittweise auszubauen.

2.3.2 Digitalisierung der Wertschöpfung durch Industrie 4.0

CPS und das Internet der Dinge sorgen für eine Vernetzung von intelligenten Produktionsmitteln, Produkten und Lagersystemen. Gleichzeitig werden die verschiedenen IT-Systeme auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen eines Unternehmens miteinander verknüpft [KWH13, S. 23 f.]. Dies sorgt dafür, dass die Wertschöpfung nicht mehr in Form einer „klassischen“ Wertschöpfungskette beschrieben werden kann. Vielmehr führen CPS dazu, dass sich völlig neuartige und weitaus leistungsfähigere Wertschöpfungsnetzwerke bilden [its05, S. 12]. Verdeutlicht werden kann dies mit Hilfe einer modifizierten Automatisierungspyramide, die die drei wesentlichen und übergeordneten Aspekte von Industrie 4.0 enthält (Bild 2-7).

Die **vertikale Integration** beschreibt die Verknüpfung der unterschiedlichen IT-Systeme auf den verschiedenen Hierarchieebenen eines Unternehmens (Unternehmensleitebene bis Feldebene) [KWH13, S. 24]. Das ermöglicht die Synchronisation sämtlicher Geschäftsprozesse inklusiv ihrer Ressourcen über alle Unternehmensebenen hinweg. Aufgrund der zunehmenden Rekonfigurierbarkeit und Flexibilität von Cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS) können auf Basis von Modellen, Daten, Kommunikationsstrukturen und Algorithmen Ad-hoc-Netzwerke gebildet werden [its05, S. 13].

Horizontale Integration steht für die Ad-hoc-Vernetzung von intelligenten Maschinen, Betriebsmitteln, Produkten/Werkstücken sowie Lagersystemen zu leistungsfähigen Wertschöpfungsnetzwerken. Im Fokus steht die Integration der IT-Systeme entlang der Wertschöpfungskette: von der Beschaffung über die Produktion bis hin zur Distribution [its05, S. 14]. Hierdurch kann der gesamte Wertschöpfungsprozess von Anfang bis Ende hinsichtlich der Dimensionen Qualität, Zeit, Preis, Risiko etc. optimiert werden. Darüber hinaus können ganze Prozesse und Lieferketten zwischen Unternehmen, Partnern, Lieferanten und Kunden eng miteinander verzahnt werden [Abo16, S. 16]. Voraussetzung sind Flexibilität und Schnelligkeit der Wertschöpfungspartner sowie offene Schnittstellen,

Vertrauen und (Daten-)Sicherheit. Die horizontale Integration bietet gleichermaßen Chancen für neue sowie Risiken für bestehende Geschäftsmodelle (z. B. durch ungleich verteilte Machtverhältnisse) [its05, S. 14].

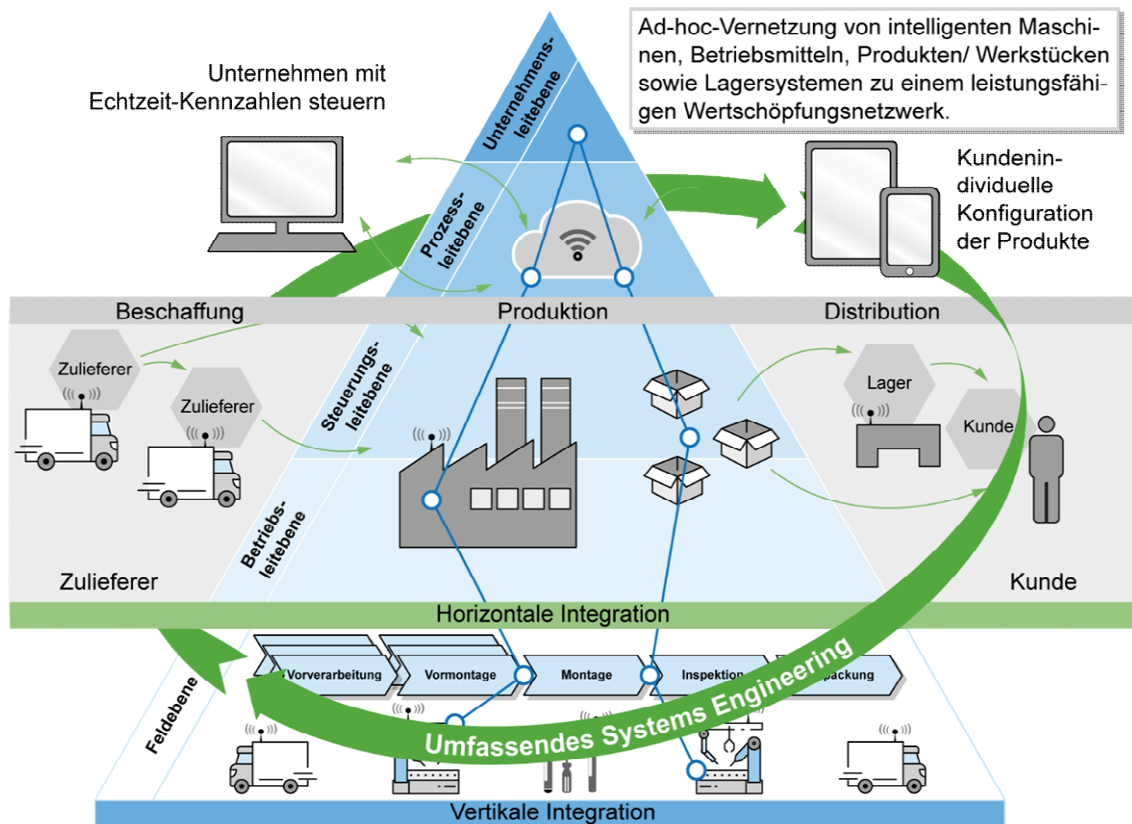


Bild 2-7: Übergeordnete Aspekte von Industrie 4.0 [its05, S. 15]

Umfassendes Systems Engineering steht für einen durchgängigen domänenübergreifenden Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer technischer Systeme – von der strategischen Produktplanung über die Produkt- und Produktionssystementwicklung bis hin zur Dienstleistungsentwicklung. Die Integration der zahlreichen systemorientierten Engineering-Ansätze wird auch unter dem Begriff *Advanced Systems Engineering* zusammengefasst (vgl. [DAR+21, S. 9] bzw. Abschnitt 2.3.1). Im Mittelpunkt aller Entwicklungsaktivitäten steht das zugrunde liegende, hoch vernetzte System. Der Ansatz begegnet der steigenden Produkt- und Prozesskomplexität, der verstärkten Interdisziplinarität und zunehmend verteilten Wertschöpfung. Im Mittelpunkt steht ein Systemmodell. Es dient der disziplinunabhängigen Beschreibung des Systems und stellt hierdurch die Kommunikation aller beteiligten Disziplinen und Fachbereiche entlang des Produktentstehungsprozesses sicher. In diesem Zuge wird auch vom Ansatz des *Model-Based Systems Engineering (MBSE)* gesprochen [its05, S. 14f.].

Fazit: Die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen erfordert eine vollumfängliche horizontale und vertikale Integration sowie einen durchgängigen domänenübergreifenden Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer technischer Systeme in Form

des Systems Engineerings. Die Analyse zeigt, dass die digitale Transformation nicht auf einzelne Unternehmensbereiche oder Teile des Wertschöpfungsnetzwerks beschränkt ist. Im Rahmen der Industrie 4.0-Strategieentwicklung sind daher alle Aspekte gleichermaßen einzubeziehen. Vor allem ist zu berücksichtigen, wie ein Unternehmen den mit Industrie 4.0 verbundenen Wandel bewältigen und erforderliche Geschäftsprozesse erfolgreich implementieren kann.

2.3.3 Analyse von Industrie 4.0-Implementierungsprozessen

Der vorherige Abschnitt hat die mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen aufgezeigt und verdeutlicht, dass die Implementierung von Industrie 4.0 systematisch geplant werden muss. Hierfür haben sich bereits verschiedene Industrie 4.0-Implementierungsprozesse etabliert – sei es in Forschungsprojekten von Hochschulen oder in der Beratungspraxis von Unternehmensberatungen (vgl. [KT17], [Ins18-ol], [THD+19]). Bei näherer Untersuchung verdichten sich Hinweise, dass sich diese Implementierungsprozesse häufig auf dieselben generischen Phasen zurückführen lassen, wenngleich unterschiedliche Termini für diese Phasen existieren. Eine Literaturanalyse zeigt, dass die fünf generischen Phasen *Vorbereitung*, *Analyse*, *Planung*, *Umsetzung* und *Controlling* existieren. Bild 2-8 liefert einen Überblick über die betrachteten Ansätze.

Die Analyse zeigt, dass Industrie 4.0-Implementierungsprozesse im Kern aus den Phasen **Analyse**, **Planung** und **Umsetzung** bestehen. Zu den erweiterten Phasen zählen die teilweise vorgelagerte Phase der **Vorbereitung** sowie die selten nachgelagerte Phase **Controlling**. Die Phasen beinhalten im Einzelnen:

- **Vorbereitung:** Zu den Bestandteilen der Vorbereitung zählen Tätigkeiten wie das Informieren, Aktivieren bzw. Motivieren des Projektteams, das Schaffen eines gemeinsamen Mindsets oder Besuche und Austausche auf Fachmessen oder bei Referenzunternehmen (vgl. beispielsweise [Tec15, S. 4ff.], [ESS16, S. 254ff.], [AF15, S. 10], [MUR+18, S. 97ff.], [Bra18-ol]).
- **Analyse:** Hierzu gehört die umfangreiche Untersuchung der Ausgangssituation. Beispiele sind die Analyse der Unternehmensstrategie, die Standortbestimmung mittels Reifegradmodellen, Entwicklung einer digitalen Vision oder Geschäftsprozessanalyse zur Aufdeckung von Verbesserungspotentialen (vgl. beispielsweise [Tec15, S. 4ff.], [ESS16, S. 254ff.], [Bra18-ol], [BOA+18, S. 254ff.], [Him19-ol]).
- **Planung:** Die Planungsphase beinhaltet beispielweise die Bestimmung der anzustrebenden Zielposition, das Aufstellen eines Implementierungsplans bestehend aus Maßnahmen bzw. Maßnahmenpaketen sowie die Entwicklung einer Strategie (vgl. beispielsweise [SBB+16, S. 15ff.], [TP17, S. 21ff.], [Pet17, S. 123ff.], [BS17, S. 233ff.], [OM18, S. 173ff.]).

- **Umsetzung:** In der Umsetzung werden z. B. Pilotprojekte, Prototypen und Demonstratoren entwickelt, mit denen die geplanten Maßnahmen umgesetzt werden können. Damit verbundene Tests erbringen häufig den Nachweis der Machbarkeit (vgl. z. B. [ESS16, S. 254ff.], [Mer16, S. 95ff.], [HLM+17, S. 266ff.], [Bra18-ol], [Him19-ol]).
- **Controlling:** Im Rahmen des Controllings wird gemessen, inwieweit die Umsetzung greift. Beispiele bilden das Prämissen-Controlling, bei dem überprüft wird, ob die der Umsetzung zugrunde liegenden Annahmen korrekt sind oder das Umsetzungscontrolling, das prüft, ob die eingeleiteten Umsetzungsmaßnahmen greifen. Im Bedarfsfall wird gegengesteuert [BS17, S. 233ff.], [BOA+18, S. 254ff.].

Ansatz	Vorbereitung	Analyse	Planung	Umsetzung	Controlling
5-Stufen-Methode MATT ET AL. (2018)	Informieren, Bewusstsein schaffen	Anforderungen, Selbstbewertung, Potentialanalyse	Implementierungsplan		
6-Phasen-Modell HIMSTEDT (2019)		Strategie, Readiness	Roadmap, Technologie	Prototyping, Realisierung	
Industrie 4.0-Vorgehensmodell BRAINCOURT (2019)	Aktivieren	Analysieren	Innovieren	Realisieren, Praktizieren	
Industrie 4.0-Transformation EROL ET AL. (2016)	Envision	Enable		Enact	
Vorgehen zur I4.0-Einführung TU DARMSTADT (2015)	Vorbereitung	Analyse	Ideengenerierung, Bewertung	Umsetzung	
Industrie 4.0-Roadmap BRAUN ET AL. (2018)		Ist-Analyse	Zielbestimmungsanalyse	Maßnahmenumsetzung	
Industrie 4.0-Vorgehensmodell KAUFMANN (2015)		Analyse	Ideenfindung, I4.0-Zielmodell, IT-Architektur, Wirtschaftlichkeitsrechnung, Roadmap	Umsetzung	
Vorgehen zur CPPS-Migration MORLOCK (2018)		I4.0-Audit	Festlegung des nächsten Reifegrads, Umsetzungskonzept	Umsetzung	
Leitfaden Industrie 4.0 ANDERL/FLEISCHER (2015)	Vorbereitung	Analyse	Kreativität, Bewertung	Einführung	
Ansatz zur I4.0-Implementierung LANZA ET AL. (2016)		I4.0-Reifegrad- und GAP-Analyse	Maßnahmen zur Reifegraderhöhung		
Roadmap Industrie 4.0 SEITER ET AL. (2016)		Bestandsaufnahme, Potentialanalyse	Roadmap		
Roadmap Industrie 4.0 TSCHANDL ET AL. (2017)	Start-Workshop	I4.0-Reifegradanalyse	Soll-Zustand, Maßnahmen-generierung und -bewertung	Entscheidung, Roadmap	
Einführung von Industrie 4.0 BILDSTEIN/SEIDELMANN (2014)	Workshops, Messen, Austausch,...	Use-Case-Entwicklung, Nutzen-Kostenanalyse, Führungskräfte-Workshops, Kommunikation		Umsetzung, Roadmap, Roll-Out	Evaluation
Ansatz zur I4.0-Transformation OLEFF/MALESSA (2018)		Situationsanalyse	Zielsystem, Plan	Umsetzung	
Modell zur digitalen Transform. PETER (2017)		Maturitätsanalyse	Digitale Vision, Uniqueness	Umsetzung	
Einführung von I4.0-Methoden HÜBNER ET AL. (2017)	Initiative	I4.0-Assessment, Methodenspezifizierung, Risiko-Potentialanalyse		Implementierung	

Bild 2-8: Phasen von Industrie 4.0-Implementierungsprozessen [Ins19-ol]

Fazit: Industrie 4.0-Implementierungsprozesse lassen sich offensichtlich auf ein Grundmuster bestehend aus den Kernphasen Analyse, Planung und Umsetzung sowie den erweiterten Phasen Vorbereitung und Controlling zurückführen. Darüber hinaus lassen sich Parallelen zum klassischen Strategieverständnis erkennen (vgl. Abschnitt 2.1.4), beispielsweise bei der Analyse („Unser Unternehmen heute“), der Ziel- bzw. Solldefinition („Unser Unternehmen in der Zukunft“) und der Planung (Maßnahmenplanung, Roadmaps

etc.). Bei der Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie sollten diese Phasen daher berücksichtigt werden. Dabei gilt es, besonders die spezifischen Bedürfnisse von KMU zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 1.1). Hierfür sollen KMU zunächst noch stärker beleuchtet werden.

2.3.4 Die Rolle von KMU im Rahmen der digitalen Transformation

Den **kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)** wird im Rahmen der digitalen Transformation häufig eine Sonderrolle zugesprochen [BUB17, S. 16ff.]. Vor diesem Hintergrund befassen sich die nachfolgenden Ausführungen mit der Rolle von KMU im Rahmen der digitalen Transformation sowie mit den damit verbundenen spezifischen Möglichkeiten und Hürden. Hierzu wird zunächst erläutert, welche Unternehmen unter der KMU-Bezeichnung subsumiert werden. Anschließend wird ein Abriss zur (volks-)wirtschaftlichen Bedeutung von KMU gegeben. Letztlich werden die mit der digitalen Transformation verbunden Herausforderungen bzw. Hemmnisse und Chancen für KMU aufgezeigt.

Etablierte KMU-Definitionen

Unter der Sammelbezeichnung KMU werden Unternehmen zusammengefasst, die gewisse Grenzen in Bezug auf die Beschäftigtenzahl, Umsatzerlös oder Bilanzsumme nicht überschreiten [Sta21-ol]²³. Es existieren verschiedene etablierte KMU-Definitionen, die sich stark ähneln. Tabelle 2-2 liefert einen Überblick und stellt die Definition der Europäischen Union (EU), des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM) und des Handelsgesetzbuches (HGB) gegenüber [Kom03-ol], [Ins16-ol], [Bun21-ol].

Im weiteren Verlauf wird die Definition der EU zugrunde gelegt. Demnach zählen zu den KMU alle Unternehmen, die eine Beschäftigtenzahl von weniger als 250 Beschäftigte aufweisen und einen Umsatzerlös von bis zu 50 Mio. Euro erwirtschaften (alternativ: über eine Bilanzsumme von bis 43 Mio. Euro verfügen). Betrachtet man die unter der KMU-Definition beinhalteten Unternehmenskategorien rein anhand der aufgeführten Kennzahlen, handelt es sich vermeintlich um Betriebe von eher untergeordneter Bedeutung. Die tatsächliche Bedeutung dieser Unternehmen wird daher anhand weiterer Kennzahlen im Folgenden näher untersucht.

²³ Hierbei handelt es sich um eine quantitative Abgrenzung von Unternehmen. Werden qualitative Merkmale einbezogen (bspw. die Eigentümerstruktur, Stichwort: Familienunternehmen) wird auch der Begriff *Mittelstand* verwendet (vgl. [AM13, S. 3ff.]). Im Folgenden wird der KMU-Begriff mit dem quantitativen Mittelstandsbegriff gleichgesetzt.

Tabelle 2-2: Auswahl etablierter KMU-Definitionen (vereinfacht)

Herausgeber	Unternehmenstyp	Anzahl Beschäftigte	Umsatzerlös [Mio. €]	Bilanzsumme [Mio. €]	Bemerkung
Europäische Union	Kleinstunternehmen	< 10	≤ 2	≤ 2	Anzahl der Beschäftigten und entweder Umsatzerlös oder Bilanzsumme treffen zu.
	Kleine Unternehmen	< 50	≤ 10	≤ 10	
	Mittlere Unternehmen	< 250	≤ 50	≤ 43	
Institut für Mittelstandsforschung (IfM)	Kleinstunternehmen	≤ 9	≤ 2		Beide Merkmale müssen erfüllt sein.
	Kleine Unternehmen	≤ 49	≤ 10		
	Mittlere Unternehmen	≤ 499	≤ 50		
	KMU zusammen	≤ 499	≤ 50		
Handels-gesetzbuch (HGB)	Kleinstkapitalgesellschaft	< 10	< 0,7	< 0,35	Zwei der drei Merkmale müssen erfüllt sein.
	Kleine Kapitalgesellschaft	< 50	< 12	< 6	
	Mittelgroße Kapitalgesellschaft	≤ 250	≤ 40	≤ 20	

Wirtschaftliche Bedeutung

KMU weisen in Deutschland eine **hohe (volks-)wirtschaftliche Bedeutung** auf. Im Jahr 2018 zählten rund 3,47 Mio. Unternehmen und damit 99,5% aller Unternehmen in Deutschland zu den KMU²⁴. Sie sind verantwortlich für 2,4 Billionen Euro oder 34,4% des erwirtschafteten Umsatzes von Unternehmen. KMU beschäftigen rund 58% aller sozialversicherungspflichtigen Mitarbeiter und steuerten rund 16% des Exportumsatzes aller Unternehmen sowie circa 61% zur gesamten Nettowertschöpfung bei [Ins18-ol].

Auch in Bezug auf die **Innovationskraft** nehmen KMU eine Sonderstellung ein. Ihnen wird häufig eine mangelnde bzw. sinkende Innovationsfähigkeit unterstellt (z. B. [RGP+16], [PK19], [Zim20]). Darüber hinaus sind deutsche KMU im internationalen Vergleich nicht innovativer als andere Länder [aca15, S. 7]. Unabhängig von der tatsächlichen Innovationskraft existieren allerdings Ansichten, die auf **KMU-spezifische Vorteile im Innovationsgeschehen** hinweisen [MF12, S. 13]. Angeführte Gründe stellen u.a. ein geringerer Formalisierungsgrad, strukturelle Flexibilität, umfangreiches Fachwissen, hohe Qualifikationsstandards und flache Hierarchien [MF12, S. 13]. Ferner wird kleinen und mittelgroßen Betrieben eine **Schlüsselposition** für den technischen Fortschritt und die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Industrienationen zugesprochen. Vor allem in forschungs- und wissensintensiven Wirtschaftszweigen nehmen sie eine Vorreiterposition beim Einsatz neuer Technologien ein, beleben die Nachfrage, eröffnen zukunftsfähige Märkte und heizen den Wettbewerb an [RS15-ol, S. 1]. Unter ihnen befinden sich eine Reihe sog. „**Hidden Champions**“²⁵. Hierzu zählen in der deutschen Industrie beispielsweise rund 1,5% der Unternehmen (ohne Kleinstunternehmen mit weni-

²⁴ Gemäß KMU-Definition des IfM Bonn.

²⁵ Nach SIMON zählen zu den sog. Hidden Champions Unternehmen, die zu den Top 3 auf dem Weltmarkt oder Spitzenreitern auf ihrem Kontinent zählen (absoluter bzw. relativer Marktanteil), einen Umsatz weniger 4 Mrd. US-Dollar erwirtschaften und eine sehr geringe Bekanntheit aufweisen [Sim09, S. 15].

ger als 5 Mitarbeitern). Rund die Hälfte dieser Unternehmen sind den Branchen Maschinenbau, Elektroindustrie, Medizintechnik und der Automobilbranche zuzuordnen [RS15-ol, S. 14ff.].

Digitalisierungsfortschritt von KMU

Aufgrund ihrer Bedeutung und der Tatsache, dass die **Digitalisierung als Innovations-treiber des 21. Jahrhunderts** gilt [Kag14, S. 67], ist es von essentieller Bedeutung, dass KMU die mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen meistern. Nur hierdurch kann die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmensgruppe langfristig gesichert werden [Sch16-ol, S. 11]. Verschiedene Studien belegen allerdings, dass insbesondere KMU es sind, die häufig Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Industrie 4.0 haben, während größere Unternehmen beginnen, die Chancen zu verstehen und die Herausforderungen zu meistern [HLG+17, S. 1070f.], [BHC+19, S. 4977]. Tabelle 2-3 liefert eine Auswahl angeführter Herausforderungen/Hemmnisse und Chancen im Kontext von Industrie 4.0 für KMU.

Neben diesen konkreten Herausforderungen und Hemmnissen bzw. Chancen hat die Forschungspraxis gezeigt, dass sich KMU damit konfrontiert sehen, aus der Vielfalt der Umsetzungsoptionen genau diejenigen zu identifizieren, die für ihre eigene Position Erfolg versprechend sind [FHL+19, S. 18ff.]. Dies führt bisher häufig dazu, dass KMU digitale Anwendungen nur in Form von Pilotanwendungen, Prototypen und Einzellösungen testen [SAD+20, S. 11]. Immer noch existieren häufig keine übergreifende Vision oder ein strategischer Plan für die umfassende Umsetzung der digitalen Transformation [HKO+15, S. 1]. Es liegt auf der Hand, dass die Zukunftsfähigkeit des Innovationsstandorts Deutschland maßgeblich davon abhängt, inwieweit KMU die digitale Transformation bewältigen werden [its18, S. 6].

Fazit: KMU bilden das Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Ihr Erfolg determiniert in erheblichem Maße den Wohlstand der Gesellschaft. Im Zuge der vierten industriellen Revolution gilt es, den langfristigen Erfolg dieser Unternehmen zu sichern. Studien weisen darauf hin, dass KMU Unterstützung bei der Bewältigung der digitalen Transformation benötigen. Zwar erkennen die Unternehmen auch die mit Industrie 4.0 verbundenen Potentiale und Chancen. Es mangelt allerdings an einer Strategie, um die Möglichkeiten von Industrie 4.0 voll auszuschöpfen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 nicht zum Selbstzweck erfolgt. Vielmehr gilt es, aufgrund begrenzter Ressourcen Industrie 4.0-Strategien zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse des zugrunde liegenden Unternehmens zugeschnitten sind. Hierbei müssen die individuellen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Diese Erkenntnisse erfordern den detaillierteren Blick auf die Konzepte strategischer Unternehmensführung.

Tabelle 2-3: Herausforderungen bzw. Hemmnisse und Chancen für KMU im Kontext von Industrie 4.0 (Auswahl)

Herausforderungen/Hemmnisse	Chancen
Fehlende Strategie: KMU mangelt es häufig noch an einer umfassenden Strategie von Industrie 4.0 im Unternehmen. Entscheidungen hängen ausschließlich von der Intuition und Erfahrung einiger weniger Akteure im Unternehmen ab. Eine langfristig angelegte Steuerung der Industrie 4.0-Aktivitäten erfolgt nur selten [DER+16, S. 35f.], [Sch16b, S. 11f.], [MGG+17, S. 608], [FHL+19, S. 16].	Produktivitäts-/Wertschöpfungssteigerung: Viele Unternehmen erwarten durch Industrie 4.0 erhebliche Kosteneinsparungen in der Leistungserstellung verbunden mit effizienteren Geschäftsprozessen sowie einer Vereinfachung von Arbeitsabläufen, was sich positiv auf die Produktivität auswirkt [LJ15, S. 10], [DER+16, S. 31f.].
Ressourcenknappheit: Knappe Ressourcen (finanziell, personell, infrastrukturell,...) stellen Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 vor große Herausforderungen und sorgen für Zurückhaltung [FHL+19, S. 7], [Sch16b, S. 11], [LBO18, S. 44].	Neue Geschäftsmodelle: Mit Industrie 4.0 verbinden KMU die Chance, neue digitale und kooperative Geschäftsmodellinnovationen hervorzubringen. Sie übersteigen den Kundennutzen bisheriger Geschäftsmodelle [LJ15, S. 9f.], [DER+16, S. 33], [BFG+17, S. 32f.], [LBO18, S. 31ff.], [Ind19, S. 3ff.].
Beurteilung des Aufwand-Nutzenverhältnisses: Unsicherheiten bestehen beispielsweise in Bezug auf Nutzenpotentiale und Wirtschaftlichkeit von Industrie 4.0-Lösungen. Dem hohen (finanziellen) Aufwand stehen eine nicht erkennbare Notwendigkeit bzw. ein intransparenter Nutzen gegenüber [Bun18, S. 15], [FHL+19, S. 33].	Bessere Kontrolle der Wertschöpfungskette: Mit Industrie 4.0 lassen sich nicht bloß einzelne Prozessschritte, sondern gesamte Wertschöpfungsketten optimieren [Bun18, S. 11]. KMU sehen darüber hinaus die Chance, die Wertschöpfungskette durch eine durchgängige Vernetzung besser kontrollieren zu können [LJ15, S. 10].
Mangelnde IT-Datensicherheit: Große Unsicherheit besteht nach wie vor im Bereich Daten- und IT-Sicherheit, wodurch beispielsweise Kooperationen erschwert werden [AF15, S. 28], [LJ15, S. 26f.], [DER+16, S. 36ff.], [MGG+17, S. 608].	Höhere Kundenbindung: Unternehmen setzen auf eine stärkere Vernetzung mit Kunden und Partnern und erwarten durch kundenindividuelle Lösungen eine engere Bindung zu ihrer Kundschaft [LJ15, S. 4 f.], [Ind19, S. 5ff.].
Fehlende Normen/Standards: Fehlende Normen und Standards erschweren die Umstellung auf neue Industrie 4.0-Technologien. Hierdurch wird vor allem die Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette gehemmt [AF15, S. 28], [DER+16, S. 44ff.], [Sch16b, S. 12].	Diversifikationsmöglichkeiten: Industrie 4.0 eröffnet Chancen bei der Diversifikation, beispielsweise durch Eintritt in neue Märkte, die Erweiterung des Produkt- und Serviceportfolios (s.u.) sowie die Entwicklung neuer innovativer Geschäftsmodelle (s.o.) [LJ15, S. 4f.].
Schnittstellendefinitionen: Fehlende Schnittstellen und Protokolle für CPS sorgen dafür, dass Industrie 4.0-Technologien bisher unzureichend adaptiert werden. Hiervon sind insbesondere Datenschnittstellen betroffen [LJ15, S. 11], [DER+16, S. 35f.], [Sch16b, S. 12], [BFG+17, S. 5f.].	Ausweitung des Produkt- und Serviceportfolios: Industrie 4.0 führt zu Veränderungen der Produkte und Dienstleistungen und ermöglicht die Erweiterung des Produkt- und Serviceportfolios. In diesem Zuge wächst auch die Bedeutung digitaler Plattformen [LJ15, S. 10], [DER+16, S. 33ff.], [Ind19, S. 3ff.].
Mangelndes Fachwissen: Fehlendes Fachwissen stellt ein erhebliches Hemmnis bei der Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen dar. Es existieren Unternehmen, die sich aufgrund dessen noch nicht aktiv mit dem Thema befassen haben [DER+16, S. 42].	Qualitätsverbesserungen/Fehlerreduktion: Industrie 4.0 ermöglicht signifikante Qualitätsverbesserungen sowie eine Reduzierung von Fehlern, beispielsweise durch eine virtuelle Produktentwicklung oder im Bereich Prozess- und Produktqualität durch den Einsatz von Assistenzsystemen in der Produktion [Bis15, S. 100], [SKC+17, S. 135].
Vefügbbarkeit von qualifiziertem Personal: Der Mangel an Fachkräften sowie die Gewinnung von qualifiziertem Nachwuchs, beispielsweise im Bereich Softwarearchitekturen und Datenanalysen, werden als wesentliches Hemmnis bei der Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen angesehen [LJ15, S. 11], [MGG+17, S. 608], [Bun18, S. 15], [FHL+19, S. 18].	Variantenbeherrschung: Eine steigende Variantenvielfalt bei gleichzeitiger Reduzierung der Auftragsgrößen („Losgröße 1“) steigert die Komplexität von Fertigungsabläufen [Bis15, S. 46]. Mit Hilfe ausgewählter Industrie 4.0-Anwendungen (z.B. Assistenzsystemen) besteht die Chance zur Beherrschung dieser Variantenvielfalt [Bis15, S. 93], [SKC+17, S. 153].
Rechtliche Rahmenbedingungen: Fehlende bzw. unklare internationale rechtliche Grundlagen, die umfassende Anzahl betroffener Rechtsbereiche (z.B. Wettbewerbsrecht, Eigentumsrecht, Strafrecht) sowie Gesetze und Richtlinien, die die Digitalisierung noch nicht ausreichend berücksichtigen, führen zu erheblichen Vorbehalten bei der Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen [AF15, S. 28], [DER+16, S. 46ff.], [MGG+17, S. 608].	Vernetzung und Integration: CPS als Basis für Industrie 4.0 ermöglichen die horizontale und vertikale Integration und damit einhergehend die flexible Vernetzung von Maschinen und Anlagen, Prozessen und Produkten. Hierdurch wird eine bereichsübergreifende Zusammenarbeit innerhalb eines Unternehmens sowie die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in Wertschöpfungs-systemen möglich [Bis15, S. 102ff.], [KRU19, S. 1236f.].

2.4 Konzepte der strategischen Unternehmensführung

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Sie adressiert hierdurch unmittelbar verschiedene Aspekte der strategischen Unternehmensführung. Daher werden im weiteren Verlauf bestehende und etablierte Konzepte der strategischen Unternehmensführung analysiert. Abschnitt 2.4.1 beleuchtet das St. Galler Management Konzept, das die Aufgaben der Unternehmensführung in drei verschiedene Ebenen einordnet. Abschnitt 2.4.2 analysiert den Prozess der strategischen Führung bestehend aus vier charakteristischen Phasen. Es folgt eine Einordnung von Industrie 4.0-Strategien in die bestehenden Strategiekonzepte (Abschnitt 2.4.3). Vor dem Hintergrund der mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen der betrieblichen Wertschöpfung erfolgt abschließend die Analyse der Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien unter soziotechnischen Gesichtspunkten (Abschnitt 2.4.4).

2.4.1 St. Galler Management-Konzept

Das Konzept der strategischen Unternehmensführung wurde maßgeblich durch die Ausführungen BLEICHERS im sog. **St. Galler Management-Konzept** geprägt. Es besteht aus den drei horizontalen Ebenen *normatives Management*, *strategisches Management* und *operatives Management*. Sie sind mit den drei vertikalen Ebenen *Strukturen*, *Verhalten* und *Aktivitäten* verzahnt (Bild 2-9). Jede Ebene und Säule beinhaltet bis zu drei Bezugsthemenfelder (z. B. *Unternehmenspolitik*), die gegenseitige Abhängigkeiten aufweisen. Nach BLEICHER sind diese mit Hilfe verschiedener Stellschrauben regelmäßig in Einklang zu bringen, um das langfristige Fortbestehen einer Unternehmung zu gewährleisten [BA17, S. 58ff.]. Alle Bereiche werden ausgerichtet auf die unternehmerische Vision – eine wünschenswerte Zielpositionierung im Sinne des Erschließens von erkannten Erfolgspotentialen [GP14, S. 12ff.].

Normatives Management (begründend): Gibt den sachlichen und formalen Rahmen für die Unternehmensentwicklung vor. Hierzu zählen beispielsweise die Unternehmenspolitik und die Kultur [BA17, S. 60].

Strategisches Management (ausrichtend): Konkretisiert im Abgleich mit dem normativen Management und unter Berücksichtigung von Markt-, Produkt- und Finanzsituation sowie der Wertschöpfungskonfiguration und Personalsituation iterativ und rekursiv Ausrichtungen, Themen und strategische Programme, die mittelfristig zur (positiven) Veränderung strategischer Erfolgspositionen führen sollen [BA17, S. 60].

Operatives Management (vollziehend): Sorgt für die Umsetzung (Transition) der Vorgaben aus der normativen und strategischen Ebene. Im Vordergrund stehen die Führung der Mitarbeiter, Ressourcen und Fähigkeiten sowie Geschäftsprozesse [BA17, S. 79].

Das Konzept dient dazu, alle enthaltenen Bereiche kontinuierlich zu analysieren, bei Bedarf neu auszurichten und ggf. anzupassen. Jede Konstellation der Elemente kann als eigenständiger Entwicklungsstand aufgefasst werden. Aus der gegenwärtigen Analyse der

Ist-Situation ergeben sich nach BLEICHER erste Vorstellungen über Entwicklungsmöglichkeiten [BA17, S. 58ff.]. Dahinter verbirgt sich ein integrierter Unternehmensentwicklungsprozess.



Bild 2-9: Das St. Galler Management-Konzept nach BLEICHER, [GP14, S. 114], [BA17, S. 58ff.]

Bedeutung im Kontext der Arbeit: Das Konzept von BLEICHER bildet ein sehr umfangreiches Rahmenkonzept zur strategischen Unternehmensführung. Hervorzuheben sind die integrierte Betrachtungsweise eines Unternehmens auf den unterschiedlichen Ebenen sowie die Berücksichtigung von Strukturen, Aktivitäten und Verhalten. Damit grenzt sich das Konzept von anderen Konzepten ab und ermöglicht es, ein Unternehmen vollumfänglich aus strategischer Sicht zu beleuchten. Auffällig ist, dass das St. Galler Management Konzept erhebliche Parallelen zum Reifegradmanagement aufweist. Beide Konzepte fokussieren die systematische Erfassung der Ausgangssituation (Ist-Position), Antizipation zukünftiger Entwicklungsmöglichkeiten (Soll-Position) sowie die (Weiter-)Entwicklung eines Unternehmens unter Durchführung regelmäßiger Soll-Ist-Abgleiche. Es gilt zu prüfen, inwieweit sich diese beiden Konzepte verknüpfen und zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien heranziehen lassen.

2.4.2 Prozess der strategischen Führung nach GAUSEMEIER ET AL.

Ein Konzept im Rahmen des strategischen Managements bildet der Prozess der strategischen Führung nach GAUSEMEIER ET AL. Er beinhaltet vier charakteristische Phasen.

Diese sind nicht einmalig in einer sequentiellen Abfolge zu durchlaufen, sondern vielmehr als iteratives Vorgehen zu verstehen. Der Prozess kann aus zwei Perspektiven beleuchtet werden: Aus dem Blickwinkel des Unternehmens (Innensicht) sowie aus Sicht des Umfelds (Außensicht). Jede Phase ist mit einer charakteristischen Fragestellung verbunden (Bild 2-10).

Analyse: In dieser Phase wird die Ausgangssituation des Unternehmens-, Geschäfts- bzw. Funktionsbereichs beleuchtet. Ziel sind zum einen gegenwärtige Stärken und Schwächen des Unternehmens. Zum anderen wird untersucht, inwieweit Ansatzpunkte bestehen, die eigene Position im Wettbewerb zu verbessern [GP14, S. 115].

Ermittlung von Strategioptionen: Diese Phase untersucht mit Hilfe von Methoden der Vorausschau, welche Möglichkeiten für ein Unternehmen in der Zukunft bestehen. Untersucht werden hierbei die Zukunft des Unternehmens (Lenkungsszenarien) als auch die des Unternehmensumfeldes (Umfeldszenarien). Ergebnisse sind Chancen, Gefahren und strategische Stoßrichtungen. Unter Beachtung der Erkenntnisse aus der Analysephase liefern sie Strategioptionen [GP14, S. 115f.].

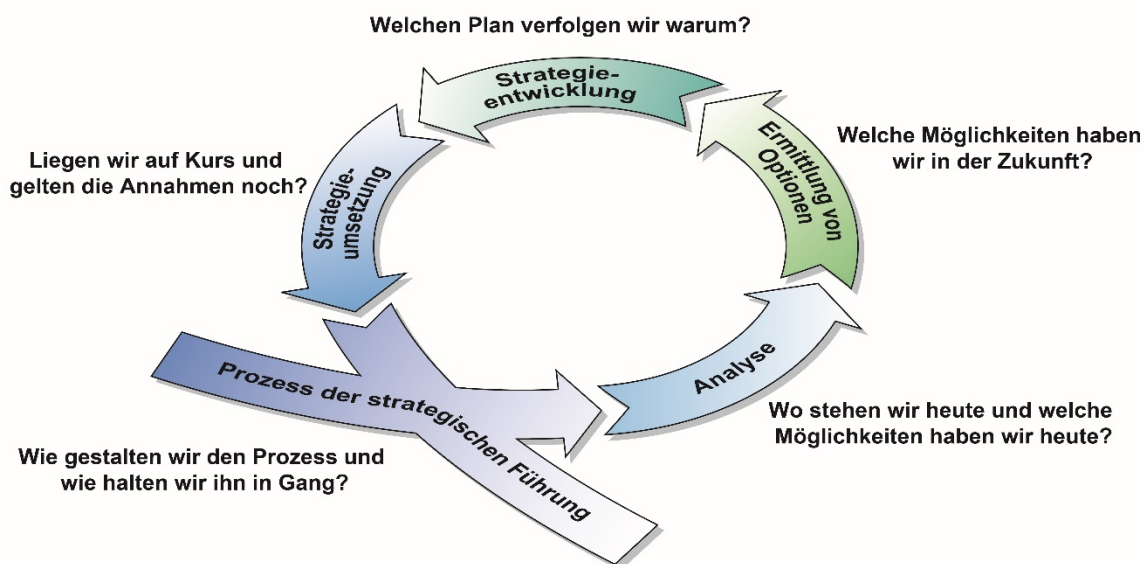


Bild 2-10: Prozess der strategischen Führung mit seinen charakteristischen Phasen und Fragestellungen in Anlehnung an [GLR09, S. 7] und [GP14, S. 116]

Strategieentwicklung: Gegenstand dieser Phase ist die Entwicklung der unternehmerischen Vision sowie die Beschreibung, wie diese Vision erreicht wird (Strategie). Die Vision umfasst die Zieldefinition in Form eines Leitbildes, die Festlegung strategischer Kompetenzen bzw. strategischer Erfolgspositionen²⁶ sowie die strategische Positionierung durch Festlegung der Produkt-Markt-Kombinationen in der Wettbewerbsarena und der darin zu verfolgenden Wettbewerbsstrategien. Die Konsolidierung dieser Elemente ermöglicht Handlungsoptionen, wie ein Unternehmen die gesetzten Ziele erreichen kann.

²⁶ Nach PÜMPIN handelt es sich bei den sog. strategischen Erfolgspositionen um Fähigkeiten, die für den nachhaltigen Erfolg eines Unternehmens von entscheidender Bedeutung sind [Püm83, S. 29ff.].

Die Bündelung von Handlungsoptionen führt zu strategischen Programmen sowie Konsequenzen und Maßnahmen. Sie komplettieren die Strategie [GP14, S. 116].

Strategieumsetzung: In dieser Phase geht es darum, die der Strategie zugrunde liegenden Annahmen sowie die konsequente Umsetzung der Strategie zu überprüfen und im Bedarfsfall gegenzusteuern. Im Rahmen der strategischen Führung wird dies als Umsetzungs- und Prämissen-Controlling bezeichnet. Hierdurch wird der strategische Führungsprozess kontinuierlich in Gang gehalten und kann als Vorsteuerungsinstrument der operativen Führung aufgefasst werden [GP14, S. 116].

Fazit: Beim Prozess der strategischen Führung handelt es sich um ein etabliertes Vorgehen zur Entwicklung, Umsetzung und Überwachung von Strategien. Die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie hat sich hieran grundsätzlich zu orientieren. Dies wird auch durch die auffälligen Parallelen zu den generischen Phasen von Industrie 4.0-Implementierungsprozessen (Abschnitt 2.3.3) unterstrichen. Trotz allem erscheint die Übertragung auf Industrie 4.0 bisher nur unzureichend zu erfolgen. Eine engere Verzahnung von Industrie 4.0 und dem Prozess der strategischen Führung liefert aller Voraussicht nach einen erheblichen Mehrwert.

Unterscheidungsformen von Strategien

Aufgrund der verschiedenen Strukturierungsmöglichkeiten von Unternehmen ist es erforderlich, den Prozess der strategischen Unternehmensführung auf verschiedenen Ebenen zu betrachten [GP14, S. 114]. Hierzu hat sich die Strukturierung der Strategieebenen nach GAUSEMEIER bewährt (Bild 2-11). Diese beinhaltet drei Arten von Strategien: **Unternehmensstrategien** (corporate strategies), **Geschäftsstrategien** (business strategies) und **Substrategien** (functional strategies). Je nach Größe und Struktur eines Unternehmens können hierbei auch reduzierte Formen des Modells auftreten [GP14, S. 114].

In der **Unternehmensstrategie** wird die unternehmerische Vision in Form eines Unternehmensleitbildes, Kernkompetenzen sowie strategischer Geschäftsfelder definiert (Bild 2-11 links). Die Schnittstelle zur Strategieumsetzung bilden strategische Programme. Dabei handelt es sich um gebündelte Maßnahmen zur geschäftsfeldübergreifenden Realisierung, z. B. die unternehmensweite IT-Infrastruktur [GP14, S. 114], [GP14, S. 190].

In einer **Geschäftsstrategie** wird die Unternehmensstrategie konkretisiert und definiert, was zur Erreichung der übergeordneten Zielsetzung in den verschiedenen Handlungs- und Funktionsbereichen erfolgen muss. Bestandteile sind das Geschäftsleitbild, Schlüsselfähigkeiten zur Verwirklichung der Geschäftsvision (strategische Erfolgspositionen) sowie eine detaillierte Beschreibung zukünftiger Marktleistungen, relevante Marktsegmente sowie Vertriebskanäle und Ziele (Bild 2-11 rechts) [GP14, S. 114], [GP14, S. 190].

In den **Substrategien** wird definiert, wie die einzelnen Handlungs- bzw. Funktionsbereiche der strategischen Geschäftsfelder vorgehen müssen, damit die vorgegebenen Ziele erreicht werden. Hierbei können häufig Synergien aufgedeckt werden, die wiederum zu

strategischen Programmen oder Initiativen führen bzw. zum Aufbau von Kernkompetenzen beitragen können. Beispiele sind Marketingstrategien, Produktstrategien, Fertigungsstrategien, Personalentwicklungsstrategien²⁷ [GP14, S. 114], [GP14, S. 190].

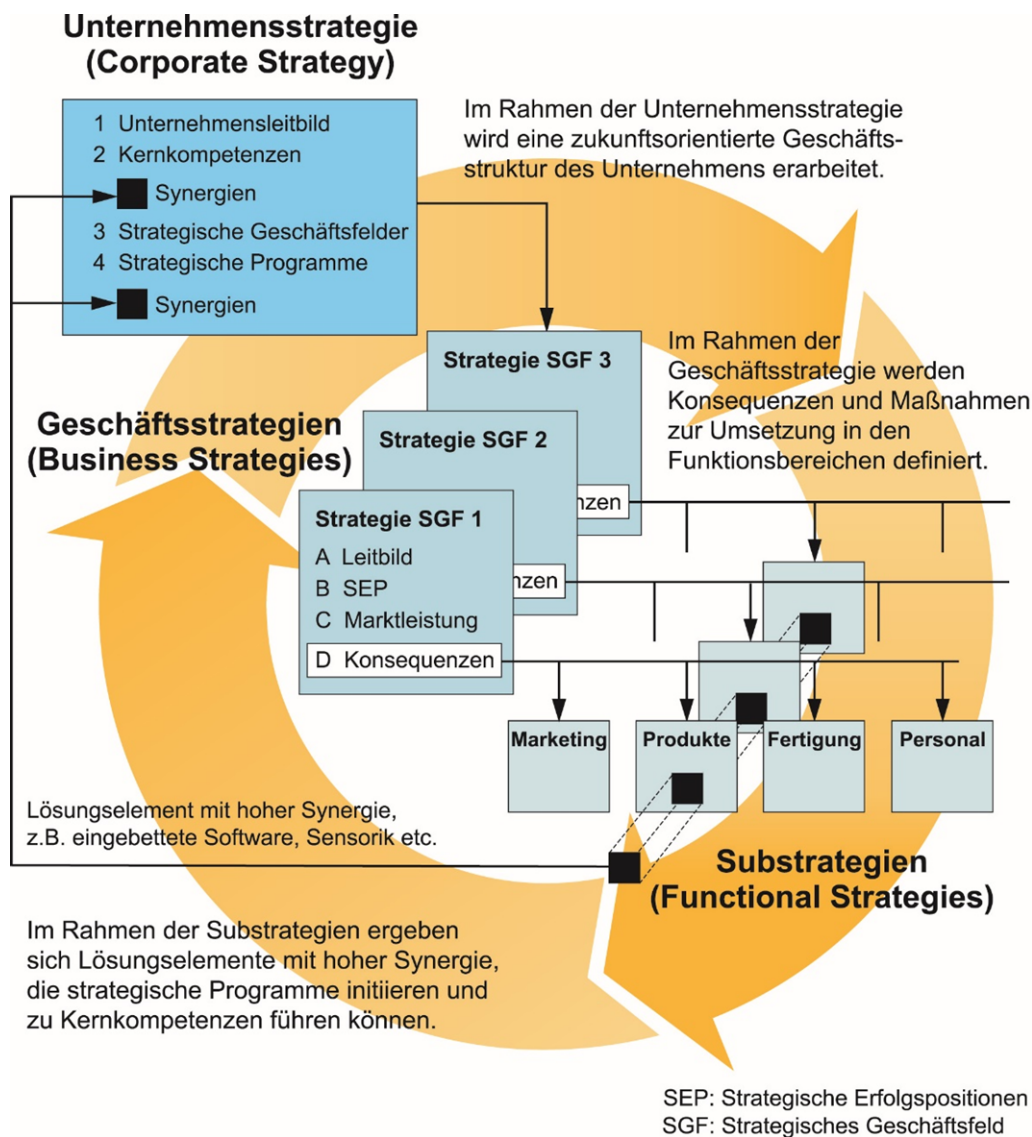


Bild 2-11: Strategieebenen von Unternehmen [GP14, S. 115]

Allen Strategieebenen gemein ist, dass über alle Bereiche hinweg eine strategiekonforme Kultur gelebt werden muss. Hierzu zählen beispielsweise Normen und Wertvorstellungen der Mitarbeiter, die das Unternehmen maßgeblich prägen bzw. zum Erfolg der Geschäftsbereiche beitragen. Da die bestehende Unternehmenskultur häufig noch von der Zielvorstellung abweicht, müssen Maßnahmen definiert werden, die der Erreichung der Soll-Unternehmenskultur dienen [GP14, S. 190ff.].

²⁷ Neben dem organisatorischen Geltungsbereich existieren weitere Unterscheidungskriterien für Strategien. Eine Übersicht ist im Anhang enthalten (vgl. Abschnitt A3).

Fazit: In der vorliegenden Arbeit nimmt die Industrie 4.0-Strategie eine zentrale Rolle ein. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der Einordnung dieser Strategie in die oben genannten Strategiearten. Eine Beantwortung der Frage ist durch Betrachtung der Strategieebenen nicht zweifelsfrei möglich. Es bedarf einer differenzierten Betrachtung zur Einordnung einer Industrie 4.0-Strategie.

2.4.3 Einordnung von Industrie 4.0-Strategien

Die Einordnung einer Industrie 4.0-Strategie in bestehende Strategiekonzepte ist bisher in der Literatur nicht abschließend geklärt. LIPSMEIER ET AL. stellen in einer Untersuchung von wissenschaftlichen Ansätzen fest, dass sich Digitalisierungsstrategien in den meisten Fällen auf **Unternehmens- und Geschäftsebene** wiederfinden lassen [LKD+19, S. 320]. Hierfür spricht auch die Untersuchung von KELKAR ET AL., die feststellen, dass die Bekanntheit von Industrie 4.0 mit der Höhe der Führungsebene zunimmt und der Wandel zu Industrie 4.0 daher zu den Aufgaben des Top-Managements zählt [KHD14, S. 19f.]. Hinsichtlich der Beziehung von Digitalisierungsstrategien zu existierenden Strategien beobachten LIPSMEIER ET AL., dass drei unterschiedliche Verbindungen der Digitalisierungsstrategie zu bestehenden Strategien existieren (Bild 2-12).



Bild 2-12: Existierende Zusammenhänge zwischen Digitalisierungsstrategien und bestehenden Strategien [LKD+19, S. 320]

Als Kriterium zur Positionierung der Digitalisierungsstrategie dient die Unternehmensstruktur. Es gilt [LKD+19, S. 327f.]:

- In Unternehmen **ohne Unterteilung in mehrere Geschäftseinheiten** (Tendenz: *Funktionalstruktur*) wird eine zentrale Digitalisierungsstrategie auf **Unternehmensebene** etabliert.
- Unternehmen mit mehreren, **stark homogenen Geschäftseinheiten** (Tendenz: *Divisionalstruktur*) siedeln die Digitalisierungsstrategie ebenfalls zentral auf **Unternehmensebene** an.
- Unternehmen mit mehreren, **stark heterogenen Geschäftseinheiten** (Tendenz: *Divisionalstruktur*) positionieren die Digitalisierungsstrategien dezentral auf der

Ebene der Geschäftseinheiten. Hierdurch ergeben sich mehrere Digitalisierungsstrategien je Unternehmen, die einer übergeordneten Zielsetzung auf Unternehmensebene folgen.

Die im Fokus stehenden **KMU weisen häufig spezifische Merkmale in Bezug auf die vorzufindende Unternehmensstruktur** auf. Hierzu zählen u.a. eine einfache Organisationsstruktur, gekennzeichnet durch wenige funktionale (anstelle divisionaler) Unternehmenseinheiten sowie eine Einlinienorganisation [KNS15, S. 215ff.]. Das deutet darauf hin, dass Digitalisierungsstrategien bei KMU in den meisten Fällen auf Unternehmensebene angesiedelt werden müssen.

Darüber hinaus stellt LIPSMEIER in Bezug auf die Zusammenhänge zu bestehenden Strategien fest, dass **Digitalisierungsstrategien** in der initialen Phase der digitalen Transformation zunächst **separate Strategien** darstellen, wenngleich diese nicht losgelöst von etablierten Strategien entwickelt werden können. Der Vorteil der zunächst separierten Betrachtung besteht in der einfacheren Kommunikation, Koordination sowie Kontrolle der festgelegten Ziele und Vorgaben [Lip21, S. 45]. Gleichzeitig sind die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den weiteren Strategiearten zu berücksichtigen [HB17, S. 317]. Zukünftig erfolgt eine zunehmende **Verschmelzung von Unternehmens- und Digitalisierungsstrategie**. Diese Verschmelzung ergibt sich allerdings erst mit zunehmender „digitaler Reife“ eines Unternehmens [BEP+13, S. 473], [Pet16, S. 50ff.], [Lip21, S. 44f.]. Sie spielt daher für die initiale Entwicklung von Digitalisierungsstrategien keine Rolle und soll daher nicht Gegenstand der weiteren Ausführungen sein.

Eine Positionierung der Digitalisierungsstrategie auf der Ebene der Funktionalstrategien kann hingegen ausgeschlossen werden. Es besteht die Gefahr, dass Digitalisierungsiniciativen bereichsspezifisch und nicht unternehmensübergreifend oder allenfalls inkrementell anstelle vollumfänglich vorangetrieben werden [Pet16, S. 52], [Hes19, S. 42], [Lip21, S. 45].

Fazit: Digitalisierungsstrategien – und damit im Sinne des zugrunde liegenden Verständnisses auch Industrie 4.0-Strategien – stellen in KMU separate Strategien dar, die auf Unternehmensebene angesiedelt sind. Sie koexistieren zunächst zur Unternehmensstrategie. Es bestehen zwar bereits heute Sichtweisen, die Industrie 4.0-Strategien als integralen Bestandteil der Unternehmensstrategie auffassen. KMU weisen allerdings bisher nicht die dafür erforderlichen Charakteristika auf (Struktur, Grad der „digitalen Reife“ etc.). Unter Berücksichtigung der Strategieebenen eines Unternehmens gilt es, die Industrie 4.0-Strategie im Sinne einer Top-Down-Logik von der Unternehmensebene bis hin zur Feldebene unternehmensspezifisch auszuprägen. Unabhängig davon können Best Practices aus der Feldebene Implikationen zur Formulierung einer digitalen Vision liefern und in die Strategieentwicklung einfließen.

2.4.4 Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien unter soziotechnischen Gesichtspunkten

Die durch die vierte industrielle Revolution hervorgerufenen Veränderungen erfordern eine **soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0** (vgl. [KWH13], [BFK+15], [MWL+16], [SK16], [BLT+17], [KLN+19]). Grund dafür sind echtzeitfähige, intelligente und zunehmend vollständig vertikal und horizontal vernetzte Systeme aus Menschen, Objekten und (IT-)Systemen, die im Mittelpunkt von Industrie 4.0 stehen [Spa13, S. 22ff.], [SK16, S. 12]. Deren Wechselwirkungen und Beziehungen erfordern es, Industrie 4.0 integrativ aus technischer, organisatorischer und sozialer Sichtweise zu beleuchten [BLT+17, S. 54]. Erst hierdurch werden die verschiedenen Herausforderungen sichtbar und können mit Hilfe gezielter Maßnahmen effizient überwunden werden [SK16, S. 13].

Zurück zu führen ist diese Denkschule auf den **Soziotechnischen Systemansatz (STSA)**, der auf der Annahme beruht, dass Unternehmen soziotechnische Systeme sind und unter dieser Maßgabe gestaltet werden müssen (vgl. [ETE76, S. 131ff.], [Uli11, S. 79ff.], [Ins16, S. 13ff.]). Der Ansatz bildet die Basis zahlreicher Konzepte der Arbeits- und Organisationswissenschaften (z. B. bei der Gestaltung selbstregulierender Teamarbeit).

Eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes stellt der sog. **Strategie-Struktur-Kultur-Ansatz (SSK)** dar (vgl. [SU97]). Als wesentliche Ergänzung zum STSA-Ansatz werden darin insbesondere unternehmerische Aspekte einbezogen, die auf einem ausgewogenen Verhältnis von strategischen, strukturellen und kulturellen Bedingungen beruhen. Als Beispiele für strategische Aspekte werden beispielsweise das Geschäftsmodell, das Produkt-Markt-Portfolio, kurz-, mittel- und langfristige Unternehmensziele, die Personal- und Technologiepolitik sowie das Ressourcenmanagement genannt. Strukturelle Aspekte bilden z. B. das Organisations- und Führungsmodell, die Prozess- und Ablaufgestaltung oder verschiedene Funktionen und Arbeitsrollen sowie die damit verbundenen Anforderungen und Verantwortlichkeiten im Unternehmen. Der kulturelle Bereich beinhaltet Normen, Werte sowie Verhaltenserwartungen und Verhaltensweisen [Ins16, S. 14f.].

Ein weiteres, ebenfalls auf dem STSA-Ansatz beruhendes Konzept, bildet der sog. **Mensch-Technik-Organisation-Ansatz (MTO)**. Er kann als Mehr-Ebenen-Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung interpretiert werden (vgl. [SU97, S. 21ff.], [Ins08, S. 15f.]). Ziel des MTO-Ansatzes ist es, *„die Nutzung und Entwicklung der Mitarbeiterqualifikation, den Einsatz von Technik und die Gestaltung der Organisation gemeinsam zu optimieren“* [Uli13, S. 6]. Im Fokus steht die Organisationsentwicklung durch Analyse, Bewertung und Gestaltung von Unternehmensbereichen oder ganzen Unternehmen auf Basis verschiedener Kriterien [Ins16, S. 15]. Über die Jahre wurde dieser Ansatz kontinuierlich weiterentwickelt und beispielsweise auch auf Industrie 4.0 übertragen²⁸. Neben den einzelnen Dimensionen Technik, Mensch und Organisation stellen insbesondere

²⁸ Unter den angeführten Weiterentwicklungen werden auch Erweiterungen der Dimensionen (z. B. um die Dimension *Kultur*) oder Abwandlungen ihrer Bezeichnungen (z. B. *Arbeit* anstelle *Mensch*) subsumiert.

deren Schnittstellen entscheidende Handlungsfelder dar [BLT+17, S. 54f.]. Bild 2-13 illustriert Beispiele für Schnittstellenaspekte.

Fazit: Die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie hat unter Berücksichtigung sozio-technischer Gesichtspunkte zu erfolgen, um den facettenreichen Abhängigkeiten zwischen technischen, organisatorischen und sozialen Möglichkeiten und Herausforderungen der digitalen Transformation bestmöglich zu begegnen. Insbesondere die Schnittstellen zwischen den Dimensionen sind ausgiebig zu beleuchten. Es gilt zu prüfen, inwieweit kulturelle Aspekte in der Strategie enthalten sein müssen, um das mit der digitalen Transformation verbundene Change Management zu unterstützen.

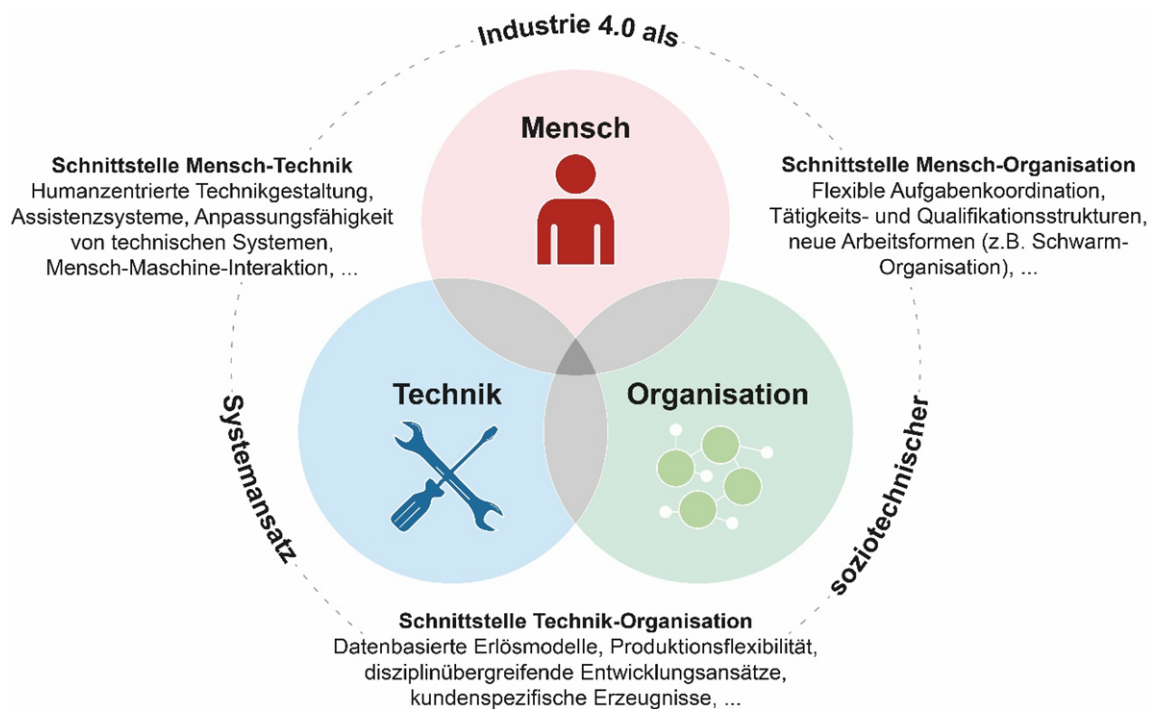


Bild 2-13: Industrie 4.0 im soziotechnischen Spannungsfeld in Anlehnung an [BLT+17, S. 54ff.]

2.5 Einsatz von Reifegradmodellen zur Unternehmensführung

Das Reifegradmanagement beinhaltet Werkzeuge und Methoden, die dabei unterstützen, ein Objekt zu einer geeigneten Reife zu führen. Hierzu zählen beispielsweise Vorgehensmodelle, Checklisten, Maßnahmen oder Software (vgl. 2.1.3 bzw. [Ben13, S. 21]). Im Zuge von Industrie 4.0 etablieren sich zunehmend Mischformen. So ist beispielsweise vermehrt der Einsatz von Industrie 4.0-Reifegradmodellen zu beobachten, die in Industrie 4.0-Implementierungsprozesse eingebunden sind, teilweise durch Software unterstützt werden und konkrete Maßnahmen oder Maßnahmenbündel als zentrales Ergebnis bereitstellen (vgl. Abschnitt 2.3.3, Abschnitt 3.1, [PG20, S. 4ff.]). Im weiteren Verlauf wird ein Fokus auf Anwendungsdomänen, Unterscheidungsmerkmal sowie Struktur und Aufbau von Reifegradmodellen gelegt (Abschnitte 2.5.1 bis 2.5.3). In Abschnitt 2.5.4 erfolgt ein Diskurs zur Popularität von Industrie 4.0-Reifegradmodellen. Abschnitt 2.5.5

greift das Thema Benchmarking auf und erörtert, inwieweit die eigene Leistungsfähigkeit im Rahmen des Reifegradmanagements mit einem Vergleichskollektiv abgeglichen werden kann. Hieraus lassen sich Schlüsse für strategische Planungen ziehen.

2.5.1 Anwendungsdomänen

Das Reifegradmanagement und die damit verbundenen Reifegradmodelle treten in unterschiedlichen Anwendungsdomänen auf (vgl. [Kam11, S. 94]). Ein Blick in die Historie ermöglicht es, Schwerpunkte in Bezug auf diese Anwendungsdomänen zu identifizieren. In der Literatur wird der Ursprung des Reifegradmanagements meist in den 1970er Jahren verortet. Einige Autoren²⁹ führen hierbei das 1973 von GIBSON und NOLAN beschriebene vierstufige Modell für das Management der elektronischen Datenverarbeitung an (vgl. [GN74]). Andere sehen den Ursprung des Reifegradmanagements hingegen im sog. *Quality Management Grid (QMMG)* von CROSBY aus dem Jahr 1979³⁰ (vgl. [Cro79]). Im zeitlichen Verlauf kommen weitere Anwendungsdomänen hinzu, wie beispielsweise das Geschäftsprozessmanagement, IT- und Projektmanagement sowie Industrie 4.0/Digitalisierung. Bild 2-14 liefert eine Auswahl von prominenten Vertretern sowie deren Anwendungsdomänen³¹. Neben den aufgeführten Domänen existieren selbstredend auch Reifegradmodelle in weiteren Domänen (z. B. Logistik oder Risikomanagement).

IT-Management: Sie dienen der effektiven und effizienten Gestaltung und Nutzung der IT sowie der kontinuierlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit der IT unter besonderer Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit [BKP09, S. 249f.].

Qualitätsmanagement: Sie dienen zur Bewertung und Verbesserung von Organisationen in Bezug auf das Qualitätsmanagement sowie die Integration des Qualitätsmanagements in die Unternehmensstruktur und -kultur (vgl. [Bar19, S. 21]).

Software-Entwicklung: Diese Art von Reifegradmodellen dient der Verbesserung der Qualität und Verlässlichkeit im Entwicklungsprozess von Software. Idealerweise betrachten diese Modelle den gesamten Entwicklungsprozess von der Konzeption bis zur Auslieferung [Ebe09, S. 74f.].

Projektmanagement: Hier werden Reifegradmodelle zur Identifikation von Schwächen des Projektpersonals, der Projekt- und der Projektmanagement-Prozesse sowie der eingesetzten Methoden, Techniken und Werkzeuge eingesetzt. Durch die Anwendung können Aussagen zur Güte eines Projektmanagementsystems getroffen und Verbesserungspotentiale identifiziert werden [ST05, S. 9].

(Geschäfts-)Prozessmanagement: Reifegradmodelle für das Prozessmanagement dienen der kontinuierlichen Verbesserung betrieblicher (Geschäfts-)Prozesse. Sie beinhalten

²⁹ Beispielsweise [Tob10, S. 2], [Mar11, S. 14], [Ben13, S. 20].

³⁰ Zum Beispiel [FMG02, S. 244], [JSH+06, S. 264].

³¹ Eine noch umfangreichere Auflistung von Beispielen liefert Tabelle A-2 im Anhang.

in der Regel die Erhebung des Ist-Zustands und zielen auf die Identifikation von Verbesserungspotentialen ab [Kam11, S. 93].

Dienstleistungen/Service: Die existierenden Reifegradmodelle verfügen über unterschiedliche Ausrichtungen und fokussieren z. B. das Dienstleistungsmanagement, die Serviceorientierung von Unternehmen bzw. derer Produkte oder die Kommerzialisierung von Dienstleistungen (vgl. [BKP10, S. 2112f.]).

Industrie 4.0/Digitalisierung: In diesem Bereich werden Reifegradmodelle eingesetzt, um bereits bestehende bzw. umgesetzte Konzepte und Technologien im Kontext der Digitalisierung im Unternehmen zu identifizieren sowie potentielle Entwicklungsmöglichkeiten aufzudecken, die die Organisation durchlaufen kann³² (vgl. [Rei17, S. 214]).

Fazit: Es zeigt sich, dass das Reifegradmanagement offenbar in vielen Domänen ein bewährtes Instrument zur Leistungssteigerung darstellt. In der Historie lassen sich hierbei immer wieder thematische Schwerpunkte feststellen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden Reifegradmodelle vielfach in den Themenbereichen Industrie 4.0 und Digitalisierung eingesetzt. Es fällt auf, dass diese Reifegradmodelle Facetten mehrerer Anwendungsdomänen umfassen und daher als sehr umfangreiche Modelle angesehen werden können. Hierdurch werden sie der Komplexität von Industrie 4.0 gerecht und tragen dazu bei, das Paradigma vollumfänglich zu analysieren. Sie bilden daher die Basis der zu entwickelnden Systematik.

³² Es kann beobachtet werden, dass Reifegradmodelle für Industrie 4.0 bzw. die Digitalisierung häufig Bestandteile der zuvor genannten Anwendungsdomänen in einem gemeinsamen Modell vereinen. Dies ist voraussichtlich auf die Vielschichtigkeit der Thematik zurück zu führen.

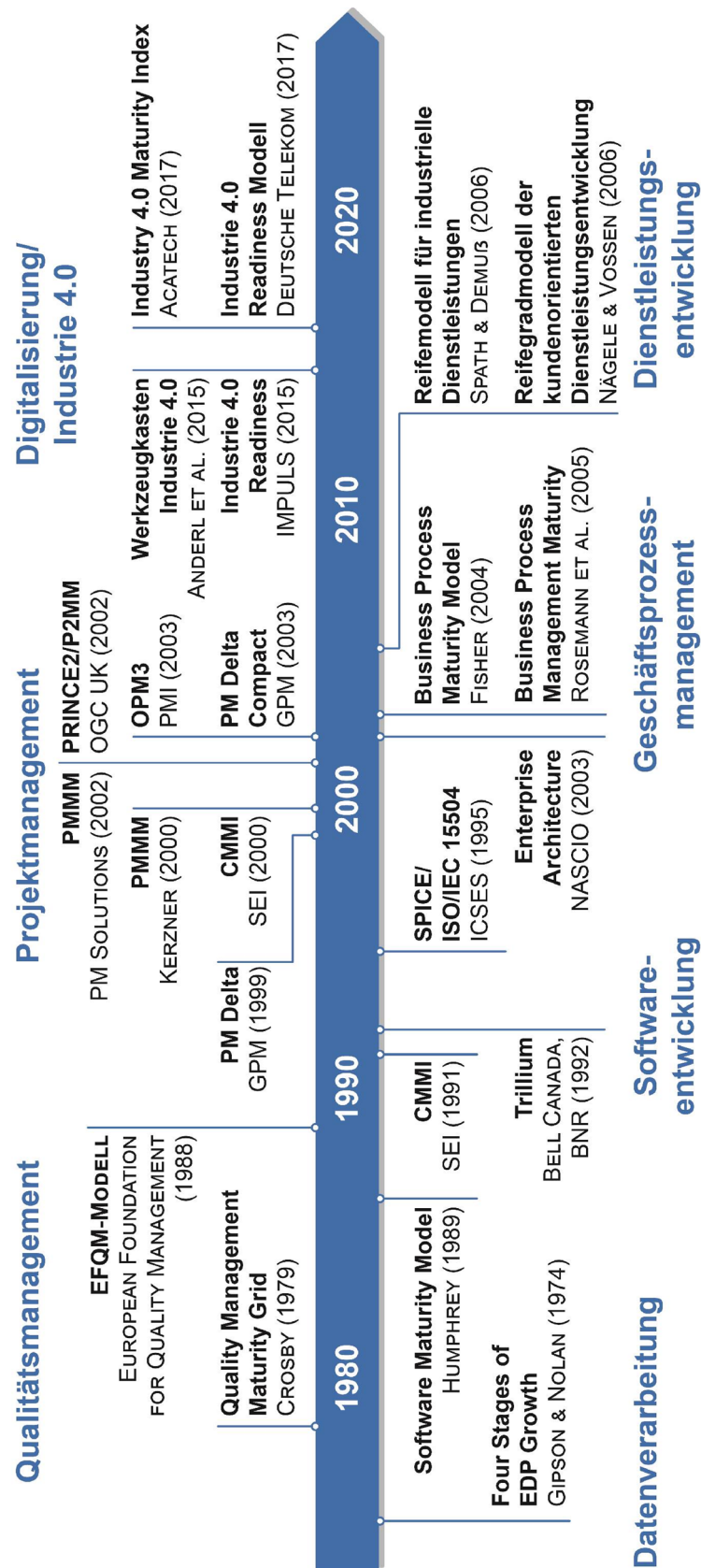


Bild 2-14: Auswahl von Reifegradmodellen in unterschiedlichen Anwendungsdomänen in Erweiterung von [ST05, S. 25]

2.5.2 Unterscheidungsmerkmale von Reifegradmodellen

Über die o.g. Anwendungsdomänen hinaus existieren weitere Merkmale, anhand derer die Art eines Reifegradmodells unterschieden werden kann. Diese variieren je nach Literatur. Eine Auswahl über die geläufigsten Unterscheidungsformen liefern die nachfolgenden Abschnitte³³. Abschließend werden die sich daraus ergebenden Herausforderungen für Anwender dargelegt.

Unterscheidung nach der inhaltlichen Ausrichtung

In Abschnitt 2.5.1 wurde bereits ein erster Überblick über Anwendungsdomänen von Reifegradmodellen vermittelt. Innerhalb dieser Anwendungsdomänen fokussieren die zugehörigen Reifegradmodelle unterschiedliche Themengebiete³⁴ und unterscheiden sich in Bezug auf den Betrachtungsumfang [Ben13, S. 22]. BUGLIONE fokussiert in diesem Zusammenhang die Wertschöpfungskette eines Unternehmens und unterscheidet u.a. horizontale und vertikale Reifegradmodelle³⁵. Inwiefern sich diese unterscheiden, wird nachfolgend am Beispiel der Wertschöpfungskette nach PORTER verdeutlicht (Bild 2-15).

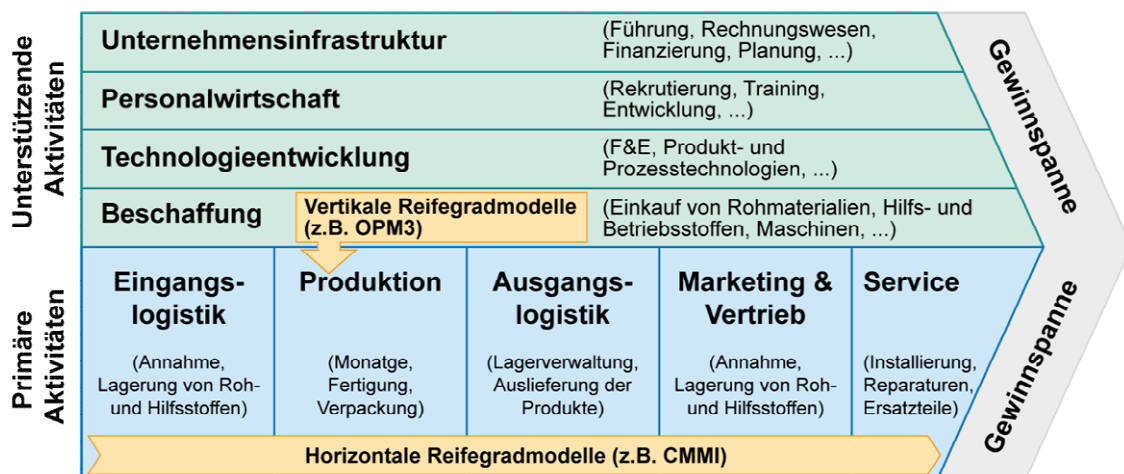


Bild 2-15: Klassifizierung von Reifegradmodellen in Bezug auf die Wertschöpfungskette [Por00, S. 63ff.], [Bug09, S. 37], [Koo14, S. 124]

- **Horizontale Reifegradmodelle:** Betrachten die gesamte Wertschöpfungskette, im Falle der o.g. Wertschöpfungskette also z. B. von der Eingangslogistik bis zum Service. Hierzu zählt in der IKT-Welt beispielsweise die Familie der CMMI-Reifegradmodelle [Bug09, S. 37].
- **Vertikale Reifegradmodelle:** Vertiefen einzelne Aspekte (Prozesskategorien, Perspektiven o.ä.). Beispiele hierfür sind das TMM-Reifegradmodell aus dem

³³ Weitere (z. T. sehr spezifische) Klassifikationen finden sich beispielsweise in [KMT09], [LBP+10], [KOR+11].

³⁴ BECKER ET AL. nehmen keine Unterscheidung von Anwendungsdomäne und Themengebiet vor, sondern verwenden diese Ausdrücke synonym (vgl. [BKP10, S. 2110]).

³⁵ Als dritte Kategorie führt er sog. „Diagonale Reifegradmodelle“ an, die organisatorische und unterstützende Prozesse untersuchen. Sie werden für den vorliegenden Fall nicht näher betrachtet.

Testmanagement (vgl. [PKS02]) oder das OPM3 (vgl. [Pro08]) aus dem Projektmanagement [Bug09, S. 37]

Unterscheidung nach Betrachtungsobjekten

Reifegradmodelle können außerdem nach den Objekten unterschieden werden, die sie untersuchen. Anhand etablierter Reifegradmodelle können vier prinzipielle Betrachtungsobjekte unterschieden werden: Produkte, Prozesse, Personen und Organisationen [Akk14, S. 25]. **Reifegradmodelle für Produkte** beziehen sich auf den Zustand eines Produkts zu einem bestimmten Zeitpunkt in Bezug auf definierte Indikatoren [Pfe05, S. 75]. Im Sinne des hybriden Marktleistungsverständnisses³⁶ zählen hierzu auch zunehmend Dienstleistungen. **Reifegradmodelle für Prozesse** fokussieren Betriebsabläufe (Geschäftsprozesse) und deren kontinuierliche Verbesserung. Im Fokus steht das Ziel, einheitliche und überprüfbare Aussagen zum Status Quo und zur Qualität der Durchführung von Prozessen zu erhalten [BKP09, S. 250]. **Reifegradmodelle für Personen** zielen auf die kontinuierliche Verbesserung des Personalmanagements ab. Das Themenspektrum ist umfassend: Führung, Personalentwicklung, Wissensmanagement u.v.m. können Bestandteile der verschiedenen Reifegradmodelle sein (vgl. beispielsweise [Sof09b, S. 5ff.]). **Reifegradmodelle für Organisationen** zielen auf die Weiterentwicklung von Unternehmen ab. Gegenstand der Untersuchungen sind beispielsweise Aspekte des Qualitätsmanagements von Unternehmen (vgl. [Joc19, S. 87ff.] bzw. [ISO 9004]). Bild 2-16 liefert weitere Beispiele, kategorisiert nach Betrachtungsobjekten.

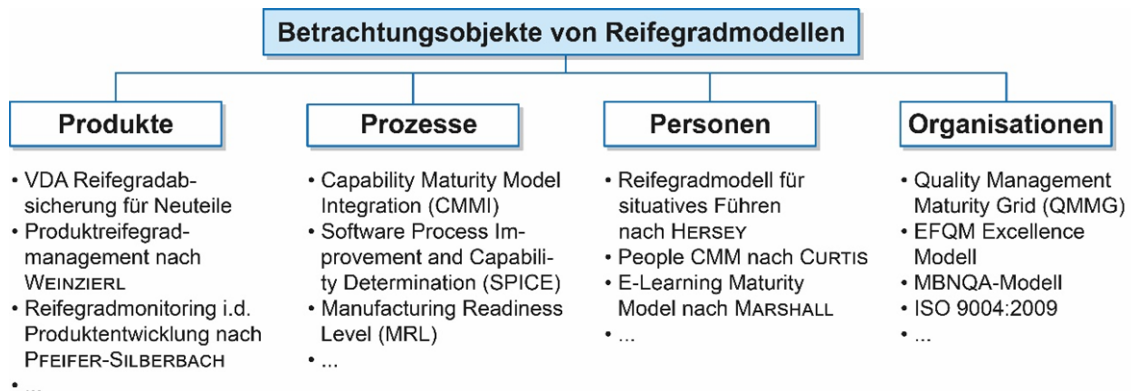


Bild 2-16: Strukturierung von Reifegradmodellen nach Betrachtungsobjekten [Akk14, S. 25]

Unterscheidung nach Art der Bewertung

Jedem Reifegradmodell liegt eine Bewertung der Leistungsfähigkeit zugrunde. Es lassen sich drei verschiedene Arten³⁷ der Bewertung unterscheiden: die vollständige Selbstbewertung, die Selbstbewertung mit Unterstützung Externer sowie die vollständig externe Bewertung [Akk14, S. 26].

³⁶ Vgl. Abschnitt 2.3.1

³⁷ AKKASOGLU spricht in diesem Zusammenhang von *Bewertungsstrategien* [Akk14, S. 26].

- **Vollständige Selbstbewertung (Self-Assessment):** Diese Art der Bewertung erfolgt ausschließlich durch interne Mitarbeiter. Sie ist mit vergleichsweise geringem personellen und finanziellen Aufwand verbunden. Die interne Erarbeitung führt zu einer hohen Akzeptanz, ist jedoch aufgrund der Subjektivität mit Unsicherheiten verbunden. Ein Benchmarking³⁸ ist nur bedingt möglich [Akk14, S. 26].
- **Selbstbewertung mit Unterstützung Externer:** Die Bewertung erfolgt hierbei durch interne Mitarbeiter, die durch externe Berater (auch *Assessoren* genannt) unterstützt werden. Die Kombination aus fachkundigen Mitarbeitern und methodisch erfahrenen Assessoren führt zu einer ähnlichen Akzeptanz bei vergleichsweise geringem Aufwand und reduziert die Unsicherheiten durch den objektiven Einfluss [Akk14, S. 26].
- **Vollständige Bewertung durch Externe:** Die Bewertung erfolgt durch unabhängige, externe Assessoren. Hervorzuheben ist die objektive Sichtweise. Darüber hinaus ist allerdings mit einem erhöhten Aufwand in Bezug auf den Informationsaustausch zu rechnen. Außerdem ist von einer geringeren unternehmensinternen Akzeptanz auszugehen [Akk14, S. 26].

Unterscheidung nach Bewertungssystematik

Bewertungssystematiken dienen zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit in den Handlungselementen von Reifegradmodellen. Sie lassen sich in die beiden Kategorien *Scoring* und *Stufen-basierte Reifegrade* unterscheiden [Ben13, S. 22f.]:

- **Scoring:** Beim Scoring werden Punkte für Attribute bzw. Ausprägungen vergeben. Diese werden summiert und geben die Entwicklungsstufe in Abhängigkeit der Gesamtpunktzahl an [Ben13, S. 22f.].
- **Stufen-basierte Reifegrade:** Hierbei wird ein Reifegrad nur erreicht, wenn alle an die Reifegradstufe gestellten Anforderungen erfüllt sind. Das Überspringen eines Reifegrades ist in der Regel nicht möglich. Reifegrade können übergreifend oder handlungsfeldspezifisch vergeben werden. Typisch sind drei bis sechs Reifegradstufen [Ben13, S. 23].

³⁸ Das Benchmarking dient dem Vergleich mit den Bewertungsergebnissen anderer; vgl. detaillierte Ausführung zu *Benchmarking* in Abschnitt 2.5.5.

Tabelle 2-4: Exemplarische Darstellung von Reifegradstufen [Ben13, S. 23]

Modell	Reifegrade					
Quality Management Maturity Grid [Cro79]	Level 1 Unsicherheit	Level 2 Erwachen	Level 3 Erkenntnis	Level 4 Verständnis	Level 5 Sicherheit	
R&D Effectiveness audit [Sza94]	Level A Nicht anerkannt	Level B Anfangsbemühungen	Level C Kenntnisse	Level D Methoden	Level E Kompetenzen	Level F Fortwährende Verbesserung
Design Maturity Model [FMH01]	Level 1 Nichts		Level 2 Teilweise		Level 3 Formal	Level 4 Kulturell eingebettet
Project Management Maturity [DSA01]	1		2		3	
Capability Maturity Model Integration v1.2 [Sof09]	Level 0 Unvollständig	Level 1 Ausgeführt	Level 2 Wiederholbar	Level 3 Definiert	Level 4 Quantitativ verwaltet	Level 5 Optimierend
BestVor [Rau11]	Klassisch		Teilweise beherrscht		Beherrscht	Fortgeschritten

Unterscheidung anhand von Reifegradmodell-Klassen

CHRISTIANSEN schlägt eine Unterscheidung anhand von Reifegradmodellklassen vor³⁹. Hierfür werden zunächst mehrere Merkmale und Merkmalsausprägungen zur Charakterisierung von Reifegradmodellen ermittelt. Durch eine Beschreibung der Reifegradmodelle anhand dieser Merkmalsausprägungen mit anschließender Clusteranalyse bilden sich Modellklassen heraus. Mit Hilfe einer Multidimensionalen Skalierung (MDS)⁴⁰ können diese graphisch dargestellt werden (Bild 2-17).

Klasse 1 – Flexible Regelwerke: Die hierin enthaltenen Regelwerke können an die spezifischen Besonderheiten von Unternehmen angepasst werden. Sie basieren auf teilweise fest vorgegebenen sowie teils unternehmensspezifischen Handlungselementen und zugehörigen Maßnahmen. Die unternehmensspezifische Erweiterung ist optional und wird methodisch unterstützt. Unternehmensübergreifende Vergleiche sind teilweise möglich [Chr09, S. 104].

³⁹ Der Autor spricht in diesem Zuge von *Reifegradmodellen zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung* [Chr09, S. 13].

⁴⁰ Eine Multidimensionale Skalierung (MDS) ist in der Lage, subjektive Empfindungen der Ähnlichkeiten von Objekten in einem zweidimensionalen Raum darzustellen. Hierzu werden Objekte hinsichtlich verschiedener Merkmale charakterisiert und anschließend eine Distanzmatrix erzeugt. Anhand der Distanzmatrix kann über paarweise Vergleiche die relative Lage der Objekte zueinander ermittelt werden. Anschließend werden die Objekte auf eine Ebene projiziert. Ähnliche Objekte liegen nah beieinander, unähnliche Objekte weiter entfernt voneinander (vgl. [GP14, S. 67f.]).

Klasse 2 – Starre Regelwerke: Hierbei handelt es sich um fest definierte Regelwerke, die nicht unternehmensspezifisch angepasst werden können. Die Handlungselemente und Maßnahmen entsprechen industriellen “Best Practices”. Die Leistungssteigerung erfolgt stufenweise. Es wird nicht methodisch definiert, welche Leistungssteigerung erzielt werden soll. Ein unternehmensübergreifender Vergleich ist in der Regel möglich [Chr09, S. 104f.].

Klasse 3 – Methodische Instrumentarien: Die enthaltenen Modelle beinhalten lediglich methodische Rahmen und können vollständig an unternehmensspezifische Besonderheiten angepasst werden. Diese beinhalten Vorgehensweisen zur Erarbeitung unternehmensspezifischer Handlungselemente und zur Definition eines Soll-Zustands. Aufgrund der Individualisierbarkeit ist ein unternehmensübergreifender Vergleich meist nicht möglich [Chr09, S. 105].

Klasse 4 – Plakative Zustandsdarstellungen: Bei diesen Modellen steht die Leistungssteigerung im Vordergrund. Sie beinhalten häufig wenige, stark auf den jeweiligen Untersuchungsbereich fokussierte Handlungselemente. Anpassungen sind meist nicht erforderlich. Die Leistungsbewertung kann einfach durchgeführt werden. Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt meist über Diagramme, die Schwachstellen verdeutlichen. Die Maßnahmen zur Leistungssteigerung sind i.d.R. nicht vorgegeben. Ein unternehmensübergreifender Vergleich ist meist möglich [Chr09, S. 105].

Klasse 5 – Pragmatische Wirkkettenanalysen: In diesen Modellen werden unternehmensspezifische Ursache-Wirkungsketten definiert. Indikatoren dienen als Kennzahlen. Darauf basierend werden zur Identifizierung von Stellhebeln Wirkketten gebildet, die den größten Einfluss auf die Kennzahlen haben. Maßnahmen zur Leistungssteigerung sind nicht vorgegeben. In den meisten Fällen sind unternehmensübergreifende Vergleiche nicht möglich [Chr09, S. 105].

Die aufgezeigten Arten und Unterscheidungsmerkmale verdeutlichen, dass offenbar ein breites Spektrum verschiedener Reifegradmodelle existiert, das kaum einheitlich gegliedert werden kann. Hinzu kommt die Erkenntnis, dass über den Zeitverlauf regelmäßig neue Reifegradmodelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt werden. Die Auswahl eines geeigneten Reifegradmodells ist nicht trivial. Die große Anzahl alternativer und sehr ähnlicher Reifegradmodelle leistet hierzu ebenfalls seinen Beitrag⁴¹ [Joc19, S. 93]. Dennoch gelten Reifegradmodelle als das Mittel der Wahl, um beispielsweise hochkomplexe und schwer durchschaubare Systeme zu beleuchten, da sie den Entwicklungsprozess anhand markanter Stufen dokumentieren und eine vereinfachte Analyse von Entwicklungsabschnitten ermöglichen [Akk14, S. 7].

⁴¹ Vgl. hierzu AHLEMANN ET AL., die diesen Umstand beispielsweise im Kontext von Reifegradmodellen für das Projektmanagement feststellen [ST05, S. 9].

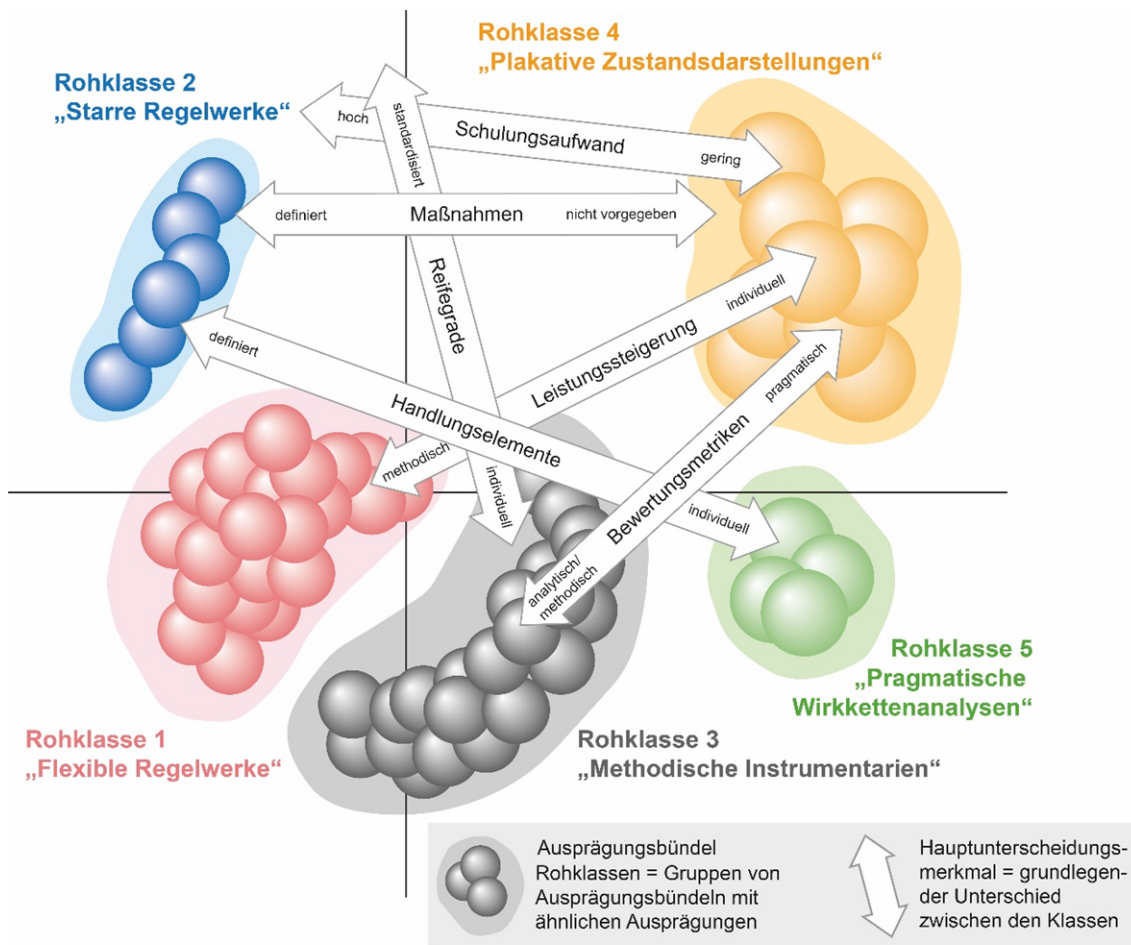


Bild 2-17: Visualisierung der Reifegradmodell-Klassen mit Hilfe der Multidimensionalen Skalierung (MDS) nach CHRISTIANSEN [Chr09, S. 103]

Fazit: Das breite Spektrum an Reifegradmodellen macht es Anwendern nicht leicht, den Überblick zu bewahren und ein ideales Reifegradmodell für den Anwendungszweck auszuwählen. Ein Ordnungsrahmen scheint erforderlich, um die Reifegradmodelle zu kategorisieren und die Auswahl zu vereinfachen.

2.5.3 Struktur und Aufbau von Reifegradmodellen

Je nach Reifegradmodell existiert eine Vielzahl von Begrifflichkeiten, die die Struktur bzw. den Aufbau des zugrunde liegenden Reifegradmodells beschreiben. AKKASOGLU unterscheidet hinsichtlich der Struktur zwei prinzipielle Gruppen von Reifegradmodellen. Bei sog. **ablauforientierten Reifegradmodellen** wird die Entwicklung des Betrachtungsobjekts anhand von Phasen und Teilaktivitäten dargestellt und der Reifegrad phasen- bzw. aktivitätenspezifisch zugewiesen. Beispiele bilden der Technology Readiness Level (TRL) der NASA (vgl. Bild 2-18) oder der Manufacturing Readiness Level (MRL) des Verteidigungsministeriums der USA.

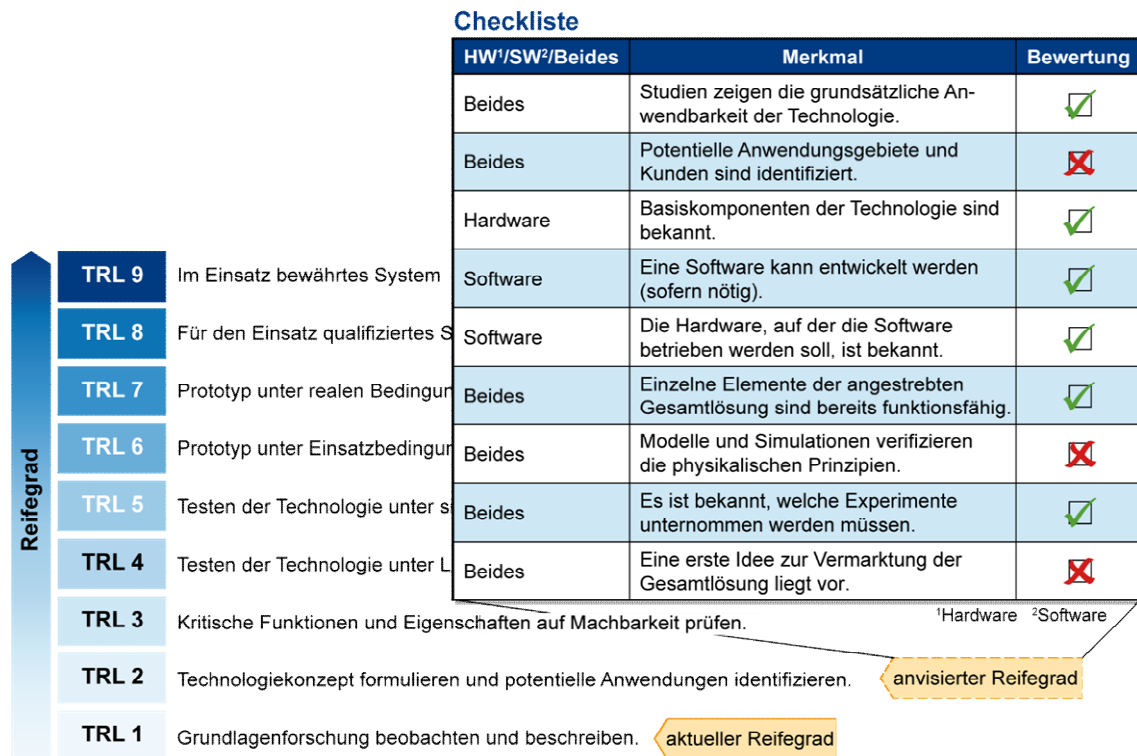


Bild 2-18: Technology Readiness Level (TRL) der NASA als Beispiel für ein ablauforientiertes Reifegradmodell (vgl. [Ass11]); Darstellung in Anlehnung an [GDE+19, S. 232f.]

Die sog. **merkmalbasierten Reifegradmodelle** verfügen über elementare Merkmale des Betrachtungsobjekts sowie zugehörige Reifegrade (Punkte). Alle ermittelten Reifegrade eines jeden Merkmals werden anschließend zu einem Gesamtreifegrad aggregiert [Akk14, S. 25]. Beispiele bilden das Capability Maturity Model Integration (CMMI) oder der Reifegrad-basierte Qualitätsmanagement-Ansatz der DIN EN ISO 9004 [Akk14, S. 25]. Bild 2-19 zeigt einen Auszug des DGQ⁴² QuickScans als Beispiel für ein merkmalorientiertes Reifegradmodell.

Neben der Strukturierung nach AKKASOGLU beschreibt CHRISTIANSEN eine Grundstruktur von Reifegradmodellen, die die drei Aspekte *Handlungsfelder*, *Handlungselemente* und *Reifegrade* beinhaltet⁴³ (Bild 2-20) [Chr09, S. 39f.].

⁴² Abkürzung für *Deutsche Gesellschaft für Qualität*.

⁴³ CHRISTIANSEN führt in diesem Zusammenhang eigentlich vier Aspekte an. Der vierte Aspekt *Leistungsbewertung und Leistungssteigerung* wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht der Struktur von Reifegradmodellen, sondern deren Anwendung zugeordnet und an dieser Stelle daher außer Acht gelassen.

2. Strategie – Unternehmensnachfolge			Punkte	
Merkmale und Leitfragen	Antworten		erreichbar	erreicht
2.1 Unternehmensnachfolge Wie klar ist die Unternehmensnachfolge geregelt?	2.1.1	Es existiert ein Nachfolgeplan, in dem alle Details der Nachfolge geregelt sind.	2	1
	2.1.2	Es existiert eine Nachfolgeplanung, die aber nicht schriftlich fixiert und geregelt ist.	1	1
	2.1.3	Es existiert keine Nachfolgeplanung.	0	0
...
2.4 Produkt- und Marktprioritäten Wie klar und plausibel sind die Prioritäten hinsichtlich neuer Produkte und Märkte?	2.4.1	Das Unternehmen hat sehr klare und plausible Ziele hinsichtlich neuer Produkte und Märkte.	2	2
	2.4.2	Das Unternehmen hat Ziele hinsichtlich neuer Produkte und Märkte formuliert, die aber noch plausibilisiert werden müssen.	1	0
	2.4.3	Das Unternehmen hat keine Prioritäten hinsichtlich neuer Produkte und Märkte formuliert.	0	0
Summe (Gesamtreifegrad):			6	
A, B oder C	Punkte: 0-4 = C / 5-6 = B / 7-8 = A		B	
Scoring-Wert	Score: A = 4 / B = 2 / C = 1		2	

Bild 2-19: Auszug des DGQ QuickScan als Beispiel für ein merkmalsorientiertes Reifegradmodell in Anlehnung an [Mut10-ol, S. 6]

- Handlungsfelder⁴⁴:** Hierbei handelt es sich um übergeordnete Kategorien (z. B. Mensch, Organisation und Technik). Sie bilden die relevanten Bestandteile des Untersuchungsbereichs ab und stellen sicher, dass es nicht zu einer einseitigen Betrachtung kommt [Chr09, S. 39].
- Handlungselemente⁴⁵:** Sie stellen Hebel dar, die einen hohen Einfluss auf den Untersuchungsbereich haben. Sie dienen vor allem zur Planung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen. Beispiele für die o.g. Handlungsbereiche sind Teamfähigkeit, Projektmanagement oder der Einsatz von CAD-Werkzeugen [Chr09, S. 39].
- Reifegrade⁴⁶:** Dahinter verbergen sich Entwicklungsstufen der Handlungselemente, mit Hilfe derer der Leistungsstand der Organisation objektiv messbar ausgedrückt werden kann. Je höher die Entwicklungsstufe, desto größer ist der Leistungsstand der zu Grunde liegenden Organisation [Chr09, S. 39].

⁴⁴ Weitere geläufige Begriffe sind z. B. Prozessgebiete [Kne03], Themengebiete [Rau10], Prozessdeterminanten oder Unternehmenskompetenzen [Ham07] (vgl. [Ben13, S. 22]).

⁴⁵ Hier existieren je nach Modell Begriffe wie Ziele und Praktiken [Sof10], Gestaltungsfaktoren [Bal05], Kriterien [PRD+19] oder Merkmale [Ham07] (vgl. [Ben13, S. 22]).

⁴⁶ Auch Entwicklungsstufen [OM18], Leistungsstufen [Wes17] oder engl. Level [Sof10] genannt.

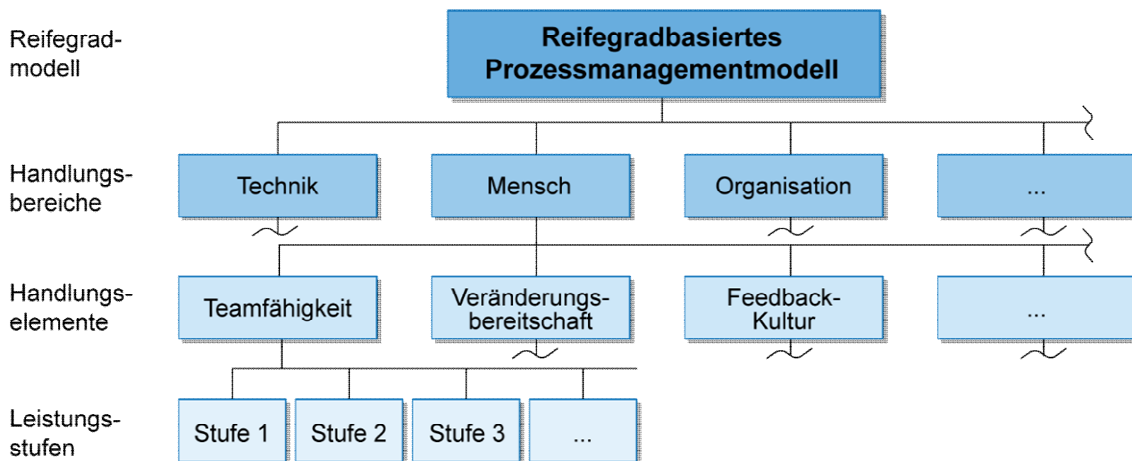


Bild 2-20: Grundstruktur von Reifegradmodellen in Anlehnung an CHRISTIANSEN [Chr09]

Der Großteil aller Reifegradmodelle kann auf diese Grundstruktur zurückgeführt werden, wenngleich weitere Begrifflichkeiten existieren oder die beschriebenen Gliederungsebenen variieren⁴⁷. Darüber hinaus ist die Anzahl verwendeter Handlungselemente, -bereiche und Leistungsstufen nicht explizit beschränkt.

Fazit: Die Analyse zeigt, dass Struktur und Aufbau von Reifegradmodelle variieren. Ein De-facto-Standard existiert nicht. Auch der Umfang der Reifegradmodelle kann sich erheblich voneinander unterscheiden. Es existieren Hinweise, dass umfangreichere Modelle seltener von kleinen und mittelständischen Unternehmen genutzt werden. Dies ist vor allem auf das fehlende Know-how (z. B. bei der Herangehensweise/Durchführung) und auf die begrenzt verfügbaren Ressourcen (Zeit, Personal, Finanzen etc.) zurück zu führen [Ben13, S. 6]. Welche Art von Reifegradmodell für den jeweiligen Anwendungszweck geeignet ist, muss daher sorgfältig abgewogen werden. Eine Hilfestellung können ggf. definierte Anforderungen geben, die von einem Reifegradmodell erfüllt werden müssen. Insbesondere muss geprüft werden, ob sich die Struktur und der Aufbau für eine Industrie 4.0-Strategieentwicklung eignen. Aus der Anzahl verfügbarer Reifegradmodelle können hierdurch diejenigen gefiltert werden, die die Erwartungen der Anwender bestmöglich erfüllen.

2.5.4 Popularität von Industrie 4.0-Reifegradmodellen

Der Einsatz von Reifegradmodellen zur digitalen Transformation von Unternehmen bzw. der Bewältigung des Wandels zu Industrie 4.0 ist immer verbreiteter. Dies wird vor allem durch die **große Anzahl bereits bestehender und neu aufkeimender Industrie 4.0-Reifegradmodelle** deutlich (vgl. [KT17]). Dafür gibt es gute Gründe: Industrie 4.0-Reifegradmodelle ermöglichen eine umfangreiche Analyse der aktuellen Leistungsfähigkeit

⁴⁷ vgl. z. B. das Reifegradmodell von INLUMIA, das in Dimensionen, Handlungsbereiche und Kriterien unterteilt ist, wobei die enthaltenen Kriterien gleichzusetzen sind mit den oben beschriebenen Handlungselementen [PRD+19, S. 30].

(Ist-Situation), decken dadurch systematisch Verbesserungspotentiale in Unternehmensbereichen auf und erlauben eine Einschätzung über eine anzustrebende zukünftige Leistungsfähigkeit (Soll-Zustand) [JS16, S. 1474], [KT17, S. 30], [SBK+18, S. 33]. Reifegradmodelle bilden dadurch die **Basis für eine strukturierte Leistungssteigerung** [Chr09, S. 3]. Durch das vorgegebene Bewertungsschema lassen sich Sachverhalte nachvollziehbar und von verschiedenen Mitarbeitern aus unterschiedlichen Blickwinkeln bewerten. Die Ermittlung des Reifegrads ist unkompliziert, schnell durchführbar und die Ergebnisse liegen unmittelbar nach Abschluss der Bewertung zur direkten Interpretation vor [KT17, S. 33]. Damit leisten sie einen wesentlichen Beitrag dazu, das Paradigma Industrie 4.0 für Unternehmen greifbar zu machen und den scheinbar unüberwindbaren Herausforderungen zu begegnen.

Als prominenter Vertreter von Industrie 4.0-Reifegradmodellen wird exemplarisch der **Industrie 4.0 Maturity Index von ACATECH** hervorgehoben. Der Ansatz beinhaltet sechs nutzenorientierte Entwicklungsstufen zur vollständigen Umsetzung von Industrie 4.0 in Unternehmen (Bild 2-21). Jede Stufe verfügt über eine Beschreibung der zu schaffenden Fähigkeiten und den damit verbundenen Nutzen für das Unternehmen. In Abhängigkeit der Geschäftsstrategie und unter Berücksichtigung eines ausgewogenen Aufwand-/Nutzen-Verhältnisses können unternehmensindividuelle Zielpositionen für Industrie 4.0 ermittelt werden [SAD+20, S. 17].

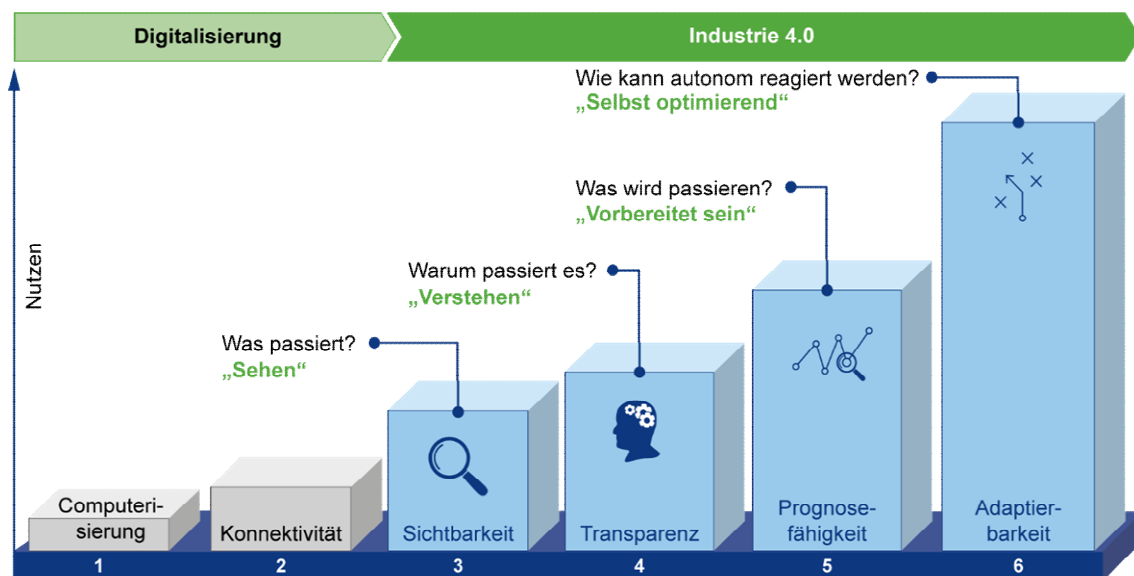


Bild 2-21: Entwicklungsstufen des Industrie 4.0 Maturity Index [SAD+20, S. 18]

Neben dem Maturity Index existiert eine Fülle weiterer Reifegradmodelle, die zur Bewältigung der digitalen Unternehmenstransformation herangezogen werden können. Genau das führt allerdings zunehmend zu einer Herausforderung für Unternehmen. Sie sehen sich mittlerweile mit einer wachsenden Anzahl an Reifegradmodellen zur Bestimmung der „digitalen Reife“ konfrontiert [KT17, S. 33]. Das Spektrum erstreckt sich über die bereits in den Abschnitten 2.5.2 und 2.5.3 dargelegten Varianten. Die Aufgabe besteht darin, ein Reifegradmodell zu wählen, dass zur Situation des Anwenderunternehmens und

dem geplanten Vorhaben passt. Es gilt beispielsweise genau abzuwägen und zu erkennen, welcher Digitalisierungsumfang tatsächlich nötig ist und welches Reifegradmodell diesen Umfang abdeckt. Hierdurch wird sichergestellt, dass Unternehmen die richtigen Wege der digitalen Transformation einschlagen [KT17, S. 34].

Fazit: Das zunehmende Aufkeimen neuer Industrie 4.0-Reifegradmodelle und die mittlerweile hohe Anzahl bestehender Modelle lassen darauf schließen, dass die unternehmensseitige Nachfrage kontinuierlich steigt und deren Anwendung offensichtlich den erwarteten Nutzen stiftet. So groß wie die Anzahl, so breit ist auch das Spektrum in Bezug auf Zielsetzungen, Granularitäten, Detaillierungsgrade und Authentizität. Welches Industrie 4.0-Reifegradmodell sich am besten eignet, kann nicht pauschal beantwortet werden. Vielmehr gilt es für jedes Unternehmen, sorgfältig abzuwägen, welches Reifegradmodell unter den jeweils gegebenen Rahmenbedingungen und der avisierten Zielsetzung besonders geeignet ist. Problematisch ist, dass Reifegradmodelle von Natur aus nach einem vordefinierten Zielzustand höherer Reife streben, ohne dabei unternehmensindividuelle Einflüsse vollumfänglich zu berücksichtigen [Ben13, S. 28]. Diesen Missstand gilt es zu beseitigen. Die Erfahrungen zeigen, dass aufgrund ihres geringen Erfahrungsschatzes hierbei insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen methodische Unterstützung benötigen.

2.5.5 Benchmarking mit Reifegradmodellen

Das Benchmarking⁴⁸ stellt spätestens seit den 80er Jahren ein etabliertes betriebswirtschaftliches Management-Instrument dar, mit dem Ziel, sich von Mitbewerbern zu differenzieren und Wettbewerbsvorteile zu erringen (vgl. [Cam89]). Gegenstand sind die systematische Identifikation bestehender (Best-)Lösungen sowie der Vergleich der eigenen Leistungsfähigkeit mit den ermittelten Bestleistungen⁴⁹ [ST97, S. 11]. Der Vergleich dient in der Regel dazu, eine von zwei möglichen Stoßrichtungen einzuschlagen: 1) Unternehmen fassen den Schluss, die bisherigen Bestleistungen zu überbieten, um selbst an die Spitze zu gelangen oder 2) die ermittelten Bestleistungen dienen als Anregung und Ausgangspunkt für die Verbesserung der eigenen Leistungsfähigkeit, ohne den Anspruch zu verfolgen, selbst Spitzenreiter zu werden. Ersteres gilt insbesondere für Unternehmen, die Strategien wie beispielsweise Markt-, Qualitäts-, Technologie- oder Kostenführerschaft verfolgen [ST97, S. 12].

Auch im Zuge der Anwendung von Reifegradmodellen werden Benchmarks vollzogen (vgl. z. B. [BRF+05], [Ben13], [FST13], [JS16]). Die Leistungsbewertung mit Reifegrad-

⁴⁸ Der Begriff entstammt ursprünglich dem Vermessungswesen und bezeichnet eine „*Vermessungsmarkierung*“ bzw. einen Bezugspunkt, „*an dem etwas gemessen oder beurteilt wird*“ [Cam94, S. 15], [ST97, S. 11].

⁴⁹ Hierdurch unterscheidet sich das Benchmarking vom Performance Measurement: Anstelle der reinen Betrachtung der eigenen Leistungsfähigkeit erfolgt beim Benchmarking der Vergleich mit Referenzobjekten (z. B. Mitbewerbern).

modellen bildet eine Datenbasis, mit der die eigene Leistungsfähigkeit in Relation zu einer Vergleichsgruppe gesetzt werden kann (z. B. ein vergleichbares Unternehmen derselben Branche). Auf Basis der Erkenntnisse können strategische Stoßrichtungen und konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der eigenen Reife definiert werden [OÖ16, S. 174]. Darüber hinaus können avisierte Zielpositionen mit Hilfe der Vergleichsdaten verifiziert werden. Je nach Art der Reifegradmodelle lassen sie sich für unternehmensinterne oder externe Vergleiche verwenden (vgl. Abschnitte 2.5.2 bzw. 2.5.3). Benchmarks eignen sich daher auch grundsätzlich zur Unterstützung der Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen mit Hilfe von Industrie 4.0-Reifegradmodellen.

Zum einen können Vergleichsdaten unmittelbar aus der Ermittlung der Leistungsfähigkeit anderer Unternehmen genutzt werden, insofern diese zugänglich sind. Zum anderen können in den Benchmarking-Prozess zusätzlich Studien einfließen, die den Fortschritt von Industrie 4.0 sowohl national als auch international sowie für spezifische Branchen und Industrien untersuchen. Ein Beispiel hierfür liefert die Studie im Rahmen des BMFB-Forschungsprojekts INBENZHAP (Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen, vgl. [GKD+16]). Die aus dem Benchmarking gewonnenen Erkenntnisse lassen wertvolle Schlüsse für die Strategieentwicklung zu. Industrie 4.0-Reifegradmodelle unter Einbeziehung von Benchmarks stellen daher eine vielversprechende Basis zur Entwicklung von Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategien dar.

Fazit: Industrie 4.0-Reifegradmodelle können zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit des eigenen Unternehmens herangezogen werden. Der Vergleich der eigenen Leistungsfähigkeit mit der Leistungsfähigkeit von Mitbewerbern (Benchmarking) ermöglicht die Ableitung strategischer Schlüsse. Diese können unmittelbar in einer Industrie 4.0-Strategie aufgegriffen und berücksichtigt werden. Die Herausforderung besteht in der Verfügbarkeit erforderlicher Vergleichsdaten. Insbesondere der Vergleich mit Wettbewerbsunternehmen birgt Unsicherheiten in Bezug auf Validität der Informationen, weil sie häufig schlecht von außen bewertet werden können. Es besteht die Gefahr, falsche Schlüsse zu fassen. Kann dies ausgeschlossen werden, bildet das Benchmarking ein ideales Hilfsmittel bei der Entwicklung von Unternehmens- bzw. Geschäftsstrategien und insbesondere Industrie 4.0-Strategien.

2.6 Problemabgrenzung

Die **vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0)** schreitet kontinuierlich und unaufhaltsam voran. Die mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen der Geschäftswelt betreffen zahlreiche Wirtschaftszweige, insbesondere den Maschinen- und Anlagenbau sowie verwandte Branchen. Für das produzierende Gewerbe spiegeln sich diese Veränderungen beispielsweise im Leistungsangebot (Cyber-physical Products, Smart Services, digitale Geschäftsmodelle etc.), der Produktentstehung (Advanced Systems Engineering) sowie der Leistungserstellung (Cyber-physical Production Systems, Smart Factory etc.)

wider. Neben den rein technischen Veränderungen sind gleichermaßen organisatorische, kulturelle und soziale Aspekte bei der digitalen Transformation zu berücksichtigen (vgl. Abschnitte 2.3 und Abschnitt 2.4.4).

Die mit Industrie 4.0 in Verbindung stehenden Veränderungen führen zu zahlreichen **Chancen und Nutzenpotentialen**, stellen Unternehmen aber auch vor **große Herausforderungen**. Insbesondere **kleine und mittlere Unternehmen** haben Schwierigkeiten bei der konsequenten Umsetzung von Industrie 4.0. Einer der Hauptgründe sind mangelnde Ressourcen – und zwar gleich in mehrerlei Hinsicht: Mangelndes qualifiziertes Personal (personelle Ressourcen), hoher Investitionsbedarf (finanzielle Ressourcen), fehlende Normen und Standards (technische Ressourcen) oder Unklarheit bei rechtlichen Rahmenbedingungen (fachliche Ressourcen) stellen nur einige wenige immer wieder genannte Herausforderungen dar (vgl. Abschnitt 2.3.4). Offensichtlich benötigen KMU bei der Umsetzung von Industrie 4.0 nach wie vor erhebliche Unterstützung.

In den vergangenen Jahren wurde der Bedarf an Hilfestellungen offenbar erkannt. Mittlerweile existieren zahlreiche Vorgehensmodelle, Methoden, Werkzeuge und weitere Hilfsmittel zur Bewältigung der digitalen Transformation (vgl. Abschnitte 3.1, 3.2 und 2.3.3). Ein immer beliebteres Instrument stellen auch **Industrie 4.0-Reifegradmodelle** dar (vgl. Abschnitt 2.5.4). Sie beinhalten Entwicklungsstufen und unterstützen dabei, den Industrie 4.0-Reifegrad von Unternehmen systematisch zu erschließen (vgl. Abschnitt 2.5). Die übergeordnete Vorgehensweise bei der Anwendung der Reifegradmodelle weist Parallelen zu anderen Konzepten der strategischen Planung auf – insbesondere zum Prozess der strategischen Führung (vgl. Abschnitt 2.4.2).

Vor diesem Hintergrund erscheint eine **Verknüpfung von Industrie 4.0-Reifegradmodell und Strategie** zur Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien als vielversprechend. Untersuchungen belegen, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen noch vielfach ohne eine schlagkräftige **Industrie 4.0-Strategie** erfolgt (vgl. Abschnitt 2.3.4). Die Entwicklung einer Strategie beinhaltet übergeordnete Aufgabenkomplexe (vgl. Abschnitte 2.1.4, 2.4.2, und 2.4.4). Darunter fallen die vollumfängliche Analyse und Kenntnis der Ausgangssituation („Unser Unternehmen heute“), die Beschreibung einer Vision („Unser Unternehmen in der Zukunft“), die Entwicklung einer Strategie an sich als Leitlinie für das tägliche Handeln sowie eine systematische Überwachung der Erreichung sämtlicher strategischer (Zwischen-)Ziele (vgl. Abschnitt 2.1.4). Übertragen auf die vorliegende Aufgabenstellung ergeben sich **vier Handlungsfelder** (Bild 2-22).

Handlungsfeld 1: Standortbestimmung

Die Industrie 4.0-Strategieentwicklung erfordert eine umfangreiche Untersuchung der Ausgangssituation des Unternehmens im Sinne einer Standortbestimmung (vgl. Abschnitt 2.4.2). Zur Bestimmung der aktuellen Leistungsfähigkeit (Ausgangssituation bzw. Ist-Position) eignen sich Industrie 4.0-Reifegradmodelle (vgl. Abschnitt 2.5.4). Die Be-

wertungsergebnisse spiegeln den aktuellen Status Quo eines Unternehmens wider. Ausgehend von der aktuellen Unternehmenssituation haben alle weiteren Planungsschritte zu erfolgen (vgl. Abschnitt 2.1.4).

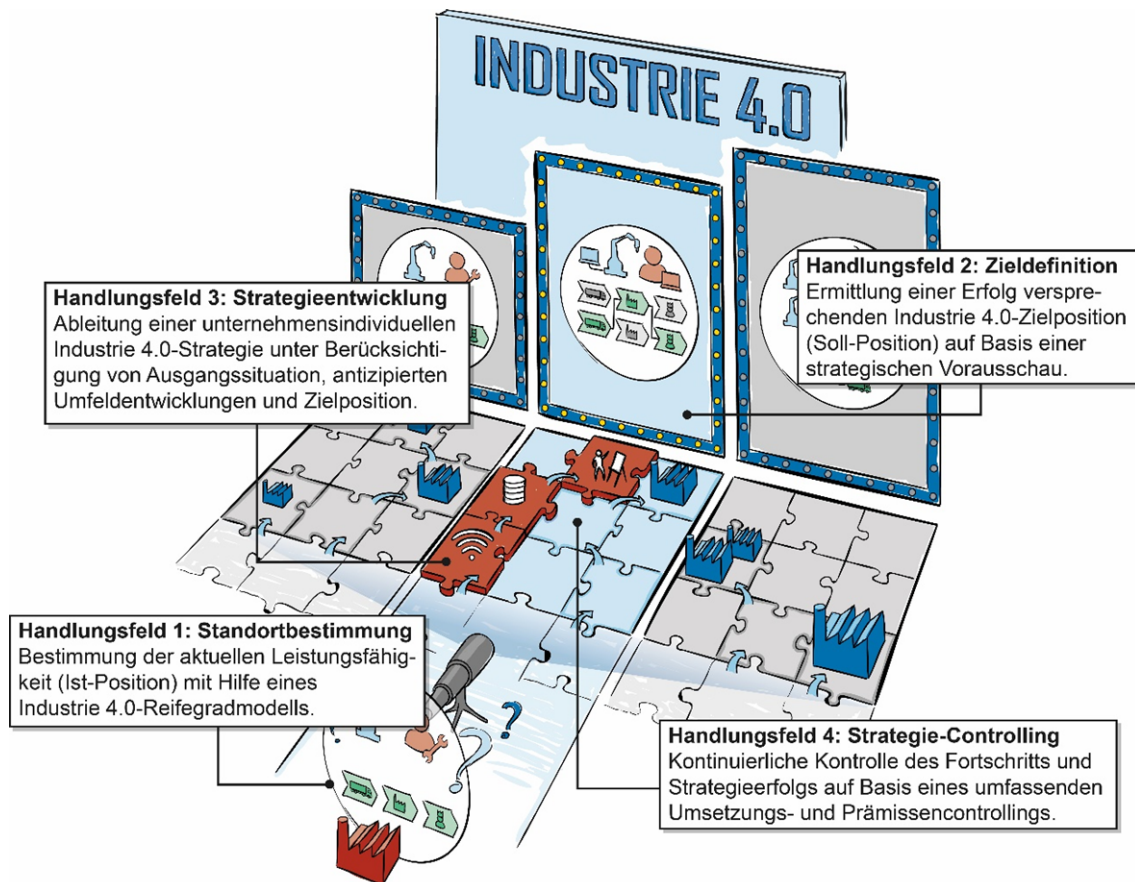


Bild 2-22: Handlungsfelder für die zu entwickelnde Systematik

Handlungsfeld 2: Zieldefinition

Die Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen darf nicht zum Selbstzweck erfolgen. Jedes Unternehmen unterliegt unterschiedlichen Voraussetzungen, Möglichkeiten und Geschäftsumfeldern. Die größtmögliche Ausbaustufe von Industrie 4.0 stellt nicht gezwungenermaßen die ideale Zielposition dar. Die Zieldefinition ist daher eine essentielle Aufgabe (vgl. Abschnitte 2.1.4, 2.2, 2.4.2). Unter Beachtung äußerer Einflüsse und deren Auswirkungen gilt es, unternehmensindividuelle Industrie 4.0-Zielpositionen zu definieren. Reifegradmodelle stellen auch hierfür ein geeignetes Hilfsmittel dar, weil sie Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen (vgl. Abschnitte 2.1.3 und 2.5.4). Die Industrie 4.0-Strategie ist auf diese Zielposition zu fokussieren (vgl. Abschnitt 2.1.4).

Handlungsfeld 3: Strategieentwicklung

Die Strategie beschreibt den Weg von der heutigen Situation zu einer Erfolg versprechenden Situation in der Zukunft (vgl. Abschnitt 2.1.4). Reifegradmodelle verfügen in aller Regel über definierte Entwicklungsstufen, die Entwicklungspfade von einem definierten

Anfangsstadium zu einer gewünschten Reife aufzeigen (vgl. Abschnitt 2.1.3). Die Verknüpfung von Reifegradmodell und Strategie zur Definition von Entwicklungspfaden stellt einen Erfolg versprechenden Ansatz dar. Die gezielte Kombination konsistenter Leistungsstufen des Industrie 4.0-Reifegradmodells in einer Strategie wird daher als zentraler Gegenstand der Systematik angesehen.

Handlungsfeld 4: Strategie-Controlling

Das Strategie-Controlling stellt das Mittel der Wahl bei der Überwachung der Strategieumsetzung dar. Sowohl die zugrunde liegenden Annahmen einer Strategie – hierzu zählen neben den antizipierten Umfeldentwicklungen auch die daraus abgeleiteten Konsequenzen – als auch die eingeleiteten Umsetzungsaktivitäten (Maßnahmen, strategische Programme o.ä.) müssen regelmäßig geprüft bzw. überwacht werden (vgl. Abschnitt 2.4.2). Das Controlling findet allerdings in Industrie 4.0-Implementierungsprozessen nur unzureichend Anwendung (vgl. Abschnitt 2.3.3). Das Controlling einer Industrie 4.0-Strategie stellt daher ein zentrales Handlungsfeld dar und muss als integraler Bestandteil der Strategieentwicklung angesehen werden.

2.7 Anforderungen an die Systematik

Die Abschnitte 2.1 bis 2.6 haben die Herausforderungen bei der Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien diskutiert. Die Erkenntnisse führen zu Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik. Abschnitt 2.7.1 beinhaltet übergeordnete Anforderungen. Abschnitt 2.7.2 umfasst spezifische Anforderungen an die Leistungsbewertung und Leistungssteigerung. In Abschnitt 2.7.3 werden abschließend spezifische Anforderungen an die Industrie 4.0-Strategieentwicklung dargestellt.

2.7.1 Übergeordnete Anforderungen

Im Folgenden werden übergeordnete Anforderungen an die Systematik formuliert. Sie beziehen sich nicht auf einzelne Bereiche, sondern verfügen über einen allgemeinen Charakter, der über alle Bereiche hinweg von Bedeutung ist.

A1: Soziotechnische Unternehmensgestaltung

Die Veränderungen in Unternehmen durch Industrie 4.0 sind umfangreich, hochdynamisch und aufgrund ihrer vielfältigen Abhängigkeiten sehr komplex (vgl. Abschnitt 2.3). Neben den rein technischen Entwicklungen ändern sich für Unternehmen auch organisatorische und soziale Rahmenbedingungen. Im Zuge der Implementierung von Industrie 4.0 sind daher mehrere soziotechnische Dimensionen (Mensch, Technik, Organisation o.ä.) im Zusammenhang zu betrachten, damit das Unternehmen gleichermaßen unter allen Gesichtspunkten weiterentwickelt wird (Abschnitt 2.4.4).

A2: Individualisierbarkeit für Anwenderunternehmen

Kein Unternehmen gleicht einem anderen. Das gilt allgemein, aber vor allem auch in Bezug auf den Umsetzungsstand von Industrie 4.0 im Unternehmen (vgl. Abschnitte 2.3). Insbesondere KMU sehen sich mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert und weisen hierdurch verschiedene Ausgangssituationen und Digitalisierungsfortschritte auf (Abschnitt 2.3.4). Die digitale Transformation dieser Unternehmen muss daher maßgeschneidert erfolgen. Das gilt selbstredend auch für die Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie, die entsprechend auf die Bedürfnisse der Anwenderunternehmen zugeschnitten werden muss (Abschnitt 2.4.3).

A3: Verzahnung entlang der Strategieebenen

Industrie 4.0-Strategien weisen heute die wesentlichen Charakteristika von Unternehmens- bzw. Geschäftsstrategien auf. Für KMU empfiehlt sich zunächst die Erarbeitung einer separierten Industrie 4.0-Strategie auf Unternehmensebene (vgl. Abschnitt 2.4.3). Dabei sind die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Strategieebenen zu berücksichtigen, damit Industrie 4.0 die volle Durchschlagskraft über alle Unternehmensebenen hinweg entfaltet.

2.7.2 Anforderungen an die Leistungsbewertung und -steigerung

Neben den übergeordneten Anforderungen existieren Anforderungen an die Leistungsbewertung und Leistungssteigerung. Sie werden in diesem Abschnitt erläutert.

A4: Einsatz eines Reifegradmodells zur Leistungsbewertung

Den Ausgangspunkt einer Leistungssteigerung bildet die Leistungsbewertung. Hierfür haben sich Reifegradmodelle als zielführendes Werkzeug etabliert (vgl. Abschnitt 2.5). Im Kontext von Industrie 4.0 wächst die Popularität von Reifegradmodellen kontinuierlich an (vgl. Abschnitt 2.5.4). Sie dienen daher als Mittel der Wahl, die Leistungsbewertung in Bezug auf Industrie 4.0 zu bewerten und sind daher in die Systematik zu integrieren.

A5: Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten I4.0-Reifegradmodells

Die Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells ist nicht trivial und fällt vielen Unternehmen schwer (vgl. Abschnitt 2.5.2). Die Systematik muss daher ein Vorgehen bereitstellen, das bei der Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells unterstützt.

A6: Konsistenz von Entwicklungsstufen

Reifegradmodelle bestehen aus verschiedenen Handlungsbereichen und Handlungselementen sowie Leistungsstufen, die deren Entwicklungsstand widerspiegeln (Abschnitt 2.5.3). Bei der Definition von Ziel-Leistungsstufen muss sichergestellt werden, dass die gewünschten Zielstufen untereinander konsistent sind (vgl. Abschnitt 2.6). Andernfalls

besteht die Gefahr, ein Zielbild anzustreben, das in seiner geplanten Form gar nicht realisiert werden kann.

A7: Einsatz von Methoden der strategischen Vorausschau

Methoden der strategischen Vorausschau eignen sich dazu, die mit Industrie 4.0 verbundenen Veränderungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern sowie die damit verbundenen Chancen und Gefahren für das Geschäft von morgen zu antizipieren. Hieraus ergeben sich Strategieoptionen (Abschnitt 2.4.2). Übertragen auf die Strategieentwicklung mit Reifegradmodellen stellen sie zukünftige Optionen denkbarer Zielpositionen im Sinne von Zielreifegraden dar (vgl. Abschnitt 2.5.4). Methoden sollen daher in die Systematik integriert werden.

A8: Berücksichtigung der Auswirkungen von Umfeldentwicklungen

Die Umfeldentwicklungen im Rahmen der digitalen Transformation werden immer dynamischer (Abschnitt 2.3). Unternehmen stehen vor der Herausforderung, diese zu antizipieren (vgl. Anforderung 7). Gleichzeitig müssen deren Auswirkungen (insb. Chancen und Gefahren) in den strategischen Planungsprozessen berücksichtigt werden (Abschnitt 2.4.2). Sie wirken sich bei der Industrie 4.0-Strategieentwicklung mittels Reifegradmodellen insbesondere auf die zu erreichenden Zielpositionen aus. Die Systematik muss die Berücksichtigung der bestehenden Zusammenhänge zwischen Zukunftsbildern und deren Auswirkungen auf die Zielpositionen unterstützen.

A9: Durchführung eines Benchmarks

Ein Benchmarking dient dazu, die eigene Leistungsfähigkeit mit am Markt bestehenden (Best-)Lösungen zu vergleichen. Im Kontext der strategischen Planung erfolgt der Vergleich häufig mit dem direkten Wettbewerb. Auch im Rahmen des Reifegradmanagements kommt Benchmarking nutzenstiftend zum Einsatz (Abschnitt 2.5.5). Die Vergleiche erlauben das Ableiten strategischer Schlüsse. Das Benchmarking ist daher in die Leistungsstufen-basierte Industrie 4.0-Strategieentwicklung zu integrieren.

2.7.3 Anforderungen an die Industrie 4.0-Strategieentwicklung

Aus der Problemanalyse ergeben sich darüber hinaus spezifische Anforderungen an die Industrie 4.0-Strategieentwicklung. Diese werden im Folgenden dargelegt.

A10: Ableitung der Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategie

Die Anwendung von Reifegradmodellen zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung ist bereits etabliert (Abschnitt 2.5). Die Überführung und die Aggregation bzw. Konsolidierung der Bewertungsergebnisse in einer Industrie 4.0-Strategie hingegen nicht. Dieser Schritt erfolgt allenfalls manuell und ist abhängig von der Managementkompetenz

im Bereich Strategieentwicklung. Die methodische Unterstützung im Rahmen der Systematik ermöglicht hingegen die flächendeckende Anwendung insbesondere für KMU (vgl. Abschnitt 2.3.4) und ist daher vorzusehen.

A11: Maßnahmen zur Industrie 4.0-Strategieumsetzung

Elementarer Bestandteil einer Strategie sind Maßnahmen zu deren Umsetzung (vgl. 2.1.4). Diese können in Form von Maßnahmenplänen, Umsetzungs-Roadmaps, strategischen Programmen oder Projekten definiert sein (vgl. Abschnitt 2.4.2). Sie stellen Zwischenziele bzw. Meilensteine auf dem Weg zur unternehmerischen Vision dar und sind konsequent auf diese ausgerichtet (Abschnitt 2.1.4). Im Rahmen der Industrie 4.0-Strategieentwicklung gilt es ebenfalls, die Umsetzung der Strategie systematisch zu planen. Ein entsprechendes Vorgehen ist in die Systematik zu integrieren.

A12: Bereitstellung eines Konzepts zum Strategie-Controlling

Der Prozess der strategischen Führung beinhaltet ein Controlling der Strategieumsetzung (Abschnitt 2.4.2). Insbesondere aufgrund des dynamischen Wandels durch Industrie 4.0 wird ein engmaschigeres Strategiecontrolling wichtiger denn je. Ein Konzept zum Strategie-Controlling, das auf die Besonderheiten von Industrie 4.0 zugeschnitten ist, muss daher Bestandteil der Systematik sein – insbesondere deshalb, weil das Controlling in Industrie 4.0-Implementierungsprozessen bisher nur unzureichend berücksichtigt wird (vgl. Abschnitt 2.3.3).

3 Stand der Technik

Im Stand der Technik werden bereits existierende Methoden, Ansätze und Hilfsmittel diskutiert und hinsichtlich der Anforderungen aus Abschnitt 2.7 analysiert und bewertet. Ziel ist Handlungsbedarf für eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Zunächst werden in Abschnitt 3.1 Reifegrad-basierte Strategie- und Transformationsansätze für Industrie 4.0 erläutert. Abschnitt 3.2 befasst sich mit weiteren Transformationsansätzen für Industrie 4.0, die sich nicht eines Reifegradmodells bedienen. Daraufhin werden in Abschnitt 3.3 Ansätze zur Reifegrad-basierten Leistungssteigerung analysiert, die nicht das Paradigma Industrie 4.0 fokussieren. Es folgen weitere Ansätze zur Leistungssteigerung ohne Bezug zu Reifegradmodellen und Industrie 4.0 in Abschnitt 3.4. Abschnitt 3.5 befasst sich mit allgemeinen Ansätzen der Strategieentwicklung. In Abschnitt 3.6 werden das Szenario-Management und ein Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 vorgestellt. Sie adressieren nicht unmittelbar die Industrie 4.0-Strategieentwicklung, können diese aber unterstützen. Abschließend werden in Abschnitt 3.7 ausgewählte Konzepte des Strategie-Controllings analysiert. In Abschnitt 3.8 erfolgt der Abgleich der Anforderungen aus Abschnitt 2.7 mit dem zuvor dargelegten Stand der Technik. Hieraus resultiert der Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit.

3.1 Reifegrad-basierte Strategie- und Transformationsansätze für Industrie 4.0

In diesem Abschnitt werden Reifegrad-basierte Ansätze zusammengefasst, die zur Implementierung von Industrie 4.0 im Unternehmen dienen. Diese werden in der Literatur unterschiedlich bezeichnet, adressieren jedoch denselben Sachverhalt. Vor diesem Hintergrund beinhaltet dieser Abschnitt sowohl Ansätze zur Entwicklung von Industrie 4.0- bzw. Digitalisierungsstrategien als auch Ansätze zur digitalen Transformation produzierender Unternehmen. Allen hier aufgeführten Ansätzen ist gemein, dass ihnen ein Reifegradmodell eingebettet in ein Vorgehensmodell zugrunde liegt.

3.1.1 Industrie 4.0 Maturity Index (2020) nach SCHUH ET AL.

SCHUH ET AL. liefern ein umfangreiches Konzept zur Bestimmung des aktuellen Industrie 4.0-Reifegrads von Unternehmen sowie zur Definition von Verbesserungsmaßnahmen, um die wirtschaftlichen Potentiale von Industrie 4.0 sowie der Digitalisierung auszuschöpfen. Die Anwendung des Modells gliedert sich gemäß Bild 3-1 in drei Phasen [SAD+20, S. 14ff.].

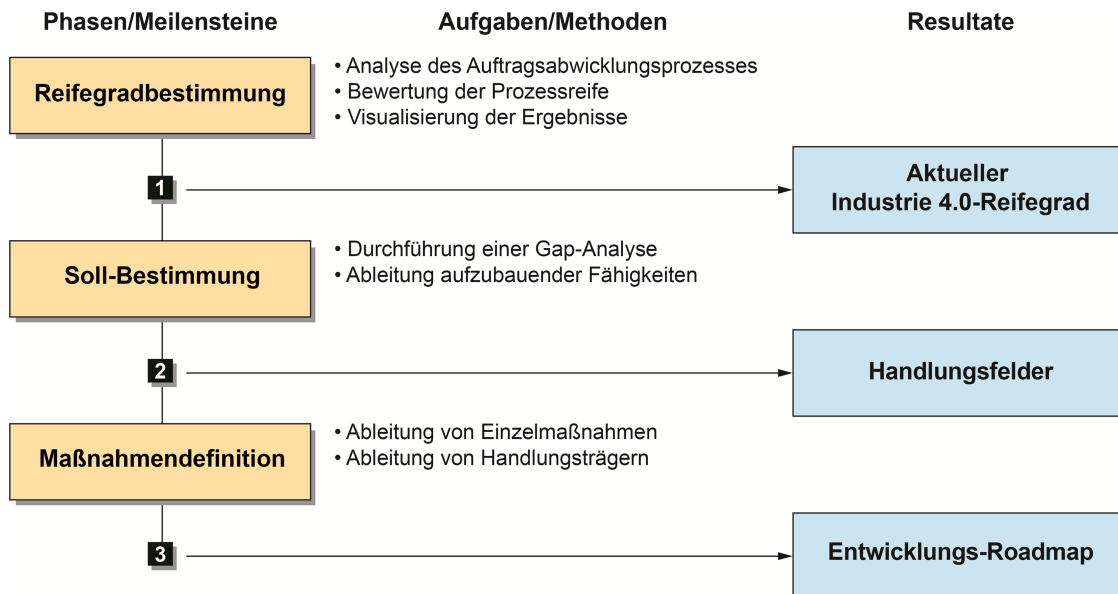


Bild 3-1: Anwendung des ACATECH Maturity Index nach SCHUH ET AL. [SAD+20, S. 48ff.]

Reifegradbestimmung: Mit Hilfe von Geschäftsprozessanalysen in den Funktionsbereichen des Unternehmens werden zunächst die unternehmerischen Fähigkeiten in Bezug auf Industrie 4.0 ermittelt. Als Hilfsmittel dient ein Fragebogen, der alle Prozesse berücksichtigt und eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit in Bezug auf sechs definierte Entwicklungsstufen erlaubt. Die Bewertung erfolgt im Workshop. Anschließend wird ein Leistungsprofil erstellt, das die Reifegradstufen in den Gestaltungsfeldern *Ressourcen*, *Informationssysteme*, *Organisation* und *Kultur* in aggregierter Form visualisiert [SAD+20, S. 48ff.].

Soll-Bestimmung: Eine Analyse des Leistungsprofils deckt Inkonsistenzen in den Gestaltungsfeldern auf. Aufgrund der Abhängigkeiten der Gestaltungsfelder wird eine gleichmäßige Entwicklung angestrebt. Es wird abgeleitet, in welchen Gestaltungsfeldern Entwicklungsbedarf besteht und Fähigkeiten ausgebaut werden müssen. Hierdurch ergeben sich Handlungsfelder zur Erreichung des Soll-Zustands [SAD+20, S. 50f.].

Maßnahmendefinition: Zur Umsetzung der identifizierten Handlungsfelder werden Maßnahmen definiert. Diese werden aus fehlenden Fähigkeiten in den Gestaltungsfeldern abgeleitet. Thematisch ähnliche Maßnahmen werden in Handlungssträngen zusammengefasst. Die Maßnahmen werden priorisiert, aufeinander abgestimmt und in eine schlüssige Reihenfolge gebracht. Ferner werden Aufwand und Nutzen der Maßnahmen mit Hilfe von Kennzahlen bewertet. Die Entwicklungs-Roadmap führt zu einer Erhöhung des Industrie 4.0 Maturity Levels [SAD+20, S. 51f.].

Bewertung:

Der ACATECH Industrie 4.0 Maturity Index ist ein etablierter Leitfaden für eine systematische digitale Transformation produzierender Unternehmen. Mit Hilfe des bereitgestell-

ten Reifegradmodells können der heutige Leistungsstand erfasst sowie der zukünftig angestrebte Zielzustand abgeleitet werden. Definierte Maßnahmen legen den Fokus auf die (Weiter-)Entwicklung von Handlungsfeldern im Kontext Industrie 4.0, deren Leistungsstand noch unzureichend ausgeprägt ist. Die Anwendung des Modells kann allerdings nur unter Einbindung der Entwickler des Modells erfolgen. Wesentliche Informationen zur Selbstanwendung, wie beispielsweise der zugrunde liegende Fragebogen zur Ermittlung der Prozessreife, sind nicht veröffentlicht.

3.1.2 Strategischer Ansatz zur Industrie 4.0-Transformation nach OLEFF und MALESSA

Die Autoren stellen eine funktionale Architektur zur Entwicklung von Industrie 4.0-Einführungsstrategien vor. Die Architektur beinhaltet ein iteratives Vorgehensmodell, das die Reihenfolge aufeinander aufbauender „Subsysteme“ definiert. Dahinter verbergen sich letztlich vier Phasen, die in Bild 3-2 dargestellt sind.

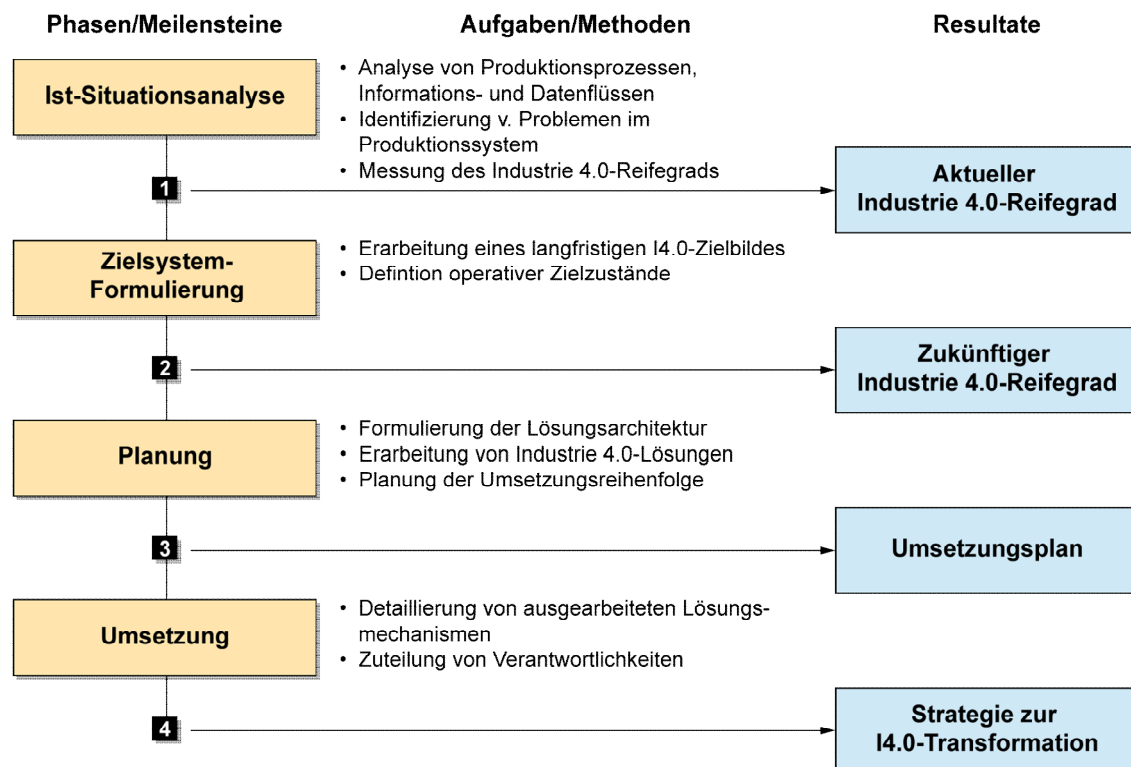


Bild 3-2: Vorgehensmodell zur Industrie 4.0-Transformation nach OLEFF und MALESSA [OM18, S. 173ff.]

Ist-Situationsanalyse: Zu Beginn erfolgt die Ermittlung und Abbildung von Produktionsprozessen sowie steuernden Informations- und Datenflüssen, z. B. mittels Wertstromanalyse. Anschließend werden Probleme im Produktionssystem als Anhaltspunkte für die Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen ermittelt („Problem-Pull“). Als Hilfs-

mittel dienen beispielsweise Fehlersammellisten, Prüfformulare oder Datenerfassungssysteme. Abschließend erfolgt die Industrie 4.0-Standortbestimmung mit Hilfe eines Reifegradmodells. Ergebnis ist der aktuelle Industrie 4.0-Reifegrad [OM18, S. 175].

Zielsystem-Formulierung: Gegenstand ist die Erarbeitung eines richtungsweisenden und langfristigen Industrie 4.0-Zielbildes. Hierdurch werden Handlungsspielräume im Hinblick auf die Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen aufgedeckt („Möglichkeiten-Push“). Als Werkzeug dient ebenfalls das Reifegradmodell. Ausgehend von den maximalen Entwicklungsstufen des Reifegradmodells wird geprüft, welche Entwicklungsstufen unter Berücksichtigung von Ressourcen erreichbar sind. Anschließend werden durch den Abgleich von Problem-Pull und Möglichkeiten-Push operative Zielzustände definiert. Hierdurch ergibt sich der zukünftige Industrie 4.0-Reifegrad [OM18, S. 176].

Planung: In der Planungsphase werden Lösungen zur Erreichung der operativen Ziele erarbeitet. In der Lösungsarchitektur werden den Elementen des Produktionssystems daher abstrakte Eigenschaften (z. B. Strukturen oder Prozesse) zur Verwirklichung der operativen Ziele zugeordnet. Als Werkzeuge dienen beispielsweise tabellarische Auflistungen von Prozessen und beteiligten Strukturen oder Strukturdiagramme mit grafischen Modellierungssprachen zur Visualisierung von Zusammenhängen. Anschließend werden Konzepte zur Realisierung der Lösungsarchitektur unter Berücksichtigung von Anforderungen und Rahmenbedingungen erarbeitet (z. B. anhand bestehender Industrie 4.0-Use-Cases). Abschließend erfolgt die Umsetzungsplanung (z. B. mit Hilfe von Pareto-Analysen) [OM18, S. 176].

Umsetzung: Hier werden die ausgearbeiteten Lösungskonzepte weiter detailliert und Verantwortlichkeiten im Unternehmen sowie gegenüber externen Leistungserbringern definiert. Die Autoren empfehlen hierbei die Einteilung in die Disziplinen Mechanik, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Software und Elektronik. Die Umsetzung bildet das Ende eines Iterationszyklus. Es liegt eine Strategie zur Industrie 4.0-Transformation vor [OM18, S. 176].

Bewertung:

OLEFF und MALESSA stellen ein Reifegrad-basiertes und iteratives Vorgehen zur Industrie 4.0-Transformation produzierender Unternehmen vor. Den Kern bildet ein Reifegradmodell zur Erfassung der Ist-Situation sowie Definition der gewünschten Zielposition. Das Vorgehen wird umfangreich und unter Nennung zahlreicher Beispiele erläutert. Die Zieldefinition erfolgt zwar intuitiv, allerdings unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zeithorizonte, was die schrittweise Einführung von Industrie 4.0 erleichtert. Die anschließende Ableitung der Strategie zur Industrie 4.0-Transformation wird nur rudimentär erläutert und nicht zusammenfassend dargestellt. Eine Verzahnung mit übergeordneten Strategieebenen findet nicht statt.

3.1.3 Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen nach HENNEGRIFF ET AL.

Ausgehend von einer umfangreichen Analyse bestehender Vorgehensmodelle für Industrie 4.0 haben HENNEGRIFF ET AL. ein Vorgehensmodell bestehend aus sechs Phasen entwickelt, das die Erkenntnisse ihrer Studie in einem gemeinsamen Vorgehensmodell aggregiert (Bild 3-3). Den Kern bilden eine strategische, taktische und operative Planungsphase, die von einer Vorbereitungs- und Informationsphase sowie einer Controlling-Phase flankiert werden.

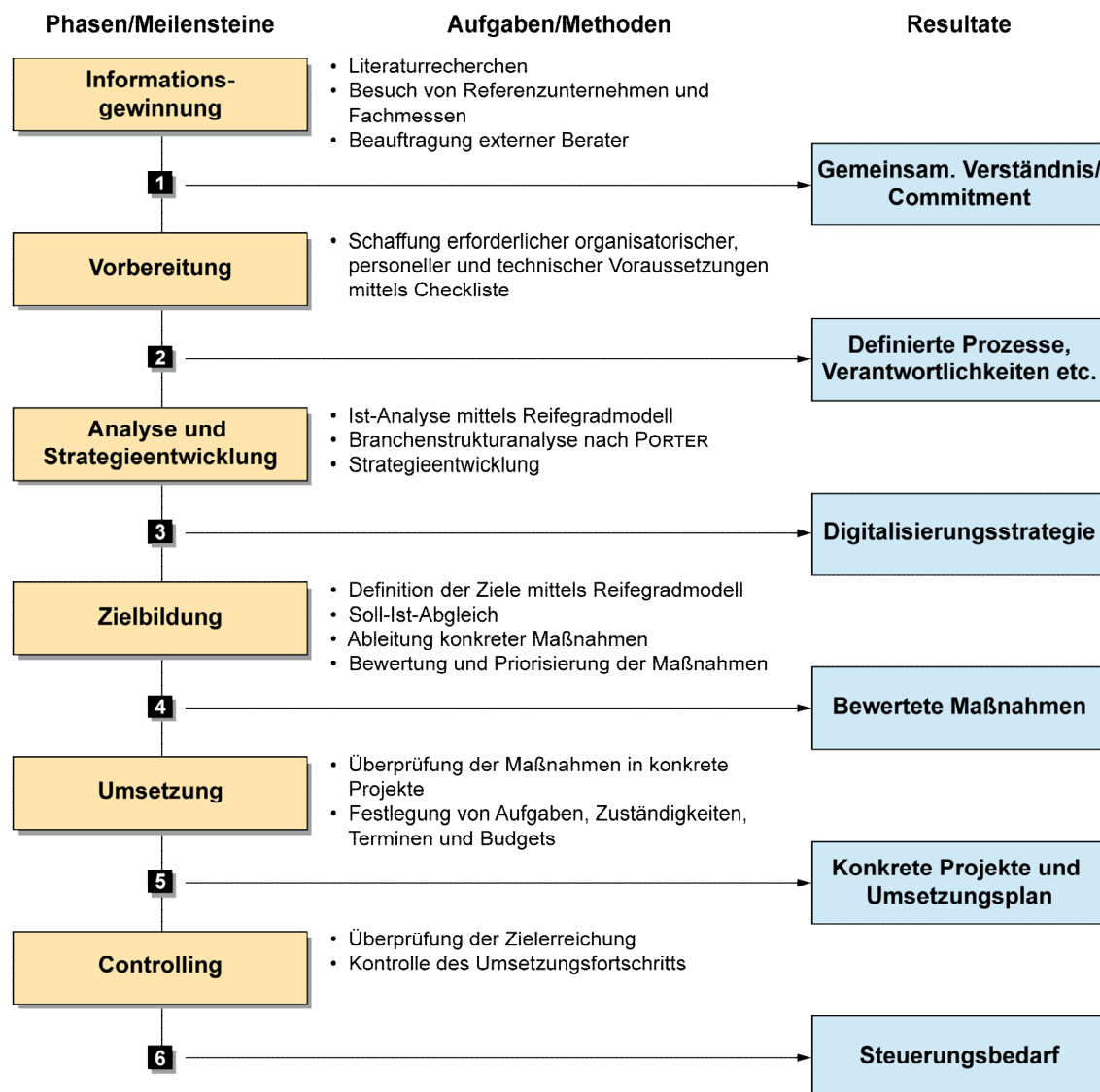


Bild 3-3: Vorgehensmodell zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen nach HENNEGRIFF ET AL. [HTS+19, S. 49]

Information: In der Informationsphase werden ein einheitliches Verständnis für Digitalisierung und Industrie 4.0 geschaffen. Als geeignete Hilfsmittel werden Literaturrecherchen, externe Berater oder der Besuch von Referenzunternehmen und Fachmessen vorgeschlagen. Im Fokus steht das Erkennen des Nutzens von Industrie 4.0 [HTS+19, S. 49].

Vorbereitung: In dieser Phase werden die notwendigen organisatorischen, personellen und technischen Voraussetzungen geschaffen. Als Hilfsmittel dient eine Checkliste. Ergebnisse sind beispielsweise definierte Prozesse und Verantwortlichkeiten sowie ein Überblick über die bestehende IT-Infrastruktur [HTS+19, S. 49].

Analyse und Strategieentwicklung („strategische Phase“): Die dritte Phase unterteilt sich in eine interne und externe Analyse, deren Ergebnisse in eine SWOT-Analyse einfließen. Sie bildet wiederum die Grundlage zur Strategieentwicklung. Aus der internen Analyse ergeben sich Stärken und Schwächen. Diese werden mittels Reifegradmodell ermittelt. Die externe Analyse liefert Chancen und Risiken. Sie ergeben sich aus einer Branchenstrukturanalyse (Fünf-Kräfte-Modell nach PORTER) [HTS+19, S. 49].

Zielbildung („taktische Phase“): Auf Basis der Strategie werden konkrete Maßnahmen durch einen Soll-Ist-Abgleich abgeleitet. Als Hilfsmittel dient das Reifegradmodell aus der vorherigen Phase. Die Umsetzungsmaßnahmen werden anschließend hinsichtlich des wirtschaftlichen Potentials und der Umsetzbarkeit bewertet. Maßnahmen mit hoher Wirtschaftlichkeit und leichter Umsetzbarkeit („Quick Wins“) werden priorisiert weiterverfolgt [HTS+19, S. 49f.].

Umsetzung („operative Phase“): In dieser Phase werden die definierten Maßnahmen operationalisiert und in konkrete Projekte überführt. Ein besonderer Fokus liegt auf der soziotechnischen Ausgestaltung der betrachteten Dimensionen Mensch-Technik-Organisation sowie deren Schnittstellen. Ergebnis ist ein Umsetzungsplan mit Aufgaben, Zuständigkeiten, Terminen und Budgets [HTS+19, S. 49f.].

Controlling: Im Controlling erfolgen die Überprüfung der Zielerreichung und die Kontrolle des Umsetzungsfortschritts. Als Hilfsmittel dienen Methoden des Projektcontrollings. Die Kontrolle erfolgt qualitativ (Ampelsystem) und quantitativ (z. B. Termine und Kosten). Ein kontinuierlicher Soll-Ist-Abgleich sichert den Projekterfolg [HTS+19, S. 50].

Bewertung:

HENNEGRIFF ET AL. liefern ein fundiertes soziotechnisches Vorgehensmodell, das auf umfangreicher Untersuchungen bestehender Vorgehensmodelle zur Einführung von Industrie 4.0 basiert. Durch eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Phasen samt einzusetzender Methoden und Werkzeuge, verfolgter Ziele und zu erzielender Resultate ist das Vorgehen sehr transparent und gut nachvollziehbar. Das eingesetzte Reifegradmodell dient zur Erfassung des Ist-Zustands sowie zur Definition des Soll-Zustands. Eine detaillierte Beschreibung der Anwendung sowie insbesondere die methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Zielposition erfolgen hingegen nicht. Ein Beispiel für den Aufbau und die Bestandteile der Digitalisierungsstrategie bleibt verborgen. Einen Mehrwert gegenüber vielen bestehenden Ansätzen liefert das Vorgehensmodell durch Integration der Informations- und Vorbereitungsphasen sowie durch das vorgesehene Controlling-Konzept zur Strategieüberwachung.

3.1.4 Reifegrad-basierte Industrie 4.0-Migration nach MORLOCK ET AL.

Der Ansatz von MORLOCK ET AL. fokussiert darauf, erfolgreich cyber-physische Produktionssysteme in Unternehmen unter Berücksichtigung der soziotechnischen Gestaltungsdimensionen Technik, Organisation und Personal zu etablieren. Hierzu verfolgen die Autoren ein iteratives Reifegrad-basiertes Vorgehen, das aus drei Phasen besteht (Bild 3-4).

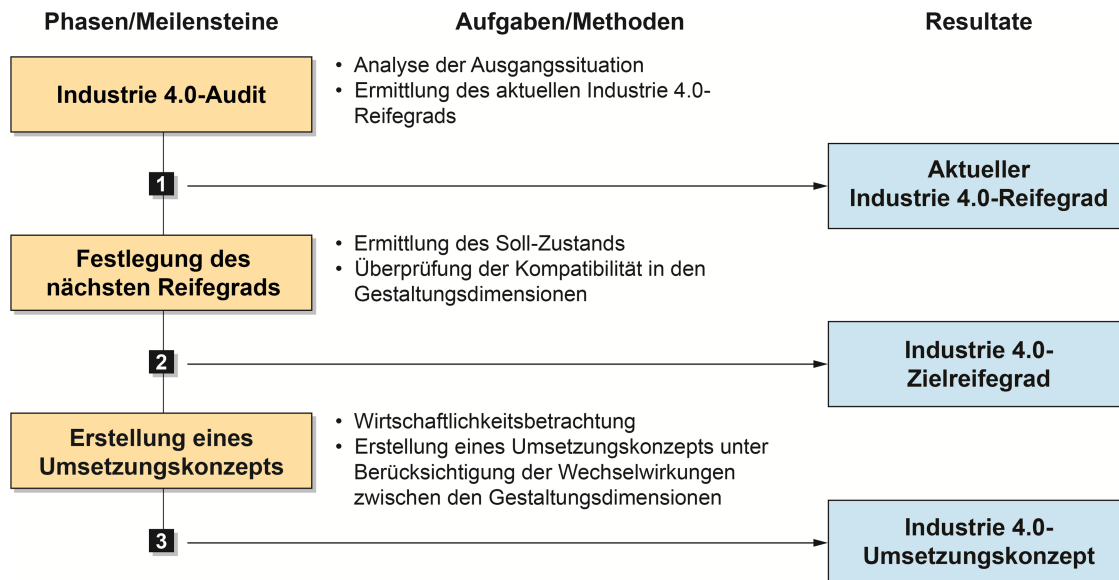


Bild 3-4: Vorgehensmodell zur Reifegrad-basierten Industrie 4.0-Migration nach MORLOCK ET AL. [MWL+16, S. 308]

Industrie 4.0-Audit: Zu Beginn erfolgt die Analyse der Ausgangssituation in Form eines Industrie 4.0-Audits, um die Anknüpfungspunkte des Unternehmens an Industrie 4.0 individuell zu bewerten. Die Ermittlung des Reifegrads erfolgt dimensionsspezifisch, wird anschließend zum Gesamtreifegrad aggregiert und kann für Benchmarking-Zwecke und Kosten-Nutzen-Analysen herangezogen werden [MWL+16, S. 307f.].

Festlegung des nächsten Reifegrads: Hier erfolgt die Definition eines kurzfristigen und langfristigen Soll-Zustands. Zur Erreichung der Soll-Zustände werden erforderliche Veränderungen im Unternehmen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der Wechselwirkungen in den Gestaltungsdimensionen initiiert. Die erforderlichen Schritte hierzu sind unternehmensspezifisch und nicht weiter formalisiert [MWL+16, S. 308].

Erstellung eines Umsetzungskonzepts: Unter Beachtung der Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungsdimensionen wird abschließend ein Umsetzungskonzept zur CPPS-Migration (Migrationspfade) erstellt. Anschließend erfolgt die Umsetzung in einem iterativen Vorgehen [MWL+16, S. 308].

Bewertung:

MORLOCK ET AL. liefern ein sehr generisches Vorgehen zur CPPS-Migration. Das Vorgehen ist einfach verständlich, jedoch wenig spezifiziert. Eine wesentliche Basis zur Erfassung der aktuellen Leistungsfähigkeit sowie zur Zieldefinition bildet ein nicht näher

erläutertes Reifegradmodell. Beispiele für Bestandteile werden nicht genannt. Hervorzuheben sind die soziotechnische Betrachtungsweise von Industrie 4.0 in den Gestaltungsdimensionen Technik, Organisation und Personal sowie die regelmäßige Berücksichtigung derer Wechselwirkungen. Aufgrund seiner sehr allgemeinen Beschreibung kann das Vorgehen lediglich stellenweise als Impuls zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie genutzt werden.

3.1.5 Industrie 4.0-Roadmapping nach SCHUMACHER ET AL.

SCHUMACHER ET AL. präsentieren ein Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap mit Hilfe eines Reifegradmodells. Berücksichtigt werden neben technischen Besonderheiten von Industrie 4.0 vor allem auch organisatorische Aspekte. Es besteht aus mehreren Schritten, die im nachfolgenden Vorgehensmodell zu vier übergeordneten Phasen zusammengefasst werden (Bild 3-5).

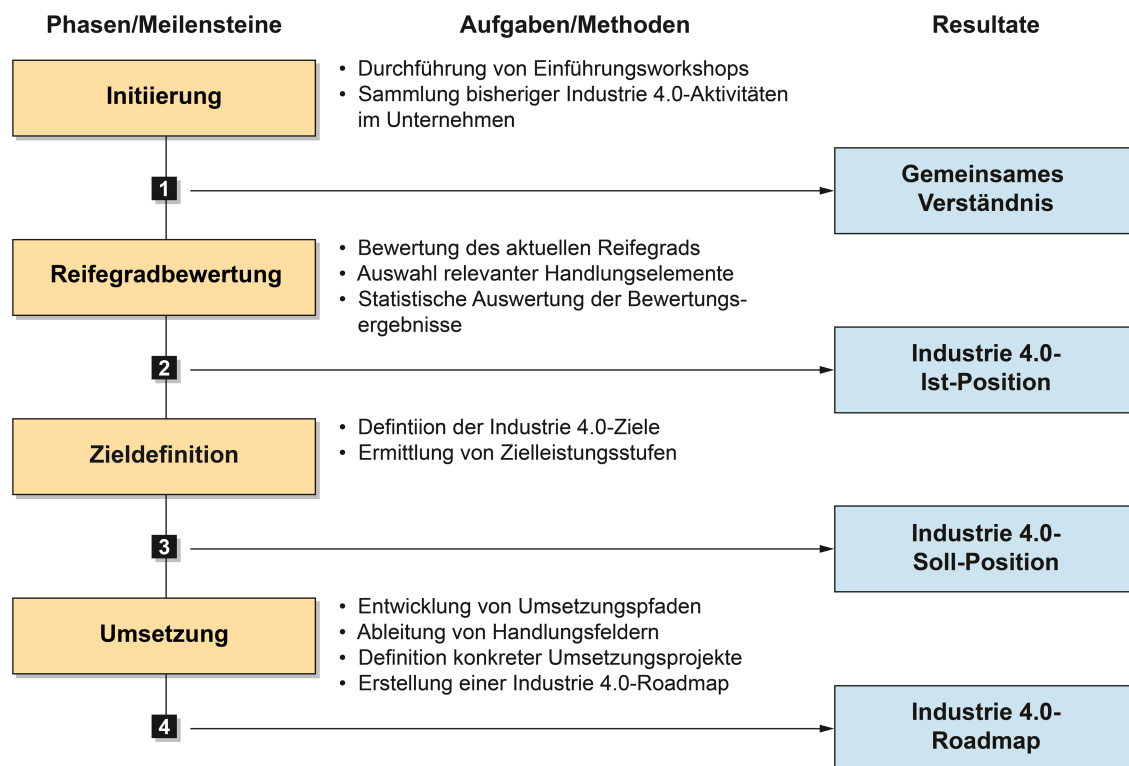


Bild 3-5: Vorgehensmodell zum Industrie 4.0-Roadmapping nach SCHUMACHER ET AL. [SNS18, S. 411]

Initiierung: Mit Hilfe externer Moderatoren werden zunächst Einführungsworkshops mit Stakeholdern des Unternehmens durchgeführt, um ein gemeinsames Verständnis in Bezug auf Ziele der Reifegradbewertung und grundlegende Konzepte von Industrie 4.0 zu erhalten sowie bisherige Initiativen und Aktivitäten des Unternehmens im Bereich Industrie 4.0 zu identifizieren [SNS18, S. 411].

Reifegradbewertung: Anschließend erfolgt die Ermittlung der aktuellen Reife. Als Hilfsmittel dient ein Reifegradmodell. Daraufhin werden die relevantesten Handlungsfelder des Reifegradmodells aus Teilnehmersicht ermittelt. Die Bewertungsergebnisse werden abschließend mit einer Software statistisch ausgewertet. Hierdurch ergeben sich Aussagen zum Gesamtreifegrad aller Reifegraddimensionen, dem Gesamtreifegrad aller Handlungselemente, zur Reifegradbewertungen pro Abteilung und Hierarchiestufe sowie die durch Standardabweichungen gemessenen Bewertungsabweichungen zwischen den Teilnehmern. Abschließend wird ein Report erstellt [SNS18, S. 412].

Zieldefinition: In der dritten Phase werden in Workshops konkrete Industrie 4.0-Ziele definiert. Anschließend werden anhand des Reifegradmodells Zielleistungsstufen ermittelt. Abschließend können die Abweichungen von Ist- und Soll-Zustand analysiert und beispielsweise Vergleiche verschiedener Unternehmensbereiche oder Werke durchgeführt werden. Hieraus ergeben sich Entwicklungsbedarfe [SNS18, S. 412].

Umsetzung: In der letzten Phase werden unternehmensspezifische Umsetzungspfade gebildet. Hierfür werden ähnliche Handlungselemente zu Handlungsfeldern geclustert. Es entsteht zunächst eine generische Industrie 4.0-Roadmap. Anschließend erfolgt eine Priorisierung der Handlungsfelder unter Berücksichtigung der Reifegradbewertungen der hochrelevanten Handlungselemente. Letztlich erfolgt die Definition von Realisierungsprojekten mit konkreten nächsten Schritten, internen Verantwortlichkeiten, Zeitvorgaben und Kosten-Nutzen-Schätzungen. Alle Ergebnisse münden in einer konkreten unternehmensspezifischen Industrie 4.0-Roadmap [SNS18, S. 412].

Bewertung:

Der Ansatz von SCHUMACHER ET AL. basiert auf einem sehr facettenreichen und eigens entwickelten Industrie 4.0-Reifegradmodell bestehend aus acht Dimensionen mitsamt 65 Handlungselementen. Hervorzuheben ist die detaillierte Beschreibung aller Handlungselemente mit Leitfragen und Beispielen, welche eine allgemeinverständliche Anwendung gewährleistet. Eine Besonderheit bildet die statistische Auswertung der Evaluationsergebnisse, um hieraus Schlüsse für die Implementierung von Industrie 4.0 zu ziehen. Allerdings beruhen die Schlüsse nicht auf einer systematischen Antizipation zukünftiger Entwicklungen, beispielsweise durch Methoden der strategischen Vorausschau. Einen Mehrwert bilden die Umsetzungspfade bestehend aus priorisierten Handlungsfeldern, die ein geeignetes Hilfsmittel bei der Spezifizierung der Industrie 4.0-Roadmap darstellen. Es wird allerdings kein Konzept bereitgestellt, die Wirksamkeit der Realisierungspfade und damit der gesamten Industrie 4.0-Umsetzung zu überwachen.

Das Vorgehen kann daher möglicherweise einen Beitrag zur Entwicklung Reifegrad-basierter Industrie 4.0-Strategien liefern.

3.1.6 Erschließung von Industrie 4.0-Potentialen nach JODLBAUER und SCHAGERL

JODLBAUER und SCHAGERL präsentieren ein Workshop-basiertes Vorgehen zur Erschließung von Industrie 4.0-Potentialen mit Hilfe eines Industrie 4.0-Reifegradmodells. Es beinhaltet mehrere soziotechnische Dimensionen und Kriterien zur Bewertung von Industrie 4.0 im Unternehmen und besteht aus fünf Phasen (Bild 3-6).

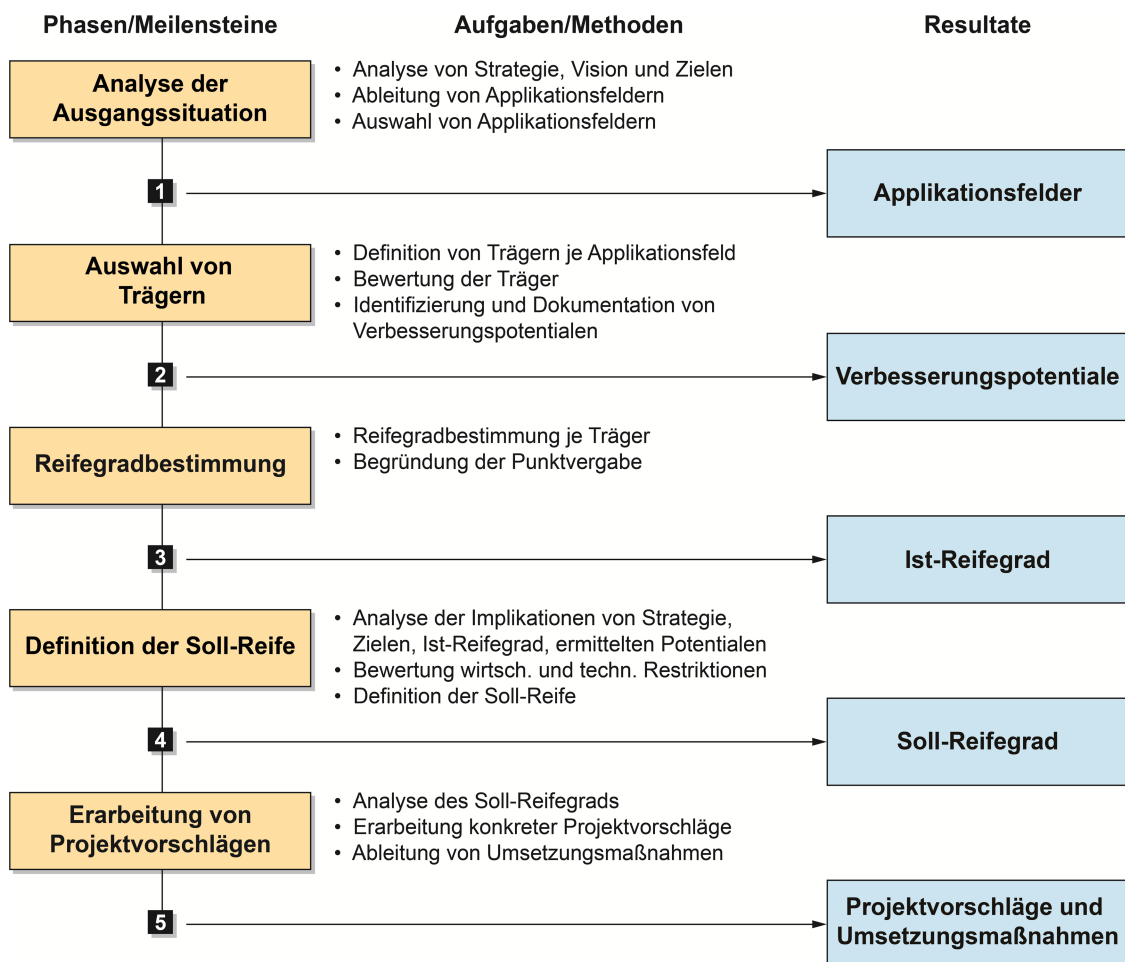


Bild 3-6: Vorgehensmodell zur Erschließung von Industrie 4.0-Potentialen nach JODLBAUER und SCHAGERL [JS16, S. 1480]

Analyse der Ausgangssituation: Vor der Anwendung des Reifegradmodells werden zunächst Applikationsfelder ausgewählt, die den Untersuchungsgegenstand definieren. Beispiele für Applikationsfelder sind ein Fertigungsbereich oder der Kundenabwicklungsprozess. Hierzu werden Strategie, Vision und Ziele des Unternehmens analysiert. Als Hilfsmittel dienen Leitfragen [JS16, S. 1479].

Auswahl von Trägern⁵⁰: Anschließend werden für jedes Applikationsfeld Träger definiert. Beispiele für Träger des Applikationsfelds Fertigung stellen die Maschinenbelegungsplanung, die Personaleinsatzplanung, Transportbehälter oder Maschinen dar. Die Träger werden anschließend mit Hilfe von Interviews bewertet. Als Informationen dienen der aktuelle Zustand des Trägers sowie die Auswertung von Prozessen, Daten und Beobachtungen. Abschließend werden Potentiale identifiziert und dokumentiert [JS16, S. 1479].

Ist-Reifegradbestimmung: Auf Basis der durchgeführten Analysen erfolgt die Ist-Reifegradbestimmung für alle ausgewählten Träger. Als Hilfsmittel dient eine Referenztabelle mit Kriterien. Neben der quantitativen Bewertung auf einer vorgegebenen Skala erfolgt eine Begründung der Punktvergabe. Als Ergebnis liegt der Ist-Reifegrad vor [JS16, S. 1479].

Definition der Soll-Reife: Aus Strategie, Zielen, Ist-Analyse, ermittelten Potentialen sowie unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Restriktionen wird anschließend der Soll-Reifegrad abgeleitet. Hierzu kann erneut auf die o.g. Referenztabelle zurückgegriffen werden. Die höchste Leistungsstufe stellt dabei das Höchstmaß an technologischem Fortschritt zu Industrie 4.0 dar [JS16, S. 1479f.].

Erarbeitung von Projektvorschlägen: Abschließend werden zur Erreichung der Soll-Reifegrade Projektvorschläge erarbeitet. Als wesentlicher Input dienen die identifizierten Potentiale sowie die Soll-Reifegrade. Aus den Projektvorschlägen werden konkrete Umsetzungsmaßnahmen abgeleitet [JS16, S. 1480].

Bewertung:

JODLBAUER und SCHAGERL liefern ein nachvollziehbares und praxisorientiertes Vorgehen zur Identifizierung von Industrie 4.0-Potentialen. Die Basis bildet ein bereitgestelltes Industrie 4.0-Reifegradmodell, das neben technischen Dimensionen auch soziale Faktoren (Mitarbeiter, Führung) in der Evaluation berücksichtigt. Die Autoren geben an, dass die Bewertungsergebnisse in eine Benchmark-Datenbank fließen, wodurch ein Vergleich von Unternehmen ermöglicht werden soll. Die Verwendung der Benchmark-Daten wird allerdings nicht im Vorgehensmodell aufgegriffen. Darüber hinaus werden die Definition der Soll-Reifegrade sowie deren Eingangsinformationen genannt, aber nicht näher systematisch angeleitet. Nichtsdestotrotz können durch einen vorgesehenen Ist-Soll-Abgleich Projektvorschläge und Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Ein iteratives Durchlaufen des Vorgehens ist möglich und wird zur regelmäßigen Überprüfung der Wirksamkeit der Umsetzungsmaßnahmen empfohlen. Nicht zum Einsatz kommen Methoden der strategischen Vorausschau zur Antizipation zukünftiger Entwicklungen. Hierdurch können auch keine Auswirkungen auf die zukünftige Zielposition berücksichtigt

⁵⁰ Dabei handelt sich um „die größte Einheit, die einer eindeutigen Bewertung zugeführt werden kann. Ein Träger kann ein Prozess, eine Aufgabe oder ein Ding sein. Träger stellen wesentliche Funktionen des Applikationsfeldes dar.“ [JS16, S. 1479].

werden. Ferner wird keine explizite Strategie bereitgestellt, sondern lediglich Projektvorschläge und einzelne Umsetzungsmaßnahmen.

3.1.7 Industrie 4.0-Migration nach KAUFMANN

KAUFMANN beschreibt ein Geschäftsmodell-orientiertes Vorgehen zur digitalen Transformation und Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen. Das Vorgehen dient insbesondere dazu, Differenzierungsmöglichkeiten und damit Wettbewerbsvorteile durch Industrie 4.0 zu erzielen. Es beinhaltet sieben aufeinander aufbauende Phasen (Bild 3-7).

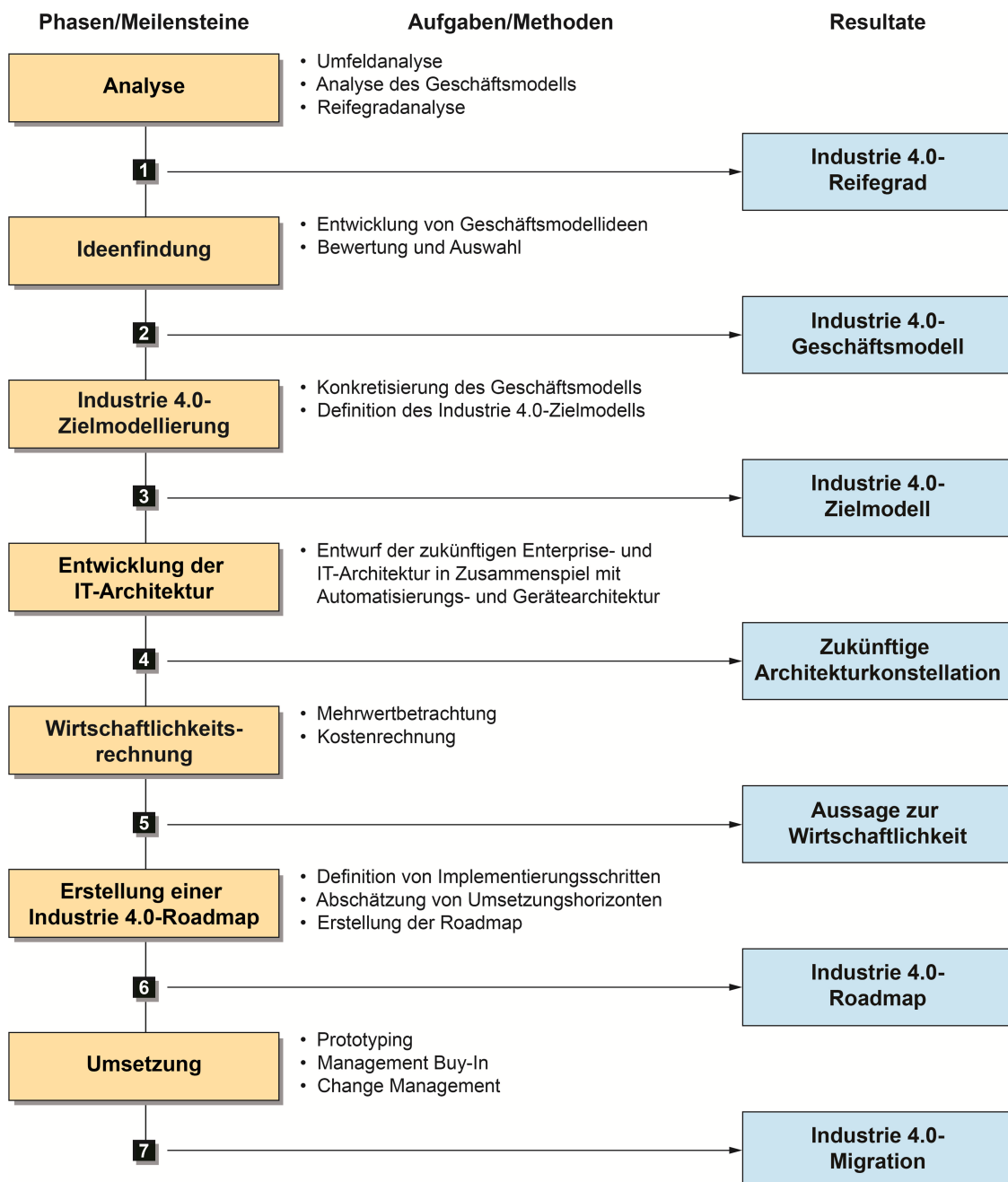


Bild 3-7: Vorgehensmodell zur Industrie 4.0-Migration nach KAUFMANN [Kau15, S. 32]

Analyse: In der ersten Phase wird ein Reifegradmodell genutzt, um eine Standortbestimmung durchzuführen sowie Handlungsoptionen, Ziele und Maßnahmen abzuleiten. Die Ermittlung des Ziel-Reifegrads und die Definition der Industrie 4.0-Ziele bilden die Grundlage für die Ideenfindung [Kau15, S. 32f.]

Ideenfindung: Hier erfolgt die Suche nach visionären Ideen, wie ein zukünftiges Geschäftsmodell unter Nutzung von Industrie 4.0-Technologien aussehen könnte. In einem iterativen Vorgehen werden Erfolg versprechende Geschäftsmodellideen konkretisiert, bewertet und eine Erfolg versprechende Idee ausgewählt [Kau15, S. 35ff.].

Industrie 4.0-Zielmodellierung: Daraufhin wird das angestrebte Industrie 4.0-Geschäftsmodell ausgestaltet. Hieraus wird das Industrie 4.0-Zielbild abgeleitet. Es besteht aus den Kernelementen *Flüsse*, *Marktteilnehmer*, *Wertbeitrag*, *Wettbewerb* und *Ökosystem* [Kau15, S. 37ff.].

Entwicklung der IT-Architektur: Anschließend erfolgt der „*Entwurf der zukünftigen Enterprise- und IT-Architektur im Zusammenspiel mit der Automatisierungs- und Gerätearchitektur*“. Sie bilden die Grundlage für die sich anschließende Wirtschaftlichkeitsrechnung [Kau15, S. 32], [Kau15, S. 40]

Wirtschaftlichkeitsrechnung: Hierbei erfolgen zunächst Mehrwertbetrachtungen für die *Dimensionen Geschäftsmodell*, *Rolle*, und *Reifegrad*. Für Mehrwerte nach Rollen und Industrie 4.0-Lösungen werden je ein Dokumentationsschema vorgestellt. Darin sind beispielsweise auch antizipierte Kosten und Umsätze qualitativ benannt. Anschließend werden Besonderheiten durch Industrie 4.0, insbesondere *Datenkosten* sowie die *Integration in betriebswirtschaftliche Prozesse* thematisiert [Kau15, S. 41ff.].

Erstellung einer Industrie 4.0-Roadmap: Das Industrie 4.0-Projekt wird daraufhin in kleine Schritte zerlegt und in einer Industrie 4.0-Roadmap abgebildet. Als geeignete Methode wird das Backcasting vorgeschlagen. Der Planungshorizont beträgt circa drei Jahre [Kau15, S. 43ff.].

Umsetzung: Die Umsetzung erfolgt mit der *Prototyping-Methode*, bei der möglichst schnell ein erstes lauffähiges Modell des Vorhabens aufgebaut wird. Das Modell dient zur Verfeinerung des Konzepts. Ferner wird das sog. *Management Buy-In* thematisiert. Dahinter verbirgt sich das Einholen eines Management-Commitments, um finanzielle, politische und organisatorische Hindernisse zu minimieren [Kau15, S. 44ff.].

Bewertung:

KAUFMANN liefert ein sehr generisches Vorgehen zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap. Den Schwerpunkt bildet die Leistungssteigerung mit Hilfe eines Industrie 4.0-Reifegradmodells bis zur vollständigen Integration eines Industrie 4.0-Geschäftsmodells. Das Vorgehen ist weitestgehend nachvollziehbar. Die methodische Herangehensweise in den einzelnen Phasen wird allerdings lediglich rudimentär beschrieben. Ein Beispiel bildet die Umfeldanalyse in der ersten Phase, die nicht weiter erläutert wird. Einige Phasen

werden außerdem ihrer Bezeichnung kaum gerecht. Ein Beispiel bildet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die nur oberflächlich skizziert wird und offensichtlich allenfalls qualitativ erfolgt. Vereinzelte Begriffe, wie beispielsweise der Geschäftsmodellbegriff wirken unscharf verwendet. Das Vorgehen kann daher als Impuls dienen, muss aber stellenweise kritisch betrachtet und geprüft werden.

3.1.8 Reifegradmodell-basierte Planung von Cyber-Physical Systems nach WESTERMANN

WESTERMANN liefert eine umfangreiche Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems. Diese dienen als technische Grundlage für Industrie 4.0 und bilden hierdurch die Basis für die erfolgreiche Umsetzung. Neben eines Vorgehensmodells werden ein Reifegradmodell sowie weitere Hilfsmittel zur Konzipierung von CPS vorgestellt, die im Rahmen des Vorgehensmodells Anwendung finden. Das Vorgehen gliedert sich in sechs Phasen (Bild 3-8).

Vorbereitung: Zu Beginn erfolgt die Zusammenstellung eines Projektteams, das die Phasen des Vorgehensmodells durchläuft. Anschließend wird ein zu betrachtendes Produkt ausgewählt (Betrachtungsgegenstand). Als Auswahlkriterien dienen beispielsweise die ermittelten Erfolgspotentiale für ein Produkt, dessen Referenzcharakter für andere Produktgruppen oder innovative Konkurrenzprodukte von Marktbegleitern. Abschließend wird ein Systemmodell des Betrachtungsgegenstands erstellt [Wes17, S. 135].

Leistungsbewertung: Die Leistungsbewertung erfolgt mit Hilfe der Leistungsstufen eines Reifegradmodells für CPS sowie weiterer Hilfsmittel und Berechnungsvorschriften. Nach der Bewertung erfolgt eine Konsistenzanalyse zur Überprüfung der Bewertungen auf Komponentenebene. Anschließend erfolgt die Prüfung auf Gesamtsystemebene. Die Ergebnisse werden zu einer Gesamtsystemleistungsstufe zusammengefasst. Als Ergebnis liegt die derzeitige Leistungsfähigkeit des zu betrachtenden Systems auf Komponenten- und Gesamtsystemebene vor [Wes17, S. 135f.].

Zieldefinition: Unter Berücksichtigung der Geschäftsstrategie werden in dieser Phase Verbesserungsziele bestimmt und die individuelle Zielposition des zu betrachtenden Systems definiert. Als Hilfsmittel dient u.a. ein Katalog mit Verbesserungszielen im Kontext von CPS. Zunächst werden Handlungselemente des Reifegradmodells im Hinblick auf ihren Zielbeitrag untersucht. Es resultieren die relevantesten Handlungselemente, für die wiederum der Zielbeitrag der enthaltenen Leistungsstufen ermittelt wird. Die Leistungsstufen mit den größten Zielbeiträgen bilden Zielleistungsstufen für das zugrunde liegende System. Hieraus kann auch die Zielleistungsstufe auf Gesamtsystemebene abgeleitet werden [Wes17, S. 136ff.].

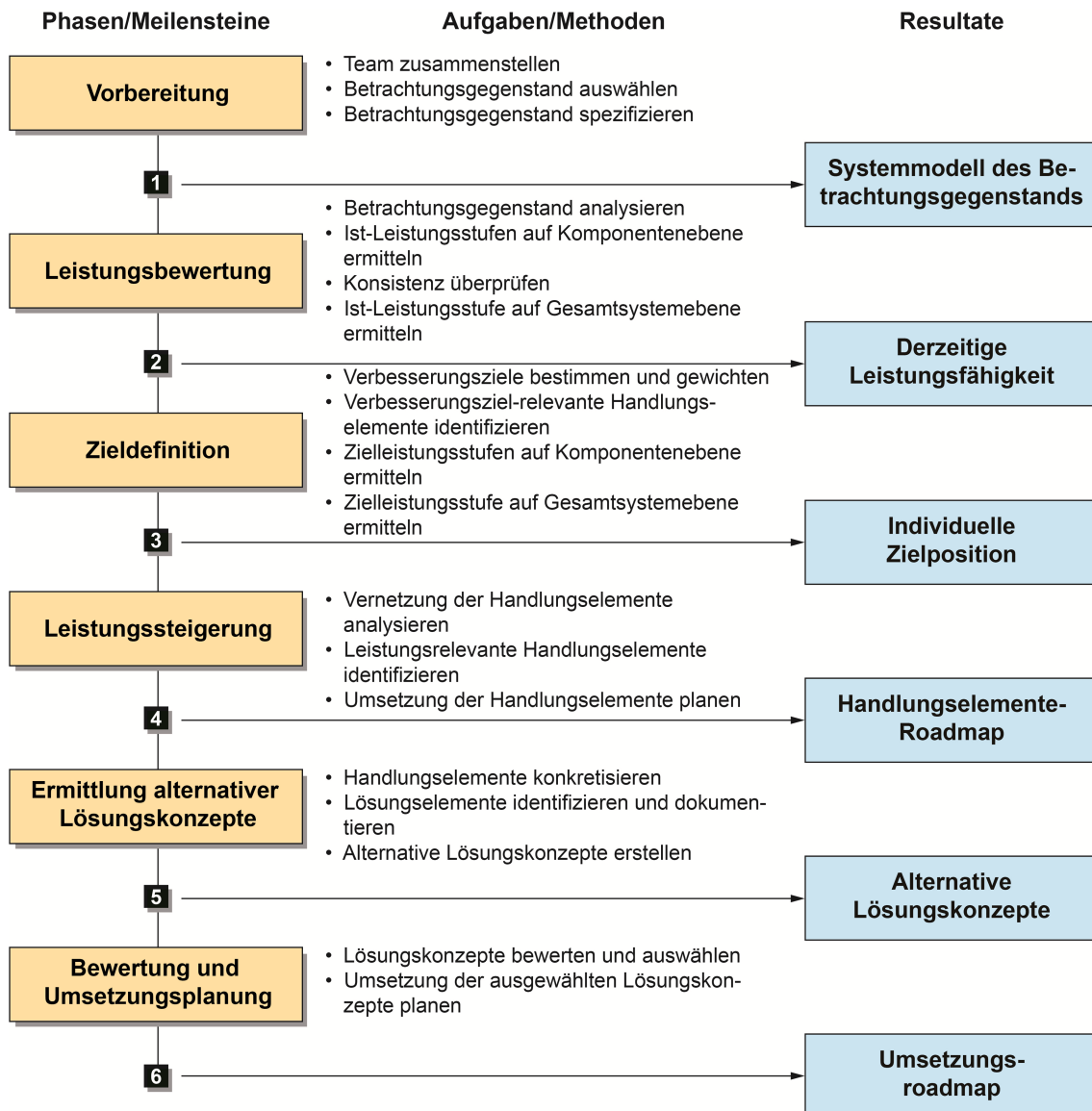


Bild 3-8: Vorgehensmodell zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems nach WESTERMANN [Wes17, S. 134]

Leistungssteigerung: Die vierte Phase verfolgt die inkrementelle und evolutionäre Leistungssteigerung. Hierzu wird zunächst die Umsetzungsreihenfolge der Handlungselemente definiert. Als Hilfsmittel dient eine Einflussanalyse zur Ermittlung der Vernetzung der Handlungselemente. Unter Berücksichtigung von Zielbeitrag und Vernetzungsgrad der Handlungselemente kann eine Priorisierung erfolgen. Es schließt sich eine grobe Umsetzungsplanung an, deren Ergebnis eine Handlungselemente-Roadmap ist [Wes17, S. 138f.].

Ermittlung alternativer Lösungskonzepte: Zunächst werden im Systemmodell CPS-Komponenten mit den leistungsrelevantesten Handlungselementen gekennzeichnet. Hierdurch wird deutlich, welche Komponenten zur Leistungssteigerung beitragen. Mit Hilfe eines morphologischen Kastens werden anschließend Lösungselemente auf Kompo-

tenebene identifiziert, die zu einer Leistungssteigerung beitragen können. Die identifizierten Lösungen werden in Steckbriefen dokumentiert und den Leistungsstufen zugeordnet. Ein Lösungselement kann gleichzeitig für mehrere Leistungsstufen gültig sein. Alternative Kombinationen von Lösungselementen können anschließend zu Varianten von Gesamtlösungen kombiniert werden. Für die Erfolg versprechenden Varianten werden Systemmodelle erzeugt. Resultat sind alternative Lösungskonzepte [Wes17, S. 139f.].

Bewertung und Umsetzungsplanung: Hier werden die alternativen Lösungskonzepte anhand technischer und wirtschaftlicher Kriterien bewertet und verglichen (z. B. mittels Nutzwertanalyse). Resultat ist ein Vorschlag für ein oder mehrere Lösungskonzepte. Anschließend wird die Umsetzungsroadmap als Konkretisierung der Handlungselemente-Roadmap erstellt. Darin werden auch Abhängigkeiten zwischen den Lösungselementen gekennzeichnet. Mit der Umsetzungsroadmap liegt ein konkreter Plan zur Leistungssteigerung des zu betrachtenden Systems vor [Wes17, S. 140].

Bewertung:

WESTERMANN liefert einen systematischen Ansatz zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von CPS mit Hilfe eines Reifegradmodells. Der Mehrwert besteht vor allem in der Berücksichtigung des Zielbeitrags zu den definierten Verbesserungszielen sowie in der Berücksichtigung der Vernetzung von Handlungselementen im Zuge der Leistungssteigerung. Hierdurch wird dem Umstand Rechnung getragen, dass trotz steigender Komplexität von CPS eine Leistungssteigerung auch perspektivisch vollumfänglich geplant und umgesetzt werden kann, ohne wesentliche Abhängigkeiten zu vernachlässigen. Die resultierende Umsetzungsroadmap stellt ein geeignetes Hilfsmittel dar, die Weiterentwicklung des zu Grunde liegenden Produkts systematisch zu planen. Der Ansatz liefert eine wesentliche Grundlage zur Umsetzung von Industrie 4.0, wenngleich technische Aspekte im Vordergrund stehen. Im Sinne der strategischen Produktplanung sollte allerdings vor der (Weiter-)Entwicklung eines cyber-physischen Systems geprüft werden, inwieweit neben der Geschäftsstrategie weitere geschäftsplanerische Aspekte (z. B. Geschäftsmodelle) in die Planungen einfließen müssen.

3.1.9 Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap nach PESSL ET AL.

PESSL ET AL. stellen ein aus mehreren Schritten bestehendes Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap bereit, das sich in drei übergeordnete Phasen gliedern lässt. Es adressiert neben den technischen Entwicklungsmöglichkeiten von Industrie 4.0 auch unternehmensstrategische, organisatorische und personelle Aspekte und kann daher zu den soziotechnischen Gestaltungsansätzen gezählt werden. Bild 3-9 zeigt das zugehörige Vorgehensmodell.

Analyse: Zu Beginn wird ein Bewusstsein für Industrie 4.0 im Unternehmen geschaffen. In einem Startworkshop werden dazu Inhalte, Konzepte und Technologien von Industrie 4.0 vorgestellt und Anwendungsfälle thematisiert. Zusätzlich werden auch der Umfang

des geplanten Industrie 4.0-Projekts und Verantwortlichkeiten definiert. Anschließend werden eine SWOT-Analyse sowie eine Umfeldanalyse durchgeführt, um Stärken und Schwächen (interne Sicht) sowie Chancen und Risiken (externe Sicht) zu ermitteln. Im nächsten Schritt werden die Kompetenzen des Unternehmens in Bezug auf Industrie 4.0 in verschiedenen Handlungsfeldern⁵¹ mit Hilfe eines Reifegradmodells ermittelt [PSM17, S. 196].

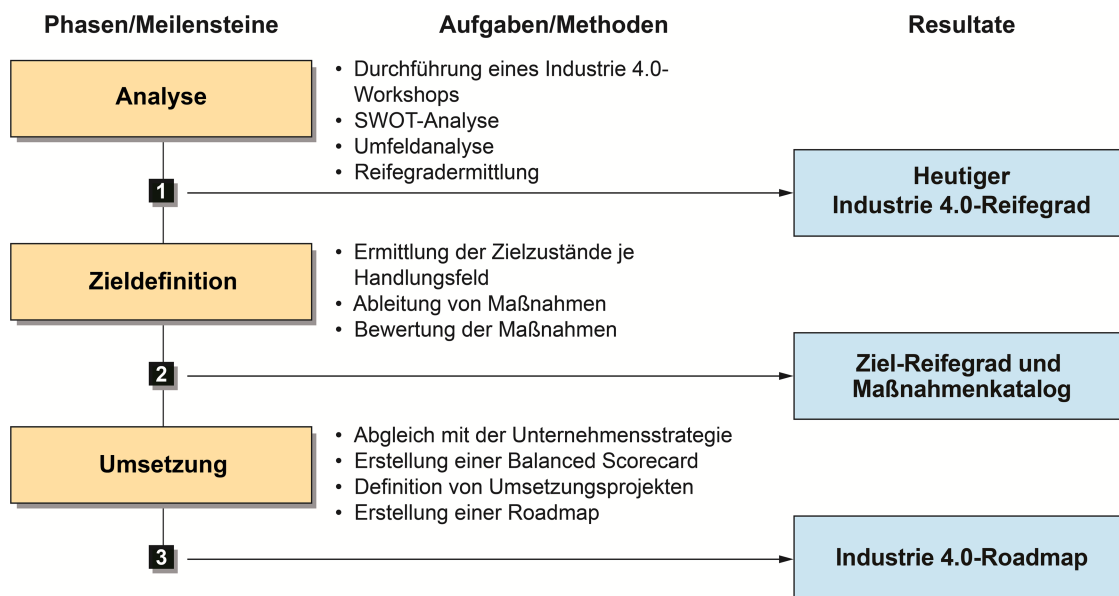


Bild 3-9: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap nach PESSL ET AL. [PSM17, S. 196f.]

Zieldefinition: In dieser Phase erfolgt die Definition des Zielzustandes je Handlungsfeld in Expertenworkshops. Daraufhin werden konkrete Maßnahmen abgeleitet, dokumentiert und in Bezug auf Aufwand und Nutzen bewertet. Hierdurch ergeben sich „Quick Wins“ – Maßnahmen mit geringem Aufwand und hohem Nutzen [PSM17, S. 196f.]

Umsetzung: In der Umsetzungsphase werden zunächst die Maßnahmen hinsichtlich Relevanz und Beitrag zur Unternehmensstrategie bewertet. Zusätzlich wird eine Balanced Scorecard für das Strategie-Controlling erstellt. Abschließend werden konkrete Umsetzungsprojekte definiert, mit Budgets versehen und in eine Roadmap überführt. Die Autoren empfehlen Pilotprojekte zur Sammlung von Erfahrungen, die wiederum in weitere Planungen und Umsetzungsmaßnahmen einfließen können [PSM17, S. 197].

Bewertung:

PESSL ET AL. präsentieren ein nachvollziehbares und schlüssiges Vorgehen zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap. Hervorzuheben sind das Schaffen eines gemeinsamen

⁵¹ Handlungsfelder sind Einkauf, Produktion, Intralogistik, Vertrieb und Personal. Für die Weiterentwicklung der Organisation im Bereich Personal stellen die Autoren ein eigenes Vorgehensmodell mit speziellen Entwicklungsbereichen bereit (vgl. [PSM17, S. 197f.]).

Mindsets zu Beginn sowie das Konzept zum Strategie-Controlling zum Ende des Vorgehensmodells. Einen Mehrwert liefert darüber hinaus die ausgiebige Betrachtung der Personalentwicklung mit eigenem Kompetenzmodell. Das methodische Vorgehen zur Ermittlung der heutigen und zukünftigen Reifegrade wird anhand mehrerer Beispiele deutlich. Die Betrachtung von Industrie 4.0 mittels mehrerer Handlungsfelder ermöglicht eine umfassende Beurteilung des zugrunde liegenden Unternehmens. Mit Hilfe eines Leistungsprofils werden die Ergebnisse übersichtlich dargestellt. Hieraus ergibt sich der unmittelbare Handlungsbedarf. Die Industrie 4.0-Roadmap als zentrales Ergebnis des Vorgehensmodells wird nicht dargestellt, weshalb die Tauglichkeit der Roadmap nicht bewertet werden kann. Ferner ist fraglich, ob die Analyse der Unternehmensstrategie nicht zu spät erfolgt. Wesentliche Weichen, wie die Industrie 4.0-Zielzustände, werden ohne Implikationen der Unternehmensstrategie gestellt. Dennoch liefert das Vorgehen unmittelbare Anregungen für die Entwicklung einer Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategie.

3.1.10 Entwicklung von Digitalisierungsstrategien nach LIPSMEIER

LIPSMEIER liefert eine Systematik zur Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie für Industrieunternehmen, die über drei wesentliche Bestandteile verfügt: einem Referenzmodell für Digitalisierungsstrategien, einem Vorgehensmodell zur Anwendung der Systematik sowie Hilfsmittel zur Strategieentwicklung. Das Referenzmodell veranschaulicht die erforderlichen Bestandteile einer Digitalisierungsstrategie sowie deren Wechselwirkungen. Das Vorgehensmodell beschreibt die durchzuführenden Aktivitäten in chronologischer Reihenfolge. Hilfsmittel sind den einzelnen Phasen des Vorgehensmodells zugeordnet und unterstützen die Erarbeitung der Strategieinhalte [Lip21, S. 99f.]. Das Vorgehen gliedert sich in neun Phasen und ist in Bild 3-10 dargestellt.

Analyse und Prognose: Zu Beginn des Vorgehens erfolgt die Positionierung der Digitalisierungsstrategie(n) in den Strategieebenen des zu Grunde liegenden Unternehmens. Als Hilfsmittel dient ein Entscheidungsbaum. Anschließend erfolgt die Analyse der Ausgangssituation. Hilfsmittel bilden u.a. Reifegradmodelle, Markt- und Wettbewerbsanalysen und Methoden der Vorausschau. Als Ergebnis liegen die Positionierung der Strategie sowie Stärken, Schwächen, Potentiale und Risiken im Kontext der Digitalisierung vor [Lip21, S. 155f.].

Entwicklung einer digitalen Vision(en): In dieser Phase erfolgen die Entwicklung des digitalen Leitbilds sowie die Entwicklung der digitalen Visionen für das Unternehmen und ggf. weitere Geschäftseinheiten. Hierzu zählt auch die qualitative Beschreibung der Digitalisierungsziele. Dadurch wird die grundsätzliche Stoßrichtung der digitalen Transformation konkretisiert. Als Hilfsmittel zur Erarbeitung der digitalen Visionen dient ein Kriterienkatalog. Die Erarbeitung des Leitbilds wird durch Stakeholder-basierte Nutzenkataloge unterstützt [Lip21, S. 156f.].

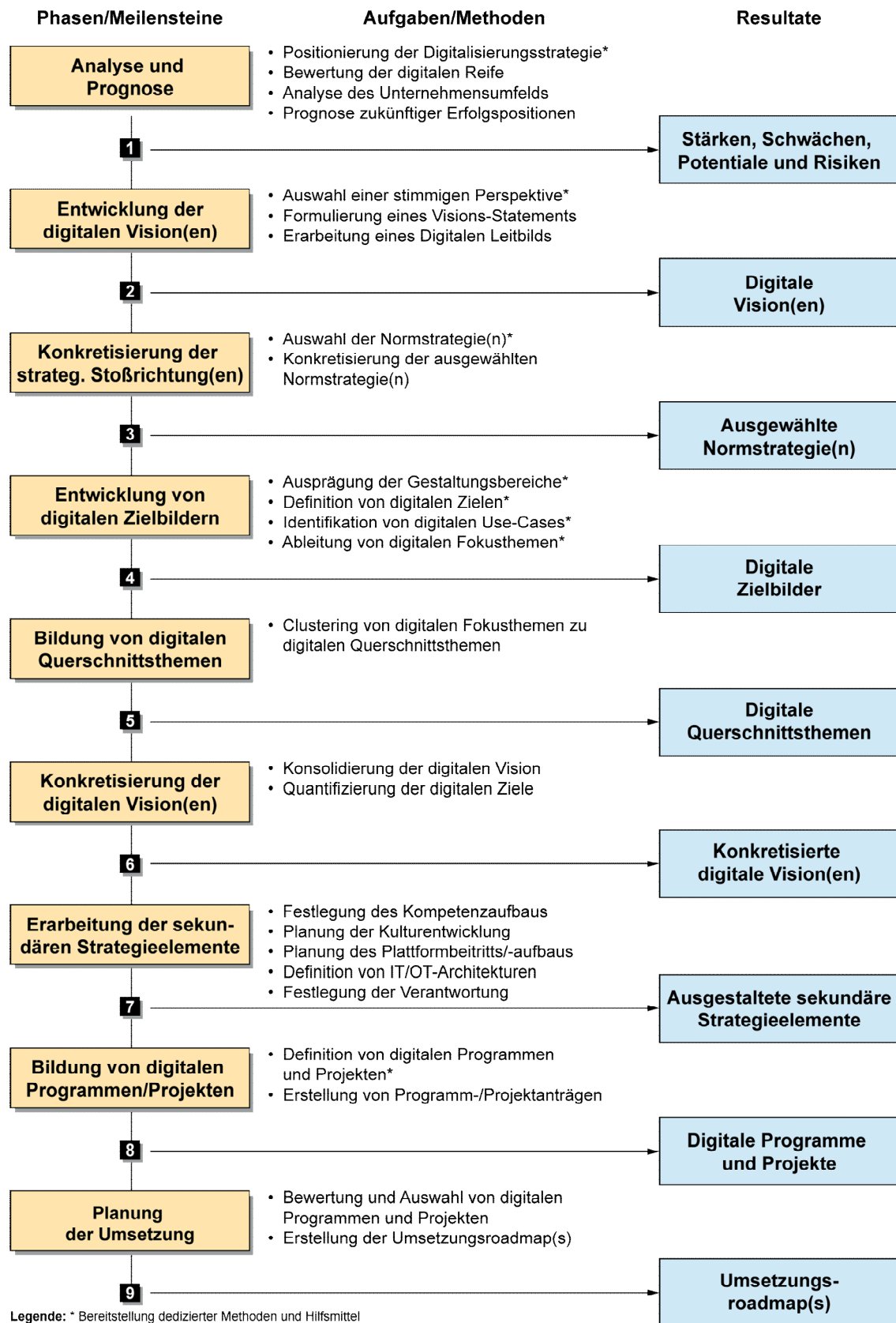


Bild 3-10: Vorgehensmodell zur Entwicklung von Digitalisierungsstrategien nach LIPS-MEIER [Lip21, S. 152]

Konkretisierung der strategischen Stoßrichtung(en): Auf Ebene der Geschäftseinheiten werden anschließend strategische Stoßrichtungen anhand vorgegebener Normstrategien definiert. Als Hilfsmittel zur Bewertung und Auswahl dient ein Portfolio. Bewertungskriterien sind die Attraktivität und Erreichbarkeit. Ergebnis ist eine ausgewählte Normstrategie zur digitalen Transformation. Im Anschluss erfolgt die individuelle Ausgestaltung der Normstrategien je Geschäftseinheit [Lip21, S. 157f.].

Entwicklung von digitalen Zielbildern: Mit Hilfe digitaler Zielbilder wird die Normstrategie in den Funktionsbereichen konkretisiert und einheitlich dokumentiert. Zielbilder sind eine Darstellung des Selbstverständnisses der Funktionsbereiche im Rahmen der Digitalisierung. Sie werden je nach ausgewählter Normstrategie u.a. mit Hilfe von digitalen Use-Cases konkretisiert. Ähnliche Use-Cases werden zu übergeordneten Themenclustern („digitale Fokusthemen“) zusammengefasst. Sie repräsentieren übergeordnete Handlungsfelder. Eine Methode zur Entwicklung der digitalen Zielbilder wird bereitgestellt [Lip21, S. 159].

Bildung von digitalen Querschnittsthemen: Auf Ebene der Geschäftseinheiten werden anhand der einzelnen Fokusthemen funktionsbereichsübergreifende Querschnittsthemen gebildet. Als Hilfsmittel dient eine Design Structure Matrix (DSM). Mit Hilfe von Querschnittsthemen können u.a. vorläufige Abschätzung von Kosten und Potentialen erfolgen, die mit der digitalen Transformation des Unternehmens einhergehen [Lip21, S. 159f.].

Konkretisierung der digitalen Vision(en): In dieser Phase erfolgt zunächst ein Abgleich, inwieweit die Fokus- bzw. Querschnittsthemenfelder sowie die formulierte digitale Vision harmonisieren und für das Unternehmen in einem annehmbaren Zeithorizont realisierbar sind. Ferner werden die bisher rein qualitativ beschriebenen Ziele konkretisiert und mit quantitativen Vorgaben angereichert. Hierdurch entstehen eine konsolidierte digitale Vision sowie konkrete, quantitative Ziele zur digitalen Transformation des Unternehmens [Lip21, S. 160].

Erarbeitung der sekundären Strategieelemente: Anhand der digitalen Zielbilder und den daraus abgeleiteten digitalen Querschnittsthemen werden die benötigten Voraussetzungen in den Sekundärbereichen des Unternehmens zur Realisierung der definierten Ziele geschaffen. Hierzu zählen beispielsweise die Etablierung einer digitalen Kultur, der Aufbau benötigter digitaler Kompetenzen, Vorgaben zur Veränderung der Wertschöpfungssysteme sowie die Anpassung von IT/OT-Architektur und Organisation [Lip21, S. 161ff.].

Bildung von digitalen Programmen/Projekten: Die digitalen Fokus- und Querschnittsthemen werden in dieser Phase in konkrete Anträge für digitale Programme bzw. Projekte überführt. Als Hilfsmittel wird ein Kriterienkatalog zur Kategorisierung der Initiativen verwendet. Ergebnisse sind Projektanträge zu digitalen Programmen und digitalen (Klein-)Projekten [Lip21, S. 163f.].

Planung der Umsetzung: Aus den Projektanträgen werden diejenigen ausgewählt, die auf der operativen Ebene der Geschäftseinheiten umgesetzt werden sollen. Im Fokus stehen Abhängigkeitsanalysen sowie eine Priorisierung und Definition der zeitlichen Abfolge der Initiativen unter Berücksichtigung vorhandener Ressourcen. Ergebnis ist eine Umsetzungsroadmap zur digitalen Transformation der Geschäftseinheiten [Lip21, S. 164f.].

Bewertung:

Der umfangreiche und sehr systematische Ansatz von LIPSMEIER führt zu einer Strategie, die das Thema Digitalisierung aus gesamtunternehmerischer Sicht und vielerlei Blickwinkeln beleuchtet. Ein Mehrwert entsteht durch die enge Verzahnung der Strategieebenen sowie die Umsetzung der Digitalisierung sowohl in Primär- als auch Sekundärbereichen. Durch die Betrachtung von Querschnittsthemen ist zudem sichergestellt, dass Synergiepotentiale der digitalen Unternehmenstransformation zwischen verschiedenen Geschäfts- und Funktionalbereichen bestmöglich gehoben werden können. Der Einsatz eines Reifegradmodells erfolgt zwar zur Analyse der Ausgangssituation, allerdings wird dies im weiteren Verlauf nicht unmittelbar als Hilfsmittel zur Entwicklung der Digitalisierungsstrategie herangezogen. Einen zusätzlichen Mehrwert würde die engere Verzahnung von Vorausschau und Entwicklung der digitalen Zielbilder liefern. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass Umfeldentwicklungen bestmöglich in den digitalen Zielbildern berücksichtigt sind und die digitale Transformation effektiv geplant ist.

3.2 Weitere Transformationsansätze für Industrie 4.0

Neben den Reifegrad-basierten Ansätzen zur digitalen Transformation von Unternehmen existieren weitere Ansätze, die Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 unterstützen. Diese werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

3.2.1 Umsetzungspfade mit Hilfe soziotechnischer Industrie 4.0-Muster nach HOBSCHEIDT ET AL.

Der soziotechnische Ansatz zur Ausarbeitung von Umsetzungspfaden für Industrie 4.0 von HOBSCHEIDT verfügt über zwei Bestandteile. Zum einen dienen identifizierte Best Practices (sog. Industrie 4.0-Umsetzungsmuster) als Wissensbasis für die Industrie 4.0-Umsetzung. Zum anderen wird ein Vorgehensmodell bereitgestellt, das die Anwendung der identifizierten Umsetzungsmuster sowie die Ableitung des unternehmensindividuellen Umsetzungspfads beschreibt. Das Vorgehensmodell zur Musteranwendung gliedert sich in vier Phasen (Bild 3-11).

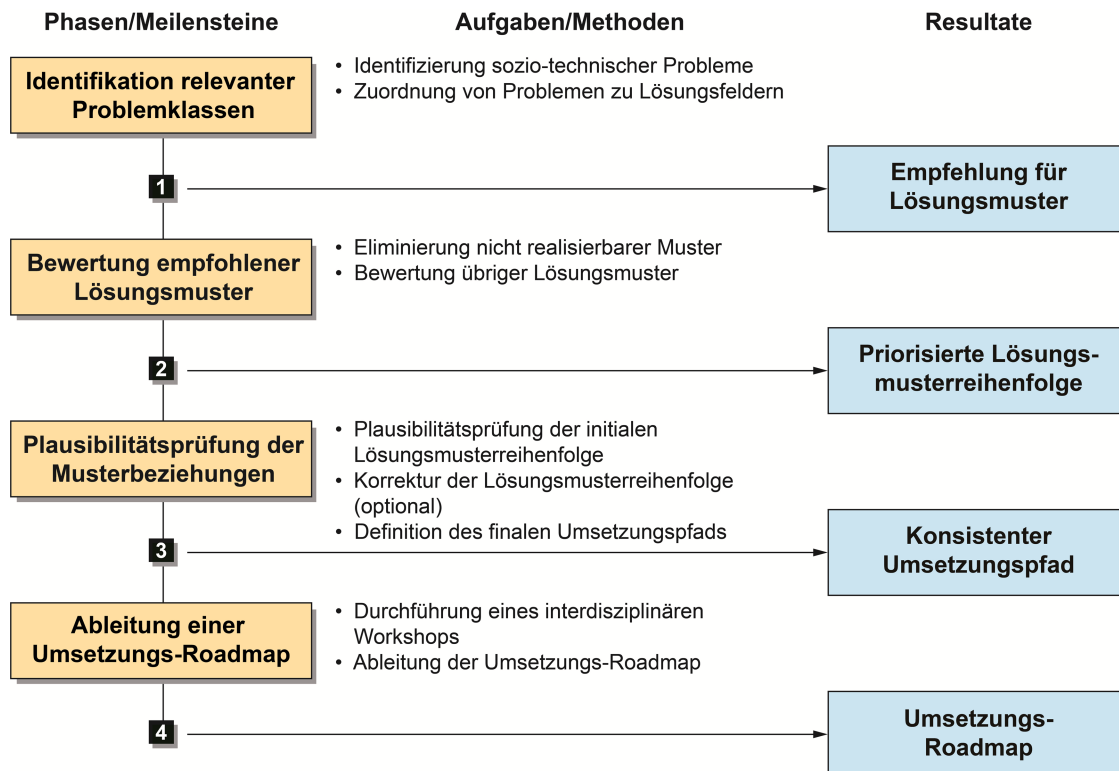


Bild 3-11: Vorgehensmodell zur Anwendung von Industrie 4.0-Umsetzungsmustern nach HOBSCHIEDT [HKD20, S. 835f.]

Identifikation relevanter Problemklassen: Den Ausgangspunkt bildet die Identifikation sozio-technischer Probleme. Sie werden zu Problemclustern zusammengefasst. Daraufhin erfolgt die Zuordnung von Problemclustern zu Lösungsfeldern. Mit Hilfe eines Fragebogens kann ausgehend von den Problemen eine Empfehlung für geeignete Lösungsmuster abgeleitet werden [HKD20, S. 835f.].

Bewertung empfohlener Lösungsmuster: Für die weitere Umsetzungsplanung wird aus dem Lösungsraum das attraktivste Lösungsmuster ausgewählt. Zu diesem Zweck werden die Mustervorlagen der priorisierten Lösungsfelder verwendet. Die Muster werden in einem zweistufigen Verfahren bewertet. Zunächst werden diejenigen Muster eliminiert, die aufgrund der im Unternehmen vorhandenen Bedingungen nicht realisierbar sind. Anschließend werden die realisierbaren Lösungsmuster mit Hilfe einer Nutzwertanalyse bewertet. Ergebnis ist eine priorisierte Umsetzungsreihenfolge für Muster [HKD20, S. 836].

Plausibilitätsprüfung der Musterbeziehungen: Das durch die Nutzwertanalyse generierte Ranking der Lösungsmuster bildet die Grundlage für die Entwicklung eines plausiblen Implementierungspfades. Hierzu werden die Muster unter Berücksichtigung ihrer Abhängigkeiten in einer möglichen Implementierungsreihenfolge angeordnet. Anschließend erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der Musterbeziehungen. Bei Bedarf müssen Muster in ihrer Reihenfolge verschoben werden. Ergebnis ist ein soziotechnischer und risiko-optimierter Implementierungspfad mit konkreten Umsetzungsphasen [HKD20, S. 836].

Ableitung einer Umsetzungs-Roadmap: Abschließend erfolgt die individuelle Konkretisierung der ausgewählten Muster. Ziel ist es, einzelne Maßnahmen für den zuvor definierten Implementierungspfad zu definieren. Zu diesem Zweck wird im Rahmen eines interdisziplinären Workshops eine sogenannte Umsetzungs-Roadmap entwickelt. Sie dient als transparentes Kommunikationsinstrument für das gesamte Unternehmen im Hinblick auf die Industrie 4.0-Ziele sowie als Grundlage für die Kapazitätsplanung möglicher zukünftiger Pilotprojekte [HKD20, S. 836]

Bewertung:

HOBSCHEIDT ET AL. liefern ein systematisches und leicht nachvollziehbares Vorgehen zur Entwicklung eines Industrie 4.0-Umsetzungspfades. Der Ansatz sticht durch seine fundierte Wissensbasis in Form etablierter Industrie 4.0-Umsetzungsmuster hervor. Sie ermöglichen es insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen, die teils unüberschaubaren Möglichkeiten von Industrie 4.0 zu verstehen, zu ordnen und für sich nutzbar zu machen. Zentrales Ergebnis ist eine Umsetzungs-Roadmap, die den Weg zur Industrie 4.0-Position in der Zukunft beschreibt. Die Adaption bzw. Integration in die zu entwickelnde Systematik gilt es daher zu prüfen.

3.2.2 Unternehmensspezifische Einführungsreihenfolgen für Industrie 4.0-Methoden nach LIEBRECHT ET AL.

LIEBRECHT ET AL. liefern ein Vorgehensmodell zur unternehmensspezifischen Einführung von Industrie 4.0 auf Basis sog. Industrie 4.0-Methoden⁵². Es bedient sich verschiedener Software-Tools zur Ableitung einer unternehmensspezifischen Einführungsstrategie. Im Zentrum steht ein Softwaremodell, das die Beziehungen und Abhängigkeiten der Methoden untereinander untersucht und die Einführungsreihenfolge durch Simulation ermittelt. Das Vorgehen besteht aus drei Phasen (Bild 3-12).

Eingrenzen der Methoden: In der ersten Phase erfolgt zunächst eine interne Unternehmensanalyse mit Hilfe der Business Model Canvas. Anschließend erfolgt eine externe Umfeldanalyse (Makroperspektive) mittels PESTEL-Analyse. Die Ergebnisse fließen in eine SWOT-Analyse ein. Anhand dieser werden Zielgrößen abgeleitet (z. B. Kosten), mit Hilfe derer ein Industrie 4.0-Methodenkatalog gefiltert wird. Für ausgewählte Methoden wird anschließend der sog. Implementierungsintensitäts-Gradient ermittelt. Er ist ein Maß für die Intensität, mit der eine Methode eingeführt werden soll [LBK+18, S. 22].

⁵² Unter einer Industrie 4.0-Methode verstehen die Autoren das „*planmäßige, systematische und durch Hilfsmittel unterstützte Vorgehen zur Erreichung eines Industrie 4.0-spezifischen Ziels durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien*“ [LBK+18, S. 21].

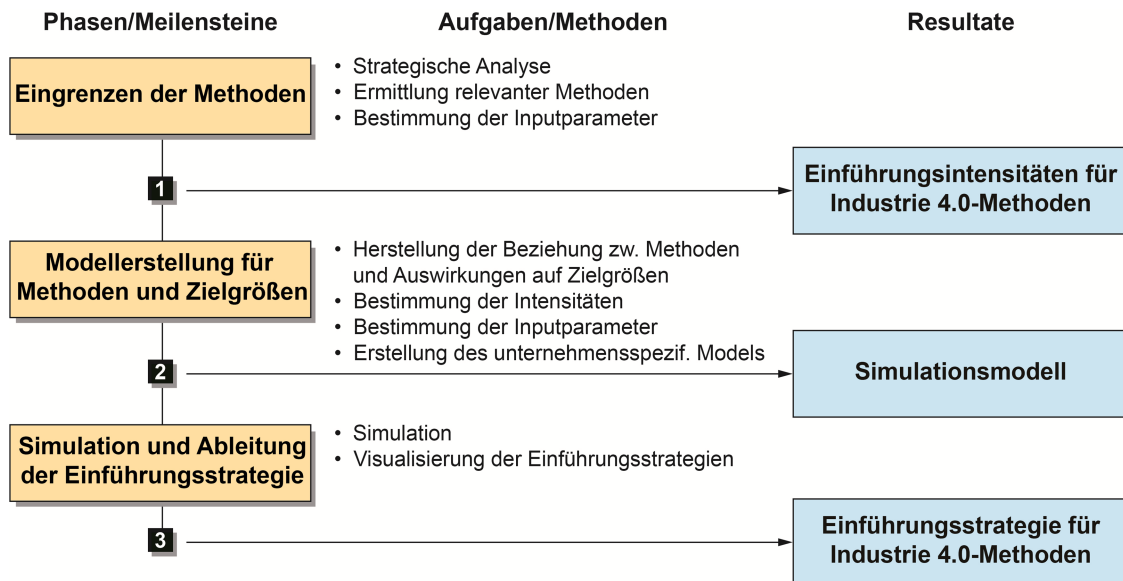


Bild 3-12: Vorgehensmodell zur Ermittlung unternehmensspezifischer Einführungsreihenfolgen für Industrie 4.0-Methoden nach LIEBRECHT ET AL. [LBK+18, S. 22]

Modellerstellung für Methoden und Zielgrößen: In der zweiten Phase erfolgt eine Modellbildung für Methoden und Zielgrößen mit Hilfe einer Software. Es wird untersucht, inwieweit sich Methoden gegenseitig unterstützen bzw. voraussetzen. Die Ergebnisse fließen als Input in das Vorgehensmodell bzw. die sich anschließende Simulation [LBK+18, S. 23].

Simulation und Ableitung der Einführungsstrategie: Abschließend wird das Modell in einer Software simuliert. Hierdurch ergibt sich eine unternehmensspezifische Einführungsreihenfolge für Industrie 4.0-Methoden. Die Simulationsergebnisse werden anschließend grafisch aufbereitet [LBK+18, S. 23].

Bewertung:

LIEBRECHT ET AL. liefern ein fundiertes und praxiserprobtes Vorgehen zur Entwicklung einer Einführungsstrategie für Industrie 4.0-Methoden. Der wesentliche Mehrwert besteht im systemgestützten Modellierungsansatz und der Simulation des Modells unter Berücksichtigung der Methoden-Wechselwirkungen sowie der Auswirkungen auf die Zielgrößen. Hierdurch hebt sich das Vorgehen von anderen Ansätzen ab. Als Ergebnis liegt eine Einführungsreihenfolge für Industrie 4.0-Methoden vor, die allerdings nur teilweise als Strategie im originären Sinne verstanden werden kann. Wesentliche Strategieelemente wie beispielsweise eine Vision existieren nicht. Insbesondere bei der Modellierung und Berücksichtigung der Wechselwirkungen kann der Ansatz dennoch wertvolle Impulse zur Leistungsstufen-basierten Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie liefern.

3.2.3 Entwicklung von Industrie 4.0-Einführungsstrategien nach MERZ

MERZ präsentiert ein Vorgehen zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Einführungsstrategie, das aus drei Phasen besteht (Bild 3-13) und die Einführung von Industrie 4.0 aus strategischer, taktischer und operativer Sicht beleuchtet. Das Vorgehen muss nicht gezwungenermaßen von Beginn an durchlaufen werden, sondern kann je nach Unternehmenssituation und Betrachtungsebene auch mit einem individuellen Einstiegspunkt gestartet werden.

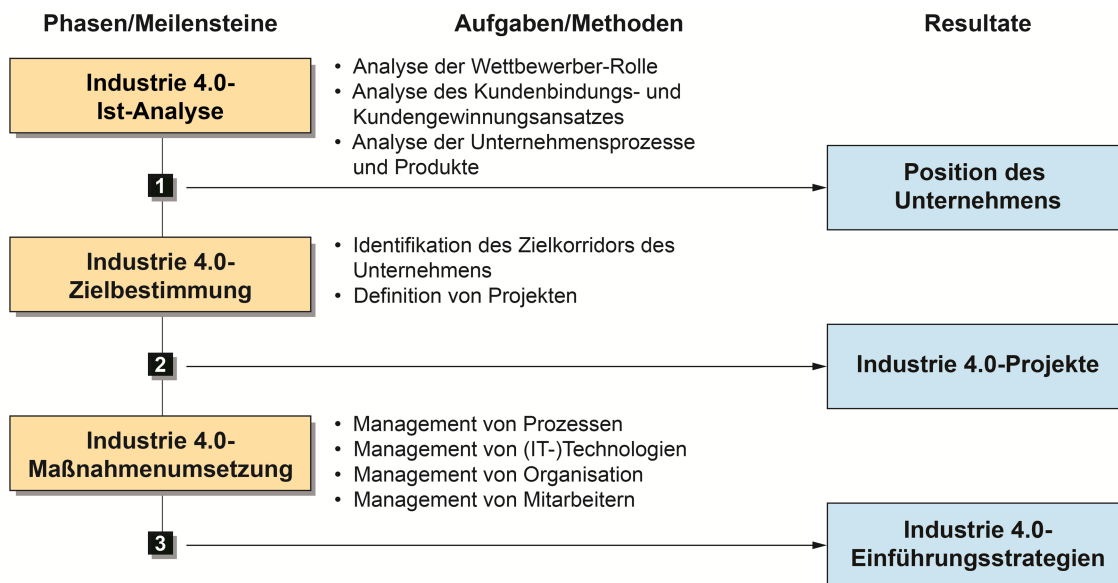


Bild 3-13: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Einführungsstrategie nach MERZ [Mer16, S. 96]

Industrie 4.0-Ist-Analyse (strategische Betrachtungsebene): Mit Hilfe einer 3C-Analyse wird zu Beginn die Positionierung des Unternehmens im Wettbewerb ermittelt. Hierfür erfolgt zunächst die Analyse der Wettbewerber-Rolle (*Competitor*). Daraufhin werden die Kundenbeziehungen analysiert (*Clients* bzw. *Customer*). Abschließend werden Unternehmensprozesse und Produkte beleuchtet (*Company*). Als Hilfsmittel und Dokumentationsschema dienen Ergebnistabellen. Resultate sind die aktuelle Positionierung des Unternehmens in Bezug auf Industrie 4.0-Technologien und -Ansätze sowie der Anpassungsbedarf der Geschäftsstrategie [Mer16, S. 97ff.].

Industrie 4.0-Zielbestimmung (taktische Betrachtungsebene): In der zweiten Phase erfolgt die Ermittlung einer strategischen Stoßrichtung. Ausgehend von der Ist-Position wird mit Hilfe eines Portfolios definiert, welcher Zielkorridor angestrebt und welches Entwicklungsszenario verfolgt werden soll. Nach der Zielbestimmung werden konkrete Konsequenzen und Maßnahmen definiert und in Projekten gebündelt. Sie bilden den Übergang von der taktischen zur operativen Ebene und stellen das Erreichen der Ziele sicher [Mer16, S. 101ff.].

Industrie 4.0-Maßnahmenumsetzung (operative Betrachtungsebene): Gegenstand von Phase 3 ist die Umsetzung und Operationalisierung der Strategie. Das Vorgehen erstreckt sich über eine übergeordnete und vier konkrete Ebenen: Management von Projekten (übergeordnet), Management von Prozessen, Management von (IT-)Technologien, Management von Organisationen und Management von Mitarbeitern. Für jede Betrachtungsebene werden deren Bearbeitungsmöglichkeiten jeweils kurz skizziert. Auf Prozessebene ist außerdem ein Strategie-Controlling vorgesehen. [Mer16, S. 104ff.].

Bewertung:

MERZ liefert einen systematischen Ansatz zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Einführungsstrategie. Das Vorgehen ist größtenteils nachvollziehbar und die Tauglichkeit wird anhand eines Praxisbeispiels untermauert. Zentrale Bestandteile sind eine 3C-Analyse sowie ein Portfolio zur Industrie 4.0-Zielbestimmung. Die bereitgestellten Entwicklungsszenarien geben eine gewisse Orientierung. Woraus die Entwicklungsszenarien abgeleitet werden und auf welchen Erkenntnissen diese beruhen, wird nicht näher beschrieben. Nicht vollständig klar wird die Unterteilung in die strategische, taktische und operative Betrachtungsebene – zumal sich auf taktischer Ebene strategische Entwicklungsszenarien ergeben.

3.3 Ansätze zur Reifegrad-basierten Leistungssteigerung

Dieser Abschnitt beinhaltet Ansätze zur Leistungssteigerung in Unternehmen mit Hilfe von Reifegradmodellen, die im Gegensatz zu Abschnitt 3.1 nicht die Themen Digitalisierung/Industrie 4.0 zum Gegenstand haben. Der Fokus liegt auf Ansätzen, die das Reifegradmodell in ein Vorgehen einbetten und damit Unternehmen bei der Anwendung des Reifegradmodells im Zuge der Leistungssteigerung unterstützen.

3.3.1 Reifegrad-basierte Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand nach BENSIEK

BENSIEK stellt eine Systematik zur effizienten Entwicklung und Anwendung von Reifegradmodelle vor, die den Mittelstand bei der Aufdeckung und Erschließung von Verbesserungspotentialen in Geschäftsprozessen unterstützt. Sie verfügt über zwei Bestandteile: Ein Vorgehensmodell zur Entwicklung mittelstandsgerechter Reifegradmodelle sowie ein Vorgehensmodell zur Anwendung eines Reifegradmodells im Rahmen der Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen. Letzteres steht im Fokus der weiteren Betrachtung. Es verfügt über vier Phasen, die in Bild 3-14 dargestellt sind.

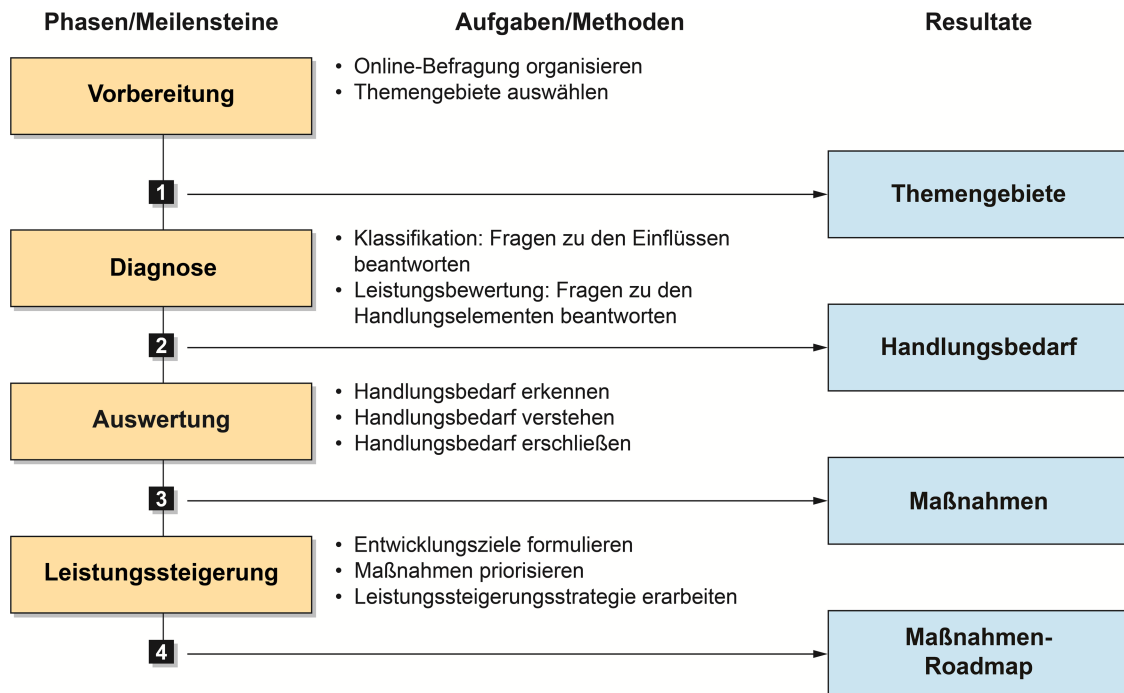


Bild 3-14: Vorgehensmodell zur Anwendung mittelstandsgerechter Reifegradmodelle nach BENSIEK [Ben13, S. 102]

Vorbereitung: Die Vorbereitung beginnt mit der Zusammenstellung eines geeigneten Projektteams inklusive eines Moderators für die Workshop-basierte Anwendung des Reifegradmodells. Darüber hinaus werden aus vorgegebenen Themengebieten diejenigen definiert, die in die Gruppendiskussionen einfließen sollen [Ben13, S. 103].

Diagnose: Im Rahmen der Diagnose erfolgt die Reifegradermittlung. Sie gliedert sich in die Bereiche Klassifikation und Leistungsbewertung. Bei der Klassifikation werden Fragen zu Einflüssen auf das Unternehmen beantwortet. Hieraus können Ziel-Leistungsstufen sowie ein Ziel-Reifegrad abgeleitet werden. Außerdem werden die Informationen zum Vergleich mit anderen Unternehmen herangezogen. Während der Leistungsbewertung werden Fragen zu den Handlungselementen der gewählten Themengebiete gestellt und beantwortet. Sie decken Handlungsbedarf auf [Ben13, S. 103f.].

Auswertung: In der Auswertung erfolgt die Feststellung der Diskrepanz zwischen aktuellem und Ziel-Reifegrad. Als Hilfsmittel wird das sog. EVE-Konzept (Erkennen – Verstehen – Erschließen) angeführt. Die Phase schließt mit der Definition unternehmensindividueller Maßnahmen zur Leistungssteigerung ab [Ben13, S. 104ff.].

Leistungssteigerung: Diese Phase dient der Formulierung der Leistungssteigerungsstrategie. Hierzu werden Entwicklungsziele definiert, Maßnahmen priorisiert und in einer Roadmap aggregiert. Zur Definition der Entwicklungsziele dient ein Katalog. Die Maßnahmen werden mit Hilfe eines Aufwand-Nutzen-Portfolios unter Berücksichtigung der

Entwicklungsziele priorisiert. Abschließend wird die Umsetzungsreihenfolge der Maßnahmen ermittelt und in einer Roadmap zur zeitlichen Planung der Maßnahmenumsetzung abgebildet [Ben13, S. 107ff.].

Bewertung:

Die Systematik von BENSIEK zeichnet sich durch eine große Nachvollziehbarkeit und Praxistauglichkeit aus. Das Vorgehen hebt sich insbesondere durch die Berücksichtigung von Einflüssen bei der Zieldefinition sowie durch die Einbindung eines Vergleichs mit anderen Unternehmen ab. Hierdurch entsteht ein Mehrwert gegenüber den weiteren in Abschnitt 3 betrachteten Ansätzen zur Leistungssteigerung, wie beispielsweise der PDCA-Systematik von DEMING. Mit Hilfe von klaren Berechnungsvorschriften wird der Anwender bei der Berechnung von heutigen sowie zukünftig anzustrebenden Reifegraden angeleitet. Die Erstellung einer Maßnahmen-Roadmap unter Berücksichtigung zuvor definierter Entwicklungsziele stellt sicher, dass die Leistungssteigerung systematisch geplant wird. Ein Controlling-Konzept, das den Erfolg der entwickelten Leistungssteigerungsstrategie überwacht, wird nicht explizit beschrieben. Eine iterative Anwendung des Vorgehens zur Überwachung der Umsetzung der Roadmap wird hingegen empfohlen. Eine Unterstützung zur Auswahl eines geeigneten Reifegradmodells ist nicht Gegenstand der Systematik. Außerdem werden keine Methoden der strategischen Vorausschau zur Zielermittlung eingesetzt. Es gilt daher genau zu prüfen, inwieweit Elemente des Ansatzes Erfolg versprechend zur Industrie 4.0-Strategieentwicklung adaptiert werden können.

3.3.2 Entwicklung Reifegrad-basierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle nach CHRISTIANSEN

CHRISTIANSEN stellt ein Vorgehen zur Klassifizierung und Entwicklung von Reifegrad-basierten Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodellen vor. Es dient dazu, neue Reifegradmodelle zu entwerfen, die auf den Untersuchungsgegenstand und die Anforderungen von Unternehmen zugeschnitten sind. Es umfasst fünf Phasen, die im Vorgehensmodell in Bild 3-15 dargestellt sind.

Analyse des Einsatzbereichs: Gegenstand ist die Einordnung des zu entwickelnden Modells in zuvor entwickelte Modellklassen (vgl. Abschnitt 2.5.2). Kriterien sind z. B. der Einsatzbereich des Modells oder unternehmensstrategische Entscheidungen. Mit Hilfe eines bereitgestellten Analyseschemas lässt sich das zu entwickelnde Modell einer eindeutigen Klasse zuordnen. Die gewählte Modellklasse definiert alle weiteren zur Entwicklung des Modells benötigten Strukturelemente [Chr09, S. 114].

Bestimmung der Handlungsfelder: Jede Modellklasse beinhaltet Handlungsfelder, die zunächst ausgeprägt werden müssen [Chr09, S. 114]. Sie kategorisieren den Untersuchungsbereich nach übergeordneten Kriterien (z. B. Mensch, Technik, Organisation) und

stellen eine vollumfängliche Betrachtung sicher [Chr09, S. 39]. Die für den Einsatzbereich definierten Handlungsfelder werden anschließend in Bezug auf ihre Abhängigkeiten analysiert [Chr09, S. 114].

Definition der Strukturelemente: Mit Hilfe eines Integrationsschemas werden anschließend Strukturelemente für die ausgewählte Modellklasse definiert. Ausgehend von den Handlungsfeldern erfolgen die Ableitung von Handlungselementen und Definition von Leistungsstufen sowie die Konzeption des Reifegradsystems und die Erarbeitung von Maßnahmen zur Leistungssteigerung [Chr09, S. 114].

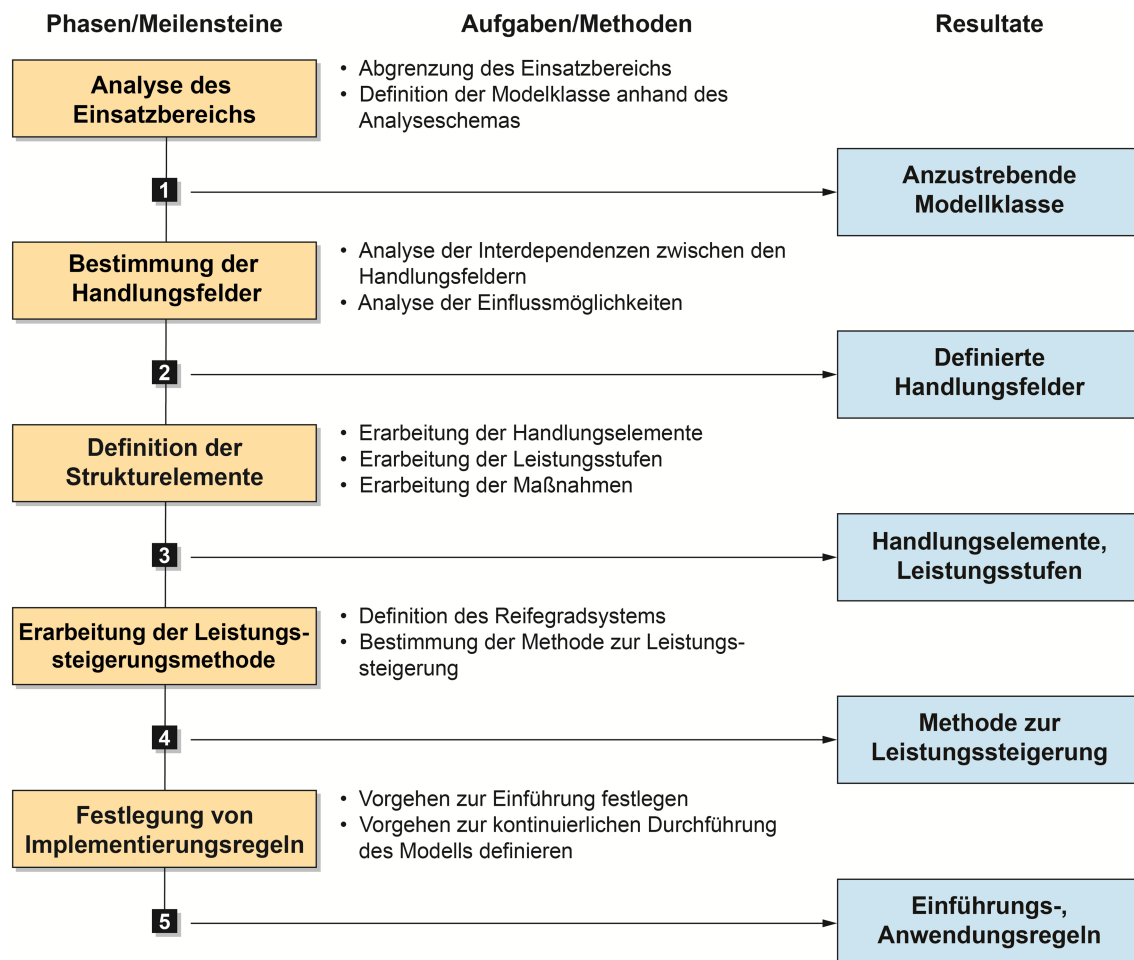


Bild 3-15: Vorgehensmodell zur Entwicklung Reifegrad-basierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle nach CHRISTIANSEN [Chr09, S. 113]

Erarbeitung der Leistungssteigerungsmethode: In dieser Phase wird zunächst die Methode ausgewählt, die zur Leistungssteigerung herangezogen werden soll. Anschließend erfolgen die Festlegung der Ziele zur Leistungssteigerung sowie die Erarbeitung und die Definition der Leistungssteigerungsstrategie auf Basis des Reifegradsystems [Chr09, S. 115].

Festlegung von Implementierungsregeln: Jede Modellklasse verfügt über eigene Vorgehensweisen zur Durchführung. Für das zugrunde liegende Modell werden daher Implementierungsregeln festgelegt. Darüber hinaus erfolgt eine Überprüfung, ob das Modell den aus Phase 1 definierten Anforderungen gerecht wird [Chr09, S. 115].

Bewertung:

CHRISTIANSEN liefert ein sehr umfangreiches Vorgehen zur Entwicklung von Reifegradbasierten Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodellen, das sich auf vielerlei Anwendungsfälle übertragen lässt. Neben des bereitgestellten Vorgehensmodells werden zahlreiche Methoden und Hilfsmittel bereitgestellt, die bei der Ausgestaltung der einzelnen Phasen unterstützen. Ein besonderer Fokus wird auf die Individualisierbarkeit für Anwender gelegt, sodass die maßgeschneiderte Planung und Durchführung der Leistungssteigerung sichergestellt werden. Einen wesentlichen Mehrwert liefert hierfür die bereitgestellte Wissensbasis in Form von Reifegradmodellklassen. Ausgehend von diesen Modellklassen wird der Anwender bei der Erarbeitung seiner individuellen Leistungssteigerungsmethode systematisch angeleitet. Hierdurch wird insbesondere die Anwendung in kleinen und mittleren Unternehmen erheblich unterstützt.

3.3.3 VPS-Benchmark nach GAUSEMEIER ET AL.

Beim VPS-Benchmark handelt es sich um ein Verfahren zur Erkennung und Erschließung der Nutzenpotentiale von Virtual Prototyping und Simulation (VPS) im Produktentstehungsprozess kleiner und mittlerer Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus [GP14, S. 327]. Unter Nutzung von Vergleichsdaten in einer Datenbank können die eigenen Bewertungsergebnisse mit dem Leistungsstand ähnlicher Unternehmen verglichen werden. Der VPS-Benchmark gliedert sich in drei Pfade (Bild 3-16).

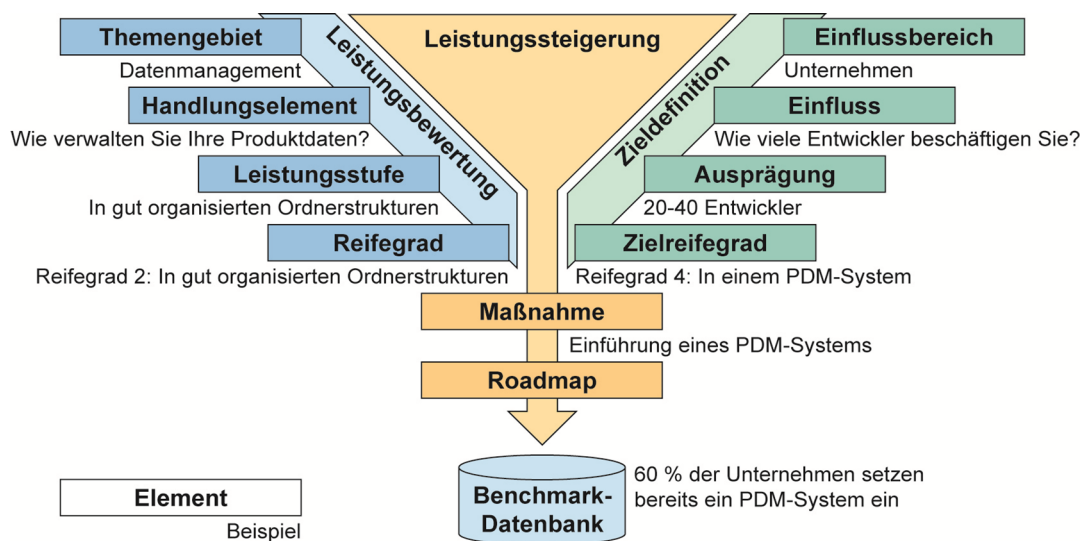


Bild 3-16: Struktur des VPS-Benchmark mit den drei Pfaden Leistungsbewertung, Zieldefinition und Leistungssteigerung nach GAUSEMEIER ET AL. [GBK+12, S. 45] [GP14, S. 329]

Leistungsbewertung: In strukturierten Interviews zu den Themengebieten Entwicklungsmanagement, Konstruktion, Datenmanagement, Weiterverwendung und Produktanalysen erfolgt eine Leistungsbewertung. Als Hilfsmittel existiert ein Reifegradmodell bestehend aus Leitfragen und vorgegebenen Antworten je Themengebiet, die den Leistungsstand eines Unternehmens widerspiegeln [GBK+12, S. 45f.], [GP14, S. 327ff.].

Zieldefinition: Anschließend werden unternehmensadäquate Zielleistungstufen ermittelt. Hierzu werden Einflüsse untersucht, die auf das Unternehmen wirken. Ausgehend von diesen Einflüssen können konkrete Ziel-Leistungstufen ermittelt werden. Sie werden in einen Zielreifegrad überführt [GBK+12, S. 46ff.], [Ben13, S. 81f.], [GP14, S. 329]

Leistungssteigerung: Die Größe der Unterschiede zwischen aktuellem Reifegrad und Ziel-Reifegrad ist ein Maß für den Handlungsbedarf, der sich ergibt. Hieraus werden konkrete Maßnahmen zur Leistungssteigerung abgeleitet. Sie werden in einer Roadmap zusammengefasst (sog. Leistungssteigerungsstrategie). Die ermittelten Daten und Ergebnisse werden in einer Datenbank zu Vergleichszwecken mit anderen Unternehmen gespeichert [Ben13, S. 82], [GP14, S. 328ff.].

Bewertung:

GAUSEMEIER ET AL. liefern ein intuitives Vorgehen zur Leistungssteigerung von kleinen und mittleren Unternehmen. Erhebliche Mehrwerte liefern die Berücksichtigung äußerer Einflüsse und Auswirkungen bei der Zieldefinition sowie die Benchmark-Datenbank zur besseren Einordnung der eigenen Leistungsfähigkeit im globalen Umfeld. Die rechnergestützte Auswertung berücksichtigt außerdem verschiedene Interdependenzen von Themengebieten, Handlungselementen und Einflüssen des verwendeten Reifegradmodells. Hierdurch wird sichergestellt, dass eine systematische Auswertung auch bei komplexen Zusammenhängen gewährleistet ist. Der VPS-Benchmark liefert somit wertvolle methodische Ansatzpunkte, die auch bei der Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien Anwendung finden können.

3.4 Weitere Ansätze zur Leistungssteigerung von Unternehmen

In diesem Abschnitt werden weitere etablierte Ansätze vorgestellt, die zur Leistungssteigerung in Unternehmen herangezogen werden können, sich aber nicht in die vorherigen Abschnitte einordnen lassen.

3.4.1 PDCA-Systematik nach DEMING

Die PDCA-Systematik stellt eine Weiterentwicklung des dreistufigen Shewart-Zyklus⁵³ von Edward Deming⁵³ dar, der sich der kontinuierlichen Verbesserung von Geschäftspro-

⁵³ Daher wird die PDCA-Systematik auch häufig Deming-Kreis genannt [Dem86, S. 88].

zessen (KVP bzw. KAIZEN) widmet [Dem86, S. 88]. Die Systematik umfasst vier Phasen, die iterativ durchlaufen werden und daher in Form eines Kreises dargestellt sind (Bild 3-17).

Plan: Der Zyklus startet mit der Idee zur Verbesserung eines Produktes oder Verfahrens. Sie bildet den Auslöser für einen Verbesserungsprozess. Im Mittelpunkt des Verbesserungsprozesses stehen die Mitarbeiter bzw. das betroffene Team. Sie definieren Ziele und die Vorgehensweise zur Überprüfung bzw. Veränderung der zugrunde liegenden Prozesse [Dem86, S. 86ff.], [Dem00, S. 131f.].

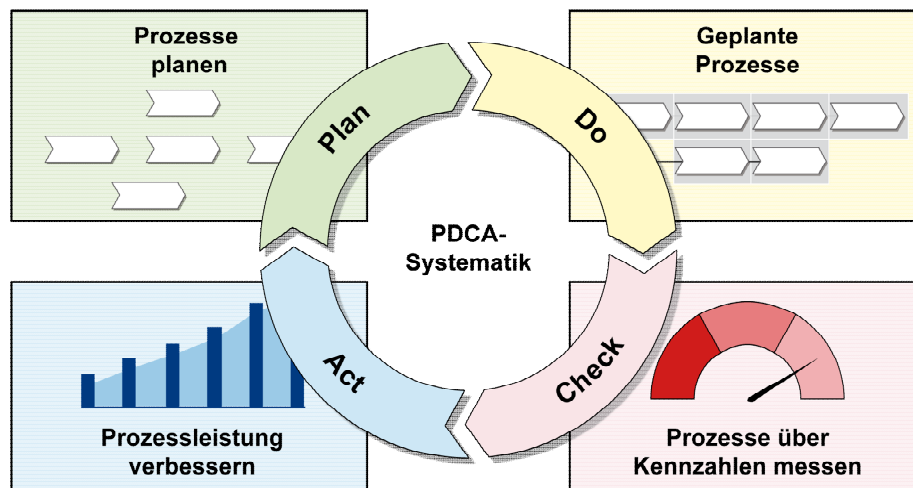


Bild 3-17: PDCA-Systematik nach DEMING [Dem00, S. 132]; Darstellung nach [GP14, S. 304]

Do: Gemäß des Planungsentwurfs werden möglichst kleine und einfache Tests, Experimente und Vergleiche durchgeführt und dadurch ausprobiert, inwieweit die Planungen zielführend sind bzw. optimiert werden müssen [Dem86, S. 88], [Dem00, S. 133].

Check: Mit Hilfe von Kennzahlen wird die Wirksamkeit der Prozessverbesserungen gemessen. Entsprechen die Leistungen nicht den Erwartungen, muss gegengesteuert werden oder der Planungsprozess gänzlich überarbeitet werden [Dem86, S. 88], [Dem00, S. 133]

Act: Abschließend wird auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse reagiert. Die Bandbreite erstreckt sich von der Etablierung der Veränderungen, einer leichten Gegensteuerung zu Optimierungszwecken, Abbruch der Maßnahmen oder neues Durchlaufen des Zyklus unter anderen Rahmenbedingungen, anderen Materialien, Mitarbeitern, Regeln o.ä. [Dem86, S. 88], [Dem00].

Bewertung:

Bei der PDCA-Systematik handelt es sich um einen sehr generischen, aber leichtverständlichen Ansatz zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Unternehmen. Es handelt sich eher um ein Konzept, das eine gezielte Denkhaltung (kontinuierliche Verbesserung) etablieren soll, als um eine Systematik, die eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Prozessver-

besserung liefert. Im Sinne dieser Denkschule ordnet sie sich auch in die Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0 ein und liefert Impulse in Bezug auf die iterative Vorgehensweise und die regelmäßige Prüfung und Messung der Wirksamkeit von Maßnahmen im Rahmen der Industrie 4.0-Strategieentwicklung.

3.4.2 Business Process Reengineering (BPR) nach GAUSEMEIER ET AL.

GAUSEMEIER ET AL. stellen einen spezifischen Ansatz des Business Process Reengineerings – das sog. evolutionäre Reengineering – bestehend aus sieben Phasen vor (Bild 3-18). Er spiegelt das Vorgehen während eines Reorganisationsprojekts wider und stellt einen Kompromiss zwischen dem ganzheitlichen und radikalen Ansatz des BPR sowie dem lokal fokussierten, schrittweisen und kontinuierlichen Verbesserungsprozess (Kaizen, KVP) dar (vgl. [GP14, S. 240f.]).

Definition: Gegenstand der Phase ist die strategiekonforme Festlegung der Ziele, die mit der Prozessverbesserung einhergehen sollen. Außerdem werden die Kräfte auf relevante Prozesse und Themen fokussiert, sodass ein hoher Zielerreichungsbeitrag erreicht wird und eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit besteht. Anschließend wird die Prozessreife mittels Reifegradmodell bestimmt. Abschließend wird der Projektauftrag abgeleitet [GP14, S. 272ff.].

Vorbereitung: Zunächst erfolgt die Beschaffung von Basisinformationen wie z. B. Organigramm, bereits dokumentierte Prozesse, Richtlinien, Systematiken der Leistungserstellung etc. Anschließend werden Anspruchsgruppen (Stakeholder) ermittelt, um eine Einschätzung über Veränderungserkenntnis, -bereitschaft und -fähigkeit zu erhalten. Daraufhin wird die Vorgehensweise für das BPR-Projekt, insbesondere für die Phasen Ist-Aufnahme und Ist-Analyse, erarbeitet. Abschließend erfolgt eine Leistungsbeschreibung mit Arbeitspaketen, den jeweiligen Ergebnissen, der Arbeitsorganisation sowie einer Zeit- und Kostenplanung [GP14, S. 283ff.].

Ist-Aufnahme: Zu Beginn werden die operativen Prozessziele aufgenommen und priorisiert. Im nächsten Schritt werden zunächst die Aufbauorganisation verifiziert und daraufhin ein Prozessmodell erstellt, das die etablierte Ablauforganisation, Verbesserungsmaßnahmen und ggf. Sofortmaßnahmen enthält [GP14, S. 285ff.].

Ist-Analyse: Hierbei handelt es sich um die konsequente Fortführung der Ist-Aufnahme, wobei diese beiden Phasen nicht strikt getrennt werden können. Im Fokus steht die Vervollständigung und Dokumentation von Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten. Hierzu wird der Personalbedarf und Ressourceneinsatz ermittelt, SWOT- sowie Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) durchgeführt und Ursache-Wirkungsketten untersucht. Hieraus ergeben sich Handlungsfelder [GP14, S. 289ff.].

Soll-Konzeptionierung: Gegenstand ist die Erarbeitung der neuen Ablauforganisation. Hierzu sind zunächst Prozessziele einschließlich Kennzahlen (KPI) zu deren Messung zu

definieren. Anschließend wird die Soll-Ablauforganisation spezifiziert und deren Realisierung geplant. Hiermit kann auch die Anpassung der Aufbauorganisation einhergehen. Abschließend erfolgen der Nachweis der Wirtschaftlichkeit sowie die Aufstellung eines Realisierungsplans. Das Ergebnis ist ein Modell der Soll-Ablauforganisation [GP14, S. 299ff.].

Pilotierung: Bei der Pilotierung erfolgt die Umsetzung und Erprobung der Soll-Ablauforganisation in der Praxis. Hierzu zählt auch die Qualifizierung der Mitarbeiter für die neuen Prozesse. Abschließend erfolgt die Roll-out-Planung. Ergebnis ist eine erprobte Ablauforganisation [GP14, S. 309ff.].

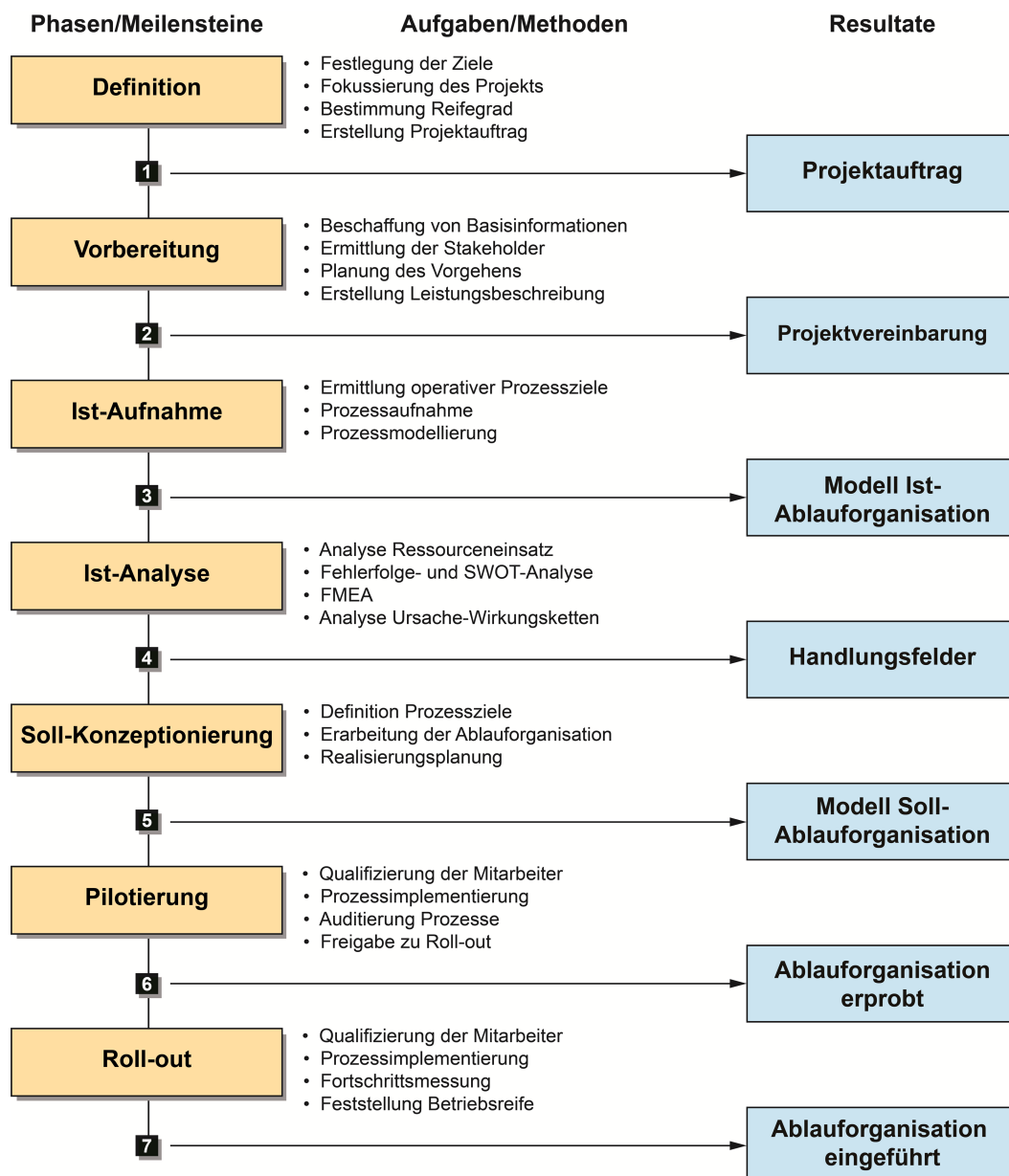


Bild 3-18: Vorgehensmodell beim Business Process Reengineering (Ansatz evolutionäres Reengineering) nach GAUSEMEIER ET AL. [GP14, S. 273]

Roll-out: Das Roll-out beinhaltet die gleichzeitige und flächendeckende Einführung der Soll-Ablauforganisation in allen Unternehmensbereichen. Hierfür können auch zusätzliche Ressourcen und Systeme erforderlich sein. Im Gegensatz zur Pilotierung geht es beim Roll-out vor allem darum, produktiv und effizient zu werden. Daher erfolgen auch die kontinuierliche Fortschrittsmessung sowie ein umfassendes Reifegradmanagement. Ergebnis ist die vollumfänglich eingeführte neue Ablauforganisation [GP14, S. 313ff.].

Bewertung:

GAUSEMEIER ET AL. liefern einen sehr umfangreichen und ausführlichen Ansatz für ein evolutionäres Reengineering von Geschäftsprozessen. Neben einem stringenten Vorgehen werden zahlreiche Methoden und Werkzeuge bereitgestellt, die das erfolgreiche Reengineering unterstützen. Anhand ausführlich beschriebener Beispiele ist eine Nachvollziehbarkeit gewährleistet. Anknüpfungspunkte zur Leistungsstufen-basierten Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien bieten die umfangreiche Analyse des Ist-Zustandes, die systematische Planung der Soll-Organisation sowie die Fortschrittsmessung mit Hilfe von Leistungskennzahlen. Das Vorgehen liefert daher zahlreiche Anregungen und Impulse für die vorliegende Themenstellung.

3.5 Ansätze zur Entwicklung von Strategien

Dieser Abschnitt befasst sich mit etablierten Ansätzen der Strategieentwicklung. Hierzu wird mit dem Ansatz von WIRTZ zunächst ein Prozess zur Entwicklung einer Unternehmensstrategie untersucht. Anschließend folgen konkrete Ansätze von GRÜNIG und KÜHN zur Entwicklung von Geschäftsstrategien und BÄTZEL zur Entwicklung von Strategicalternativen für Geschäftsstrategien.

3.5.1 Prozess der Strategieentwicklung nach WIRTZ

WIRTZ liefert einen allgemeinen Prozess zur Entwicklung von Strategien. Er dient dazu, unter Berücksichtigung der Unternehmensziele sowie den sich aus der Umwelt ergebenden Chancen und Risiken eine zielstrebige Unternehmensstrategie abzuleiten. Das Vorgehen gliedert sich in vier Phasen (Bild 3-19).

Zieldefinition: Die Zieldefinition beginnt mit der Formulierung einer unternehmerischen Vision („Was kann das Unternehmen in Zukunft darstellen?“) sowie einer Mission („Was will das Unternehmen in der Gegenwart erreichen?“). Aus Mission und Vision werden anschließend spezifische Ziele abgeleitet, die es für das Unternehmen zu erreichen gilt [Wir12, S. 142ff.].

Situationsanalyse: Die Analyse der Ausgangssituation erfolgt zweigeteilt. Während einer externen Analyse werden Umfeld, Markt, Branche und Wettbewerb untersucht (Umweltanalyse). Hieraus ergeben sich Chancen und Risiken. Bei der internen Analyse wer-

den Kompetenzen und Ressourcen analysiert (Unternehmensanalyse). Ergebnis sind Stärken und Schwächen aus Unternehmenssicht. Abschließend erfolgt der Abgleich von marktseitigen und unternehmensspezifischen Befunden. Ergebnis ist der strategische Fit als Maß für die Eignung des Unternehmens zur Erreichung der Ziele [Wir12, S. 145ff.].

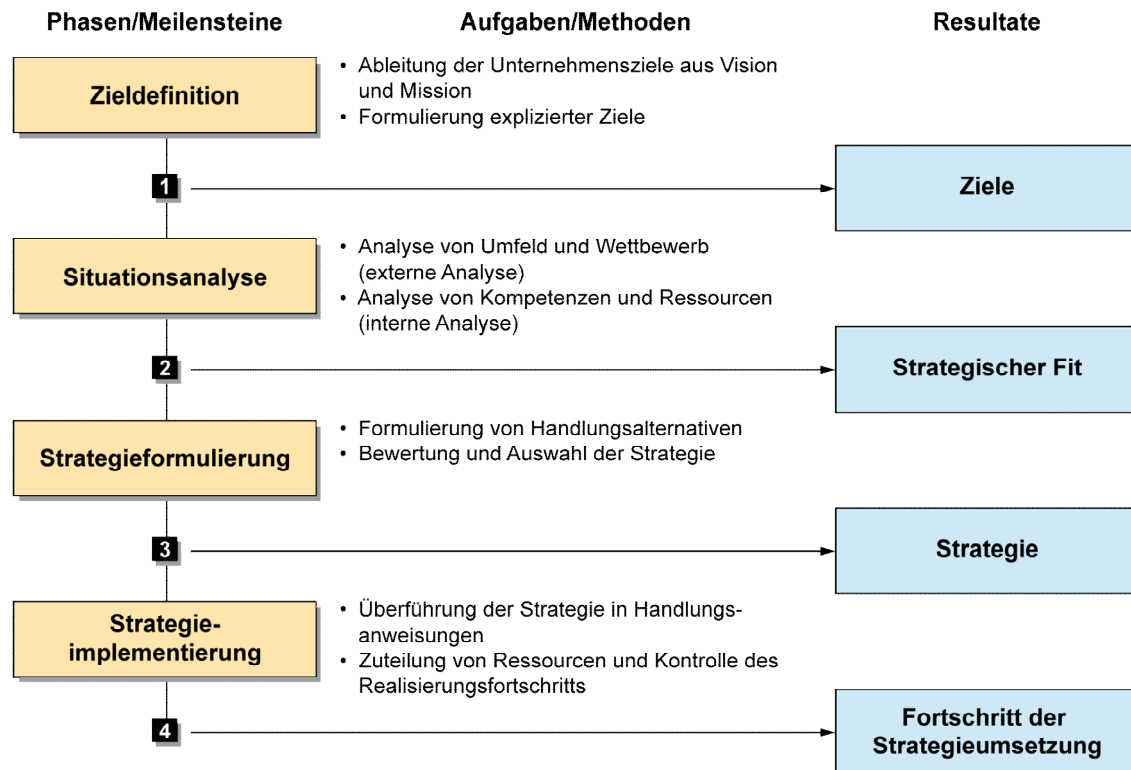


Bild 3-19: Vorgehensmodell zur Strategieentwicklung nach WIRTZ [Wir12, S. 141]

Strategieformulierung: Hierbei werden basierend auf den vorherigen Analysen strategische Stoßrichtungen abgeleitet. Als Hilfsmittel schlägt der Autor eine GAP-Analyse in Kombination mit der Portfoliomethode vor. Daraus lassen sich unmittelbar strategische Handlungsoptionen ablesen. Durch eine Gegenüberstellung von strategischen Handlungsoptionen und Stärken-/Schwächen-Profil des Unternehmens lässt sich eine strategische Bilanz aufstellen. Es werden Maßnahmen zur Schließung der strategischen Lücke definiert, bewertet und ausgewählt. Sie münden in einer Strategie [Wir12, S. 162ff.].

Strategieimplementierung: Die Strategieimplementierung besteht aus den Aufgaben Implementierungsplanung, -realisation und -kontrolle. Die Implementierungsplanung hat die Definition konkreter Implementierungsziele und -maßnahmen zum Gegenstand. Bei der Implementierungsrealisation werden diese Maßnahmen kommuniziert und anschließend operative Projektteams zur Umsetzung gebildet. Während der Implementierungskontrolle werden der Zielerreichungsgrad überprüft und Abweichungsanalysen durchgeführt [Wir12, S. 166f.].

Bewertung:

WIRTZ liefert einen generischen Ansatz zur Strategieentwicklung, in dessen Kern ein Soll-Ist-Abgleich („strategische Bilanz“) zwischen angestrebten Unternehmenszielen und zur Verfügung stehender Kompetenzen und Ressourcen erfolgt. Der Abgleich dient zur Ableitung einer strategischen Stoßrichtung. Geeignete Methoden zur Durchführung werden nur beispielhaft aufgezeigt. Ein detailliertes Vorgehen sowie ein durchgängiges Beispiel werden nicht beschrieben. Hierdurch scheint das Vorgehen zwar grundsätzlich übertragbar, liefert aber keine spezifischen Impulse zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie.

3.5.2 Entwicklung von Geschäftsstrategien nach GRÜNIG u. KÜHN

GRÜNIG und KÜHN liefern ein Vorgehen zur Entwicklung von Geschäftsstrategien auf Basis bereitgestellter generischer Geschäftsstrategien. Ausgehend von der Unternehmensstrategie werden diese generischen Strategien mit Hilfe eines Vorgehensmodells unter Berücksichtigung von Wettbewerbsvorteilen konkretisiert. Das Vorgehen besteht aus vier Phasen (Bild 3-20).

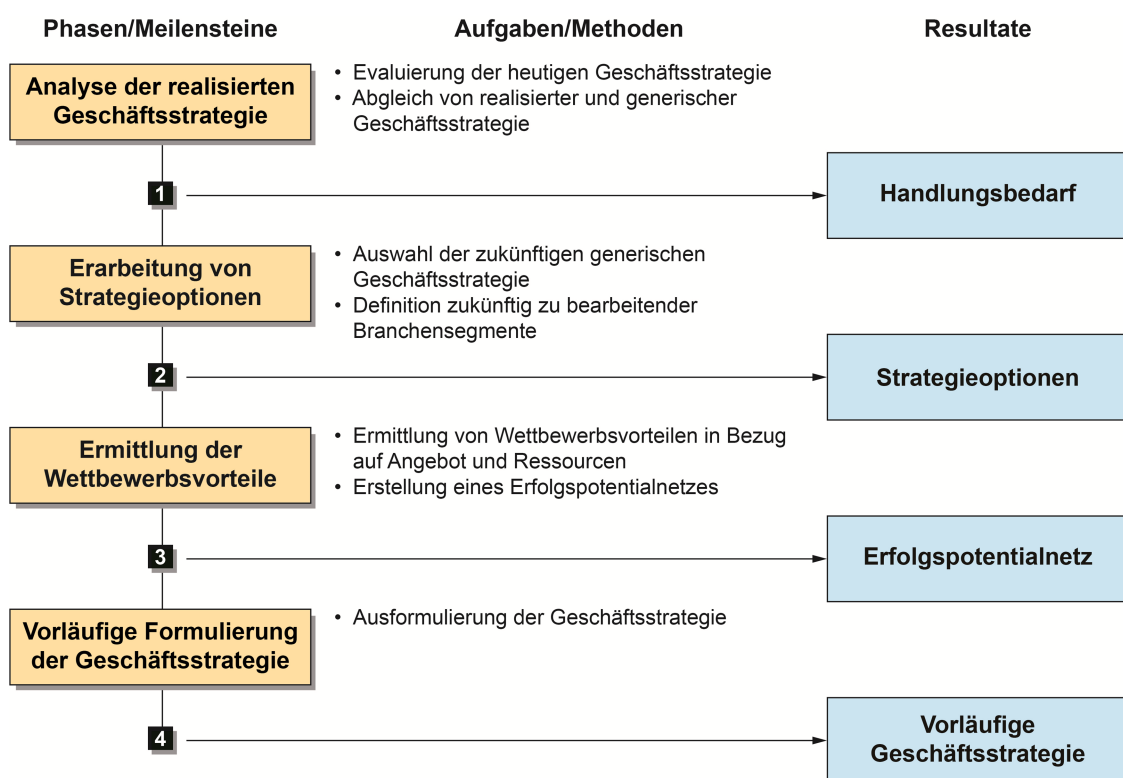


Bild 3-20: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Geschäftsstrategie nach GRÜNIG und KÜHN [GK11, S. 324]

Analyse der bestehenden Geschäftsstrategie: Zunächst erfolgt eine Beschreibung und Evaluation der heutigen Geschäftsstrategie aus Markt- und Branchensicht. Im Fokus ste-

hen die primär bearbeiteten Branchensegmente sowie die heute realisierten Wettbewerbsvorteile hinsichtlich angebotener Marktleistungen und verfügbarer Ressourcen. Durch den Abgleich von generischen Geschäftsstrategien und realisierter Strategie kann sich Handlungsbedarf ergeben [GK11, S. 325f.].

Erarbeitung von Strategieoptionen: Auf Basis der durchgeführten Analyse der Branchensegmente können sich Korrekturen in Bezug auf die generische Geschäftsstrategie ergeben. In dieser Phase sind daher die zukünftige generische Geschäftsstrategie zu definieren und die primär zu bearbeitenden Branchensegmente zu bestimmen [GK11, S. 327f.].

Festlegung der Wettbewerbsvorteile: Die angestrebten Wettbewerbsvorteile in Bezug auf das Leistungsangebot und die Ressourcen werden anschließend mit Hilfe eines Erfolgspotentialnetzes visualisiert. Hierdurch wird die generische Geschäftsstrategie konkretisiert [GK11, S. 328ff.].

Vorläufige Formulierung der Geschäftsstrategie: Die Ergebnisse werden abschließend in einer vorläufigen Geschäftsstrategie detailliert beschrieben. Anhand verschiedener Beispiele wird dies erläutert [GK11, S. 339ff.].

Bewertung:

GRÜNIG und KÜHN liefern ein sehr allgemeines Vorgehensmodell zur Entwicklung von Geschäftsstrategien auf Basis generischer Geschäftsstrategieoptionen. Im Fokus stehen die Erarbeitung und Beurteilung von Wettbewerbsvorteilen in Bezug auf die angebotenen Marktleistungen sowie die zur Verfügung stehenden Ressourcen. Die methodische Vorgehensweise wird nur rudimentär von den Autoren beschrieben. Konkrete Aspekte in Bezug auf die Entwicklung von Industrie 4.0-Strategien werden nicht geliefert. Das Vorgehen verfügt daher allenfalls über impulsstiftenden Charakter.

3.5.3 Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen nach BÄTZEL

BÄTZEL liefert eine Methode, die Industrieunternehmen bei der strategischen Positionierung im Wettbewerb unterstützt. In einem fünfphasigen Vorgehen wird beschrieben, wie Unternehmen verschiedene Strategiealternativen entwickeln und mit dem Verhalten der Wettbewerber abgleichen können, um eine Erfolg versprechende Position im Branchenumfeld einzunehmen. Bild 3-21 liefert einen Überblick über das Vorgehen.

Geschäftsdefinition: Zu Beginn erfolgt die Definition von strategischen Handlungsoptionen. Sie dient der Beantwortung der Fragen, was die angebotenen Produkte und Dienstleistungen des Unternehmens sind, wer die Kunden sind und wie die Kundenbedürfnisse befriedigt werden. Ergebnis ist eine definierte Wettbewerbsarena [Bät04, S. 96ff.].

Analyse strategischer Optionen: Aufbauend auf der Geschäftsdefinition werden strategische Variablen und mögliche Ausprägungen⁵⁴ definiert. Sie werden in einer Liste zusammengefasst und anschließend beschrieben, sodass eine Nachvollziehbarkeit zu einem späteren Zeitpunkt gewährleistet ist [Bät04, S. 100ff.].

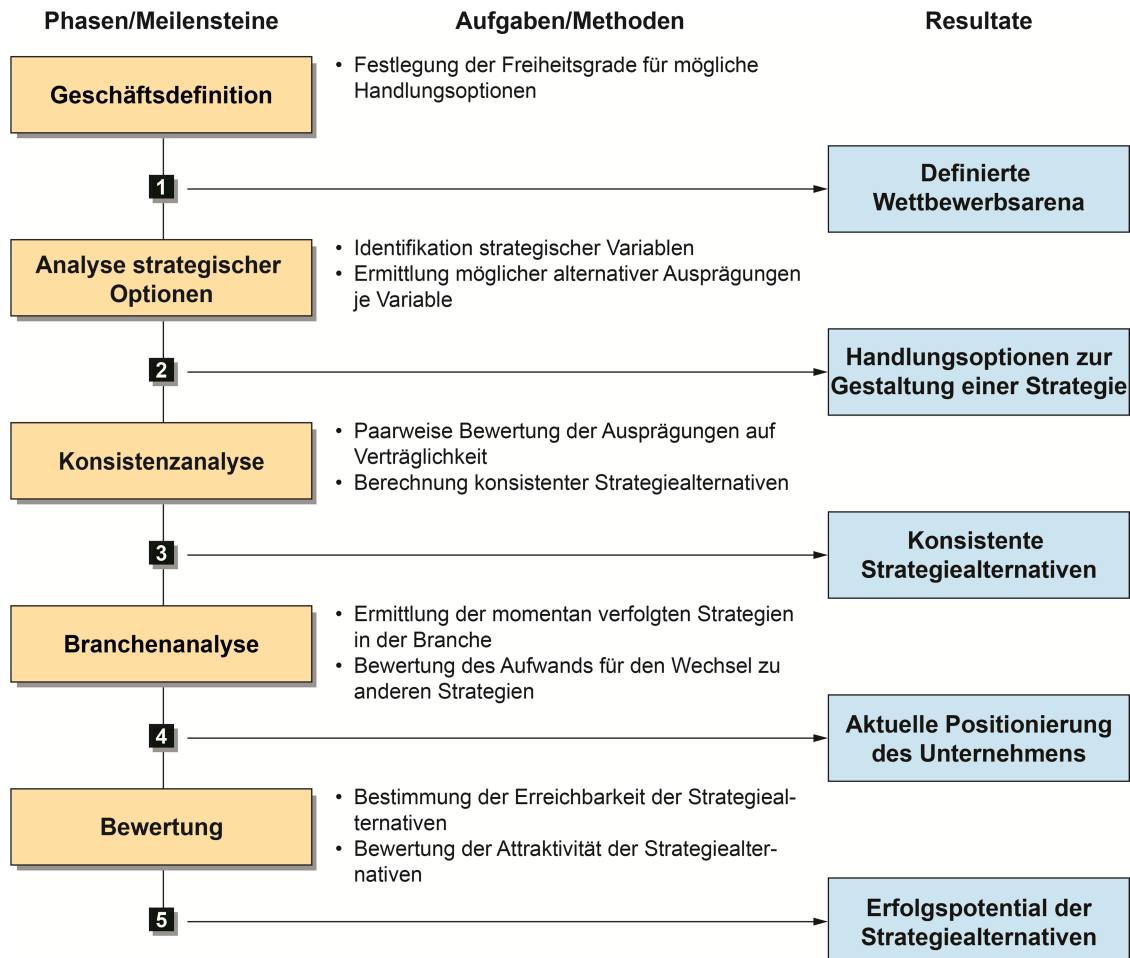


Bild 3-21: Vorgehensmodell zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen nach BÄTZEL [Bät04, S. 94]

Konsistenzanalyse: Mit Hilfe einer Konsistenzanalyse werden anschließend aus den strategischen Variablen und zugehörigen Handlungsoptionen konsistente Strategiealternativen gebildet. Dies geschieht durch paarweise Konsistenzbewertung der Ausprägungen (Handlungsoptionen) und eine anschließende Clusteranalyse. Die Strategiealternativen stellen Möglichkeiten dar, „wie sich ein Unternehmen in der definierten Wettbewerbsarena positionieren kann“ [Bät04, S. 109ff.].

⁵⁴ Bei strategischen Variablen handelt es sich um Stellen, „an denen ein Unternehmen strategische Entscheidungen über die angebotene Marktleistung (was?), über die Kunden (wer?) und die Art der Befriedigung der Kundenbedürfnisse (wie?) treffen kann“. Ausprägungen stellen die möglichen Handlungsoptionen dar [Bät04, S. 94].

Branchenanalyse: In der vierten Phase wird zunächst ermittelt, wie die Wettbewerber die strategischen Variablen ausprägen. Diese Bewertungsergebnisse können zum Vergleich mit der eigenen Bewertung sowie den ermittelten konsistenten strategischen Positionierungen aus der dritten Phase herangezogen werden. Hieraus lassen sich Schlüsse zur (zukünftigen) Positionierung des eigenen Unternehmens ziehen [Bät04, S. 116ff.].

Bewertung: Die Strategiealternativen werden abschließend in Bezug auf ihr erwartetes Erfolgspotential bewertet. Als Kriterien dienen beispielsweise die Einzigartigkeit, die erwartete Wettbewerbsintensität bei entsprechender Positionierung, der Aufwand zur Umsetzung der Strategiealternative sowie die erwartete Marktattraktivität [Bät04, S. 125ff.].

Bewertung:

BÄTZEL liefert ein sehr mächtiges Werkzeug zur Ermittlung von Strategieoptionen sowie Auswahl einer Erfolg versprechenden Strategiealternative. Ein erheblicher Mehrwert entsteht durch das Aufspannen eines Lösungsraums durch die systematische Beschreibung von Strategiealternativen mit Hilfe strategischer Variablen sowie zugehöriger Ausprägungen. Darüber hinaus entsteht ein zusätzlicher Nutzen durch die Berücksichtigung strategischer Positionierungen der Wettbewerber, aus denen wertvolle Schlüsse für die eigene Positionierung gezogen werden können. Die Einbindung eines Reifegradmodells zur Strategieentwicklung ist nicht Gegenstand des Vorgehens. Aufgrund der erkennbaren Parallelen zwischen strategischen Variablen/Handlungsoptionen sowie Handlungselementen/Leistungsstufen von Reifegradmodellen kann das Vorgehen eine wertvolle Grundlage zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien bilden.

3.6 Ansätze zur Unterstützung der Strategieentwicklung

Dieser Abschnitt enthält Ansätze und Hilfsmittel, die zur Unterstützung der Industrie 4.0-Strategieentwicklung dienen können. Hierzu zählen Werkzeuge und Methoden, die in einzelnen Phasen der Strategieentwicklung eingesetzt werden können sowie Referenzmodelle, die zur Ausgestaltung von Industrie 4.0 beitragen können bzw. hierfür entsprechende Rahmenbedingungen definieren.

3.6.1 Szenario-Management nach GAUSEMEIER

Das Szenario-Management nach GAUSEMEIER stellt ein strategisches Instrument zum Erkennen von Erfolgspotentialen der Zukunft sowie zur Ermittlung entsprechender Handlungsoptionen dar. Basierend auf den zwei Grundprinzipien des „vernetzten Denkens“ und der „multiplen Zukunft“ entstehen Zukunftsszenarien, die zur strategischen Unternehmensplanung und -führung herangezogen werden können [GDE+19, S. 120ff.]. Das Vorgehen gliedert sich in fünf Phasen (Bild 3-22).

Szenario-Vorbereitung: Zu Beginn werden die Ziele des Szenario-Projekts festgelegt. Hierbei geht es beispielsweise um die Fragen, was mit der Erstellung und Anwendung

der Szenarien erreicht werden soll, welche Entscheidungen unterstützt werden sollen und welche Art von Strategie entwickelt werden soll. Anschließend wird das Gestaltungsfeld⁵⁵ definiert und analysiert [GDE+19, S. 125f.].

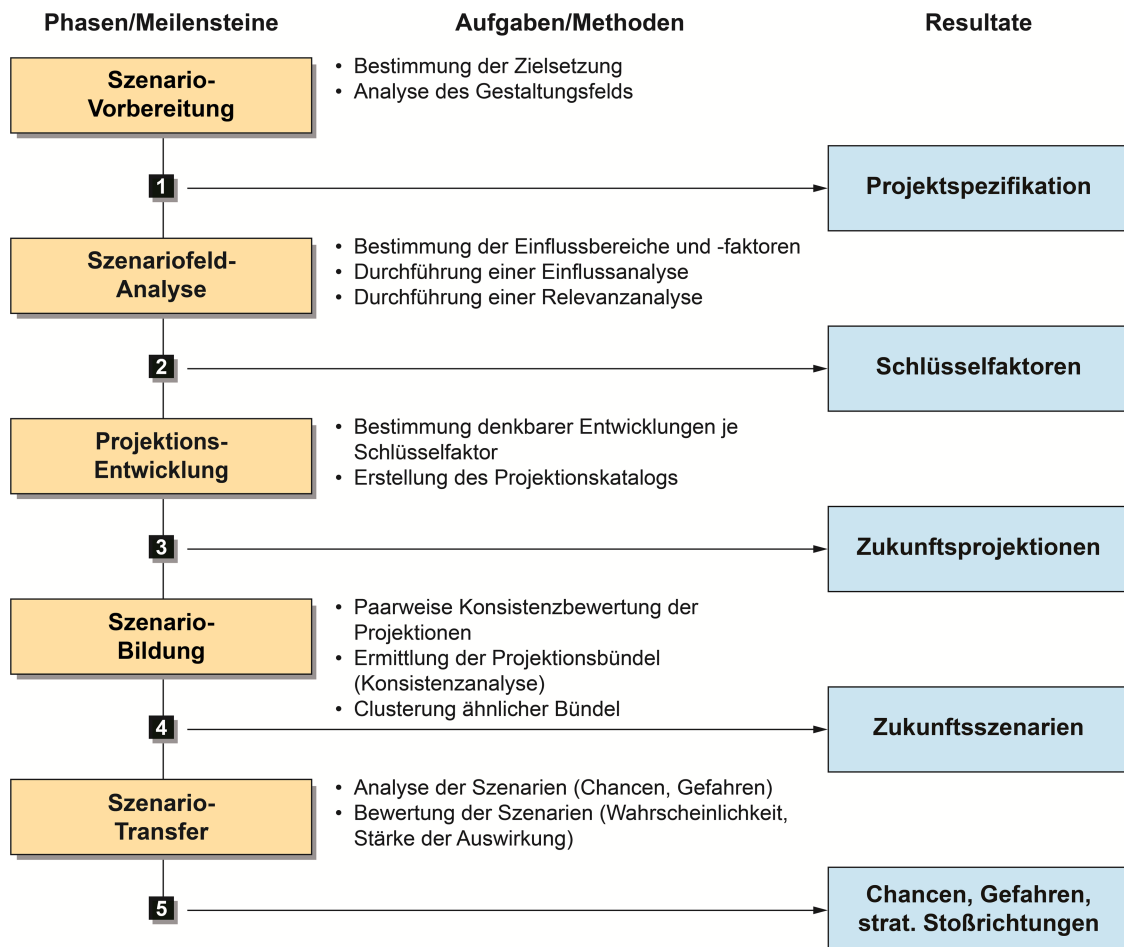


Bild 3-22: Vorgehensmodell des Szenario-Managements nach GAUSEMEIER [GDE+19, S. 123]

Szenariofeld-Analyse: In der zweiten Phase werden zunächst Einflussbereiche sowie darin enthaltene Einflussfaktoren des Szenariofelds⁵⁶ bestimmt. In einem mehrstufigen Verfahren werden mittels Einfluss- und Relevanzanalyse aus dem Katalog an Einflussfaktoren diejenigen ausgewählt, die für die Entwicklung des Szenariofelds besonders relevant bzw. charakteristisch sind – die sog. Schlüsselfaktoren [GDE+19, S. 126ff.].

Projektions-Entwicklung: Für jeden Schlüsselfaktor werden anschließend in einem kreativen Prozess alternative und trennscharfe Entwicklungsmöglichkeiten ermittelt (sog.

⁵⁵ Beschreibt, was durch das Vorhaben gestaltet werden soll. Beispiele sind Unternehmen, Produkte, Branchen oder Technologien [GP14, S. 47ff.], [GDE+19, S. 125f.].

⁵⁶ Das Szenariofeld beschreibt den Betrachtungsbereich, der durch die Szenarien erklärt werden soll (z. B. die verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten eines Produkts oder dessen Umfelds) [GP14, S. 47].

Zukunftsprojektionen). Sie bestehen aus einem prägnanten Titel sowie einer ausführlichen Beschreibung. Der daraus resultierende Projektionskatalog bildet die Grundlage für die spätere Beschreibung der Zukunftsszenarien [GDE+19, S. 130ff.].

Szenario-Bildung: Mit Hilfe einer Konsistenzanalyse werden anschließend Projektionsbündel erzeugt. Hierbei handelt es sich um Ketten von Projektionen, die gut zusammenpassen. Mit Hilfe der *Scenario-Software* werden ähnliche Bündel mittels Clusteranalyse zu sog. Rohszenarien zusammengefasst. Anhand einer Ausprägungsliste kann abgelesen werden, welche Projektionen in einem Szenario in welcher Intensität vorliegen. Anschließend werden die Rohszenarien zu finalen Zukunftsszenarien ausformuliert [GDE+19, S. 133ff.].

Szenario-Transfer: Im Szenario-Transfer erfolgt zunächst die Auswahl des Referenzszenarios. Hierbei handelt es sich um das Szenario mit der größten Bedeutung für die Strategieentwicklung (z. B. aufgrund seiner Auswirkungsstärke und Eintrittswahrscheinlichkeit). Anschließend erfolgt die Entwicklung einer zukunftsrobusten Strategie. Den Abschluss bilden die Bewertung der Szenarien in Bezug auf Chancen und Gefahren sowie eine Auswirkungsanalyse. Sie untersucht die Auswirkungen der Szenarien auf das Gestaltungsfeld [GDE+19, S. 141ff.].

Bewertung:

Das Szenario-Management stellt einen Ansatz zur strategischen Planung dar. Er eignet sich insbesondere zur Entwicklung von konsistenten Zukunftsbildern als wesentliche Voraussetzung der Strategieentwicklung. Einen Mehrwert gegenüber anderen Ansätzen liefert das Szenario-Management durch die Förderung einer vernetzten Denkweise, um trotz aller Komplexität der Planungsaufgabe zu einer lebendigen Vorstellung der Zukunft zu gelangen. Darüber hinaus eignet sich der Ansatz zur Unterstützung langfristiger strategischer Planungen. Der Ansatz sollte daher in die Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie einfließen.

3.6.2 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) nach VDI/ZVEI

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) stellt ein gemeinsames Standardisierungswerk der Plattform Industrie 4.0 in Zusammenarbeit mit den Verbänden BITKOM, VDMA, ZVEI und Unternehmen der Deutschen Industrie dar [ABD+15, S. 4]. Es dient der Zusammenführung der unterschiedlichen Aspekte von Industrie 4.0 in einem gemeinsamen Modell. Es verfügt über einen dreidimensionalen Aufbau (Bild 3-23) [ABD+15, S. 4ff.].

Schichten (Layers): Auf der senkrechten Achse werden die unterschiedlichen Sichtweisen dargestellt [ABD+15, S. 7]. Als Basis diene das sog. *Smart Grid Architecture Model (SGAM)*⁵⁷. Zur besseren Beschreibung von Maschinen, Komponenten und Fabriken

⁵⁷ vgl. beispielsweise GOTTSCHALK ET. AL [GUD17].

wurde jedoch die ursprüngliche Komponentenschicht durch die Gegenstandsschicht ersetzt. Ferner wurde die Integrationsschicht ergänzt. Sie ermöglicht die virtuelle Repräsentation der Gegenstände [ABD+15, S. 8f.].

Lebenszyklus und Wertschöpfungskette (Value Stream): Die horizontale Achse repräsentiert den Lebenszyklus und die dazugehörigen Wertschöpfungsketten. Sie wird dazu genutzt, die Zusammenhänge zwischen Produkten, Maschinen, Fabriken etc. zu visualisieren und zu standardisieren, um Verbesserungspotentiale zu heben. Als Orientierung dient die IEC-Norm 62890⁵⁸ [ABD+15, S. 9f.].

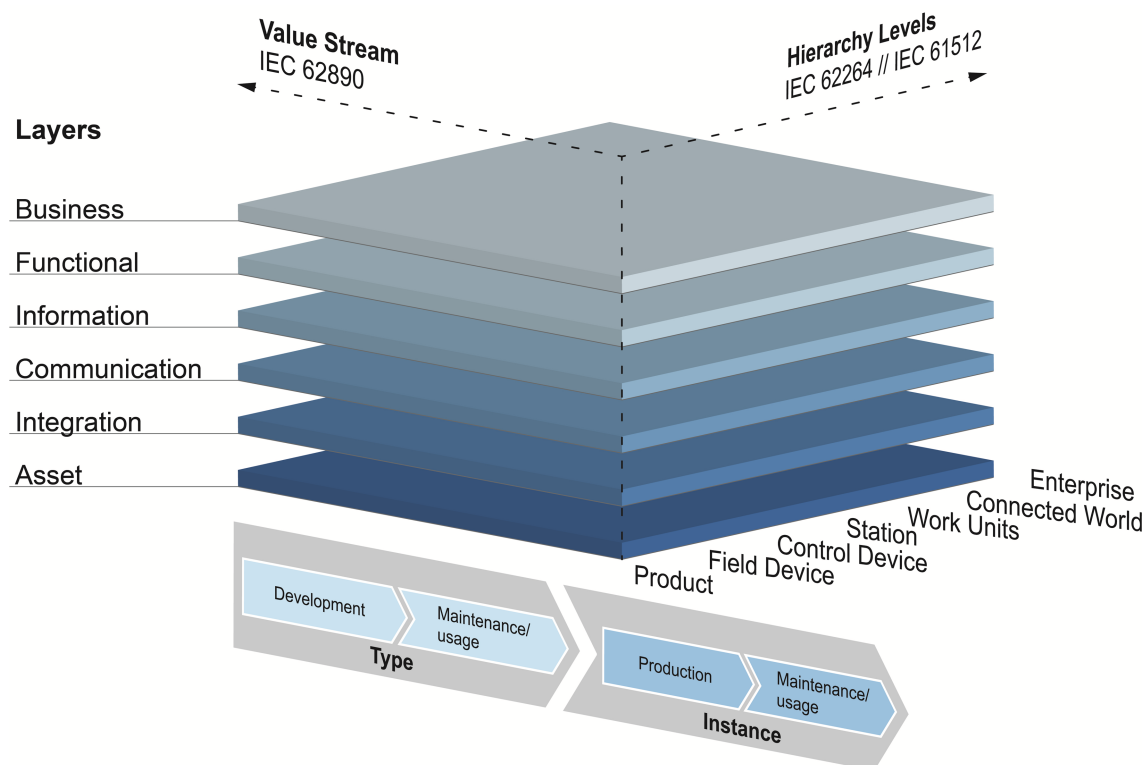


Bild 3-23: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) [ABD+15, S. 7]

Hierarchieebenen (Hierarchy Levels): Die dritte Achse beschreibt „die funktionale Einordnung einer Sachlage innerhalb Industrie 4.0“. Als Orientierung dienen die Normen IEC 62264 und IEC 61512. Zur einheitlichen Betrachtung wurden die Bereiche *Enterprise*, *Work Unit*, *Station* und *Control* extrahiert. Sie wurden ergänzt um die funktionalen Bereiche *Field Device*, *Product* und *Connected World* [ABD+15, S. 10f.]. Sie dienen zur vollumfänglichen Beschreibung von Industrie 4.0 sowie den Abhängigkeiten zwischen den Bereichen.

Bewertung:

Das Referenzarchitekturmodell liefert einen sehr umfangreichen theoretischen Beschreibungsansatz für Industrie 4.0. Einen Mehrwert liefert die Aufteilung des Themas in die

⁵⁸ Für die jeweils aktuellen Fassungen der IEC-Normen wird auf die Webseiten der *International Electrotechnical Commission* (<https://www.iec.ch/>) verwiesen.

drei verschiedenen Dimensionen und die Betrachtung aus unterschiedlichen Sichtweisen. Hierdurch kann der Zugang zu Industrie 4.0 vor allem bei unterschiedlichem Hintergrundwissen bestmöglich gelingen. Durch den Rückgriff auf etablierte Konzepte und Normen ist sichergestellt, dass das Referenzmodell auf allgemein anerkannten Regeln beruht. Durch die Verknüpfung der einzelnen Dimensionen ist außerdem sichergestellt, dass das Thema Industrie 4.0 bereichs- und unternehmensübergreifend analysiert wird. In Bezug auf die Industrie 4.0-Strategieentwicklung eignet sich das Modell als Orientierungshilfe, um die Berücksichtigung der wesentlichen Aspekte in Bezug auf die digitale Transformation produzierender Unternehmen zu gewährleisten.

3.7 Ausgewählte Konzepte des Strategie-Controllings

Nachfolgend werden Ansätze und Konzepte vorgestellt, die im Rahmen des Strategie-Controllings Anwendung finden. Sie dienen zur mehrdimensionalen Überwachung und Steuerung von Strategieaktivitäten. Im Vordergrund stehen im Gegensatz zu klassischen Kennzahlensystemen nicht nur rein finanzielle Messgrößen, sondern Indikatoren verschiedener Perspektiven.

3.7.1 Balanced Scorecard nach KAPLAN/NORTON

Die Balanced Scorecard (englisch für *ausgewogener Berichtsbogen*) ist ein auf KAPLAN und NORTON zurück zu führendes Konzept, das zur Messung und Überwachung strategischer Aktivitäten verwendet wird. Hierzu wird die zugrunde liegende Strategie auf strategische Ziele in vier unterschiedlichen Perspektiven heruntergebrochen. Diese werden mit Zielwerten und Messgrößen versehen. Mit Hilfe von Aktivitäten wird beschrieben, wie die Zielerreichung erfolgt. Ergebnis ist eine Art Cockpit, das zur Unternehmenssteuerung verwendet werden kann. Der prinzipielle Aufbau⁵⁹ der Balanced Scorecard ist in Bild 3-24 dargestellt.

Finanzielle Perspektive: Die finanzielle Perspektive verknüpft die Strategie mit finanziellen Kennzahlen. Sie sind ein Maß dafür, inwieweit die Strategie zu einer Verbesserung der finanziellen Situation bzw. betriebswirtschaftlichen Position des Unternehmens führt. Beispiele für Kennzahlen sind der Unternehmenswert, Return on Invest (ROI) oder der Umsatz [KN96, S. 47ff.].

Kundenperspektive: In der Kundenperspektive werden Kunden- und Marktsegmente adressiert, in denen ein Unternehmen im Wettbewerb agiert. Die Perspektive ist maßgeblich verantwortlich für die Erreichung der finanziellen Ziele. Beispiele für Markt- und Kundenkennzahlen stellen Marktanteile, Kundenzufriedenheit oder das Markenimage dar [KN96, S. 63ff.].

⁵⁹ Der Entwicklungsprozess einer BSC steht nicht im Fokus der folgenden Ausführungen. Für nähere Erläuterungen zur Entwicklung einer BSC wird auf [KN96] verwiesen.

Perspektive interne Geschäftsprozesse: Hier werden die (insbesondere kritischen) Prozesse zur Befriedigung der Kunden- und Shareholder-Bedürfnisse überwacht. Im Gegensatz zu klassischen Performance-Measurement-Systemen liegt der Fokus nicht nur auf bestehenden Prozessen. Vielmehr erfolgt die Überwachung der gesamten internen Wertschöpfungskette zur Erreichung der vorgegebenen Ziele, wodurch beispielsweise Kennzahlen für das Innovationsgeschehen oder Kennzahlen des After-Sales-Services integriert werden [KN96, S. 92ff.].

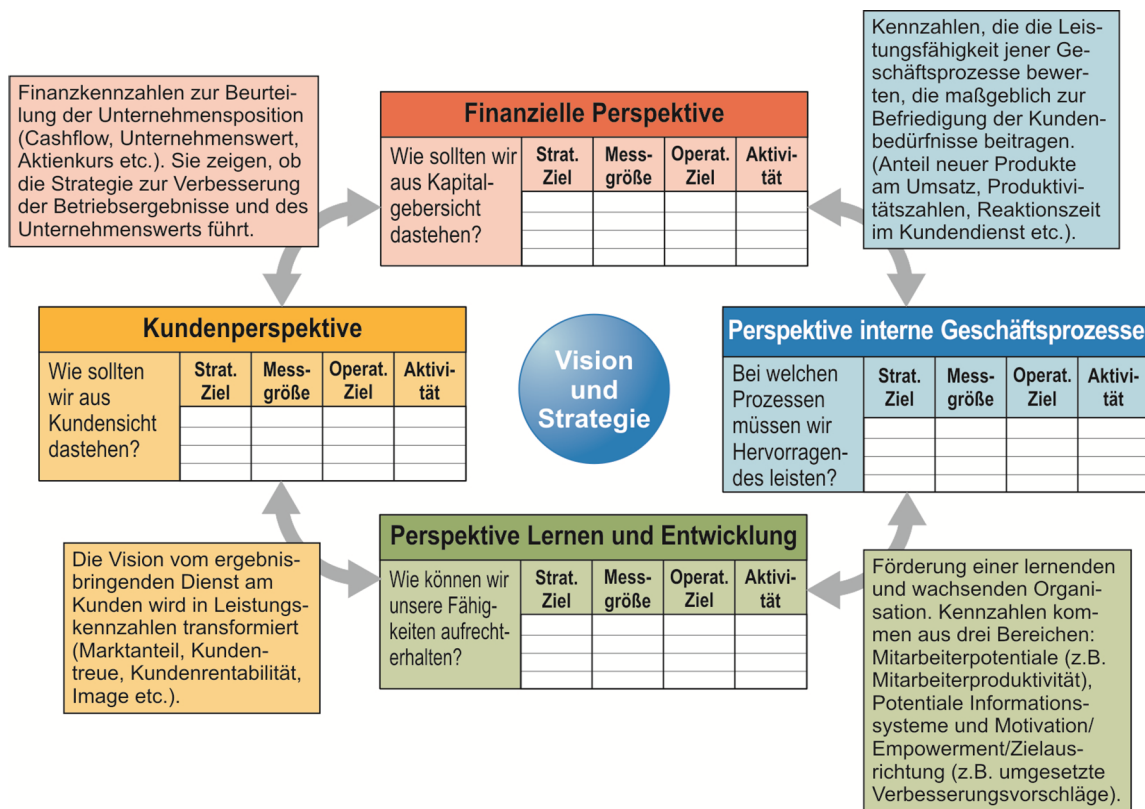


Bild 3-24: Prinzipieller Aufbau der Balanced Scorecard [KN96, S. 9]; Darstellung nach [GP14, S. 215]

Perspektive Lernen und Entwicklung: Die finanzielle Perspektive, die Kundenperspektive und die Perspektive für interne Geschäftsprozesse zeigen auf, in welchen Bereichen ein Unternehmen exzellent aufgestellt sein muss, um eine Leistungssteigerung zu erzielen. Im Fokus der Perspektive *Lernen und Entwicklung* steht die Infrastruktur zur Erreichung der Ziele der drei zuvor genannten Perspektiven. Hierzu zählen beispielweise Kennzahlen zur Messung von Mitarbeiterfähigkeiten, die IT-Infrastruktur sowie Motivation, Befähigung und Einstellung der Beschäftigten [KN96, S. 126ff.].

Bewertung:

Die Balanced Scorecard stellt ein hilfreiches Instrument zur Messung und Überwachung des Erfolgs strategischer Initiativen dar. Einen Mehrwert liefert die Balanced Scorecard

durch das Herunterbrechen übergeordneter Unternehmensziele in strategische Ziele verschiedener Perspektiven. Im Gegensatz zu klassischen Kennzahlensystemen werden neben betriebswirtschaftlichen Kennzahlen auch organisatorische oder prozessuale Sachverhalte überwacht. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Strategieumsetzung einer regelmäßigen Kontrolle mit Indikatoren unterliegt und Unternehmen bei Bedarf ggf. rechtzeitig nachsteuern können. Das Konzept lässt sich erweitern und auf verschiedene Strategiearten übertragen. Hierdurch eignet sich das Konzept auch grundsätzlich zur Überwachung einer Industrie 4.0-Strategie.

3.7.2 Performance Pyramid nach LYNCH/CROSS

Bei der Performance Pyramid handelt es sich um ein hierarchisches Konzept zur Messung der Unternehmensleistung (Bild 3-25). Es unterscheidet die zwei Sichten des Kunden (linke Hälfte) sowie des Eigners/Kapitalgebers (rechte Hälfte). Die Pyramide mit Zielen und Maßnahmen symbolisiert die Verbindung zwischen Vision und Betrieb, indem strategische Ziele von oben nach unten (auf der Grundlage der Kundenprioritäten) und Maßnahmen von unten nach oben übersetzt werden.

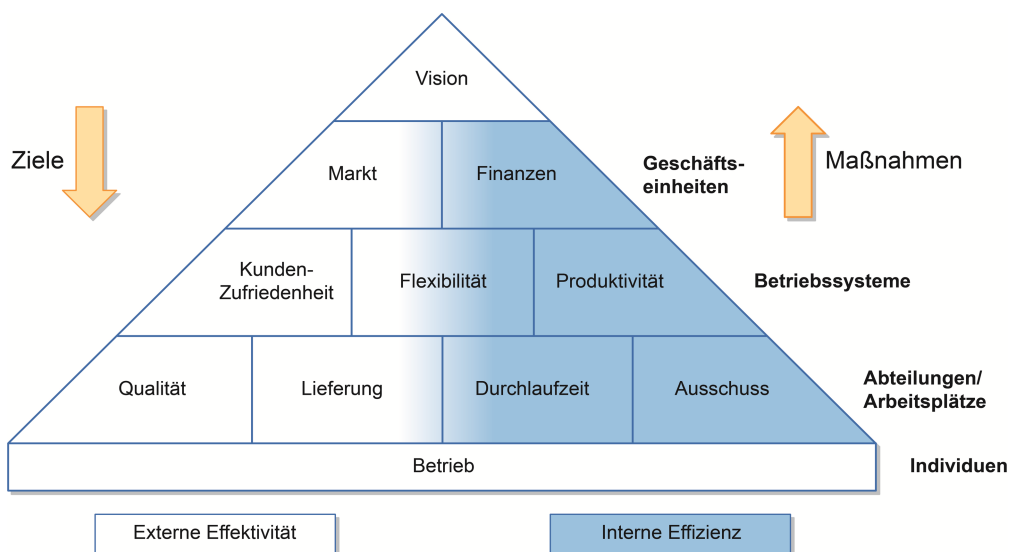


Bild 3-25: Performance Pyramid nach LYNCH/CROSS [LC91, S. 65]

Vision: Über allem Ebenen ist die Vision verankert. Sie wird von der Unternehmensleistung vorgegeben. Die Vision enthält die übergeordneten Ziele des Unternehmens sowie Indikatoren, die die Zielerreichung messen. Typische Indikatoren: Marktanteile, zu erzielende Margen, Preise etc. [LC91, S. 67ff.].

Geschäftseinheiten (Ebene 1): In den Geschäftseinheiten werden langfristige Ziele in Bezug auf den Markt (z. B. Wachstum und Marktposition) sowie kurzfristige Ziele im Hinblick auf die Finanzen (z. B. Cashflow und Rentabilität) definiert. Typische Indikatoren: Marktanteil, Anteil Produktverkäufe, F&E-Ausgaben etc. [LC91, S. 70ff.].

Betriebssysteme (Ebene 2): Die Betriebssysteme bilden die Schnittstelle zwischen den Vorgaben des Top-Managements und den operativen Maßnahmen. Es umfasst alle internen Funktionen, Aktivitäten, Strategien und Verfahren, die zur Umsetzung einer bestimmten Geschäftsstrategie erforderlich sind. Treibende Kräfte bilden die Kundenzufriedenheit (Typische Indikatoren: Anzahl an Beschwerden, Stornorate etc.), die Flexibilität (Lieferzeiten, Entwicklungsgeschwindigkeit, Änderungsgeschwindigkeit etc.) und die Produktivität (Faktorproduktivität, Produktmargen, Break-even-Zeit etc.) [LC91, S. 73ff.].

Abteilung/Arbeitsplatz (Ebene 3): Die operative Ebene beinhaltet die Bereiche Qualität und Lieferung (extern) und Durchlaufzeit und Ausschuss (intern). Typische Indikatoren: Fehlerfreie Bauteile (Qualität), Prozentsatz pünktlich gelieferter Waren (Lieferung), Time-to-Market (Durchlaufzeit) oder Garantiekosten (Ausschuss).

Das Konzept sieht vor, dass kausale Zusammenhänge zwischen den Zielen und/oder Indikatoren gebildet werden (sog. „Building Blocks“). Bild 3-26 liefert hierfür ein Beispiel: Die Gewinnspanne ist abhängig von der Gesamtbetriebsproduktivität. Die Gesamtbetriebsproduktivität hängt wiederum mit der Ausschussquote zusammen. Folglich lässt eine Reduktion von Ausschussraten auf Arbeitsplatz-Ebene die Betriebsproduktivität auf Betriebssystemebene ansteigen, wodurch letztlich höhere Gewinnmargen erzielt werden [LC91, S. 82ff.].

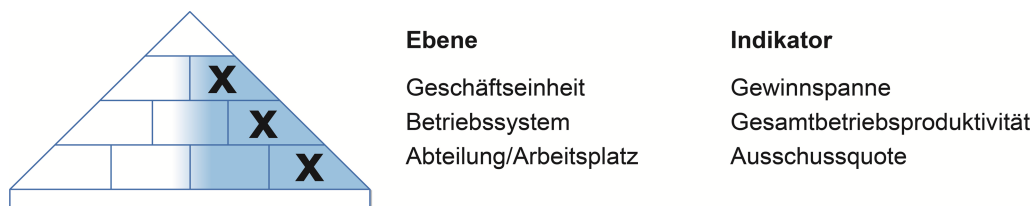


Bild 3-26: Beispiel für einen kausalen Zusammenhang von Indikatoren in der Performance Pyramid [LC91, S. 87]

Bewertung:

Die Performance Pyramid stellt ein hilfreiches Instrument zur Messung der Unternehmensleistung dar. Der Mehrwert besteht in der Verknüpfung strategischer und operativer Kennzahlen aus verschiedenen hierarchischen Ebenen. Hierdurch werden implizit auch unterschiedliche Zeithorizonte in der Leistungsmessung berücksichtigt. Durch die Bildung kausaler Ketten können darüber hinaus schnell und einfach Wirkzusammenhänge aufgedeckt werden, wodurch eine Leistungssteigerung vereinfacht wird. Das Konzept liefert damit auch wertvolle Anknüpfungspunkte für das Controlling von Industrie 4.0-Strategien.

3.7.3 Quantum Performance Measurement Matrix

Die Quantum Performance Measurement Matrix (auch: Quantum-Performance-Bewertungsmatrix) stellt ein Werkzeug zum Abgleich der Leistungsmaßstäbe Kosten, Qualität und Zeit auf verschiedenen Ebenen der Organisation (Unternehmen, Prozesse, Mitarbeiter) dar [Hro96, S. 21]. Es basiert auf den Ausführungen zum Einsatz von Leistungsmaßen nach RUMMLER und BRACHE (vgl. [RB90])) und unterstützt Unternehmen bei der Messung und Steuerung der Vorgaben des Top-Managements und der Strategie. Übergeordnetes Ziel ist die Optimierung der Leistungsfähigkeit des gesamten Unternehmens („*Quantum Performance*“) [Hro96, S. 14ff.]. Bild 3-27 veranschaulicht die Quantum-Performance-Bewertungsmatrix, die Bestandteil des sog. Quantum-Performance-Bewertungsmodells ist [Hro96, S. 16ff.].

Quantum Performance			
Leistung		Service	
Kosten	Qualität	Zeit	
Organisation	Finanziell Operational Strategisch	Produktivität Zuverlässigkeit Glaubwürdigkeit Kompetenz	Geschwindigkeit Flexibilität Reaktionsfähigkeit Beweglichkeit
	Input Aktivitäten	Übereinstimmung Produktivität	Geschwindigkeit Flexibilität
	Vergütung Entwicklung Motivation	Zuverlässigkeit Glaubwürdigkeit Kompetenz	Reaktionsfähigkeit Beweglichkeit

Bild 3-27: *Quantum Performance Measurement Matrix nach HRONEC [Hro96, S. 22]*

In den Feldern der Matrix werden Indikatoren zur Messung des Unternehmenserfolgs entlang der Unternehmensebenen in Bezug auf die Leistungsmaße abgebildet⁶⁰. Die Idee ist, ein ausgewogenes Verhältnis in allen Bereichen zu erzielen.

Organisationsebene: Die Unternehmens- bzw. Organisationsebene bildet die obere Klammer über die Prozess- und Mitarbeiterebene. Die Kosten können gemäß HRONEC beispielsweise in finanzielle, operationale und strategische Kennzahlen unterteilt werden. Die Qualität wird beispielsweise durch Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit oder Kompetenz gemessen. Kennzahlen zur Beurteilung des Leistungsmaßes Zeit bilden beispielsweise die Geschwindigkeit zur Erbringung von Outputs oder die Flexibilität, auf variierende Nachfrage zu reagieren [Hro96, S. 29ff.].

⁶⁰ Gemäß Definition des Autors können *Kosten* und *Qualität* zu *Wert* sowie *Qualität* und *Zeit* zu *Service* zusammengefasst werden

Prozessebene: Auf der Prozessebene werden Aktivitäten betrachtet, die „*Ressourcen aufbrauchen und ein Produkt hervorbringen, das internen und externen Kunden zur Verfügung gestellt werden kann*“ [Hro96, S. 15]. Beispiele für Kosten auf Prozessebene sind Prozessinputkosten oder Aktivitätenkosten. Im Bereich Qualität können z. B. Effektivität und Effizienz von Prozessen gemessen werden. Beispiele für Kennzahlen im Bereich Zeit sind Liefergeschwindigkeiten oder die Fähigkeit von Prozessen, auf unterschiedliche Anforderungen zu reagieren (Prozessflexibilität) [Hro96, S. 26ff.].

Mitarbeiter-Ebene: Hierbei handelt es sich nach HRONEC um Personen (im Unternehmen), „*welche die Aktivitäten durchführen*“ [Hro96, S. 15]. Beispiele für Kosten auf Ebene der Mitarbeiter stellen die Vergütung (Gehälter, Zusatzleistungen), Entwicklung (im Sinne Training und Ausbildung) und die Motivation (Ermutigung zu ständiger Verbesserung) dar. Die Qualität auf Mitarbeiterebene spiegelt sich beispielsweise durch die Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit und die Kompetenz wider. Die Zeit wird z. B. durch Reaktionsschnelligkeit und Flexibilität beschrieben. Alle Kennzahlen auf Mitarbeiterebene verfügen über Wechselwirkungen, die es zu beachten gilt [Hro96, S. 23ff.].

Bewertung:

Die Quantum Performance Measurement Matrix stellt ein Instrument zur kontinuierlichen unternehmensübergreifenden Leistungsverbesserung dar. Die Struktur führt dazu, dass neben einer rein finanziellen Bewertung auch organisatorische und personelle Aspekte unter Berücksichtigung der Leistungsmaßstäbe Kosten, Qualität und Zeit berücksichtigt werden. Hierdurch kann das Instrument auch wertvolle Impulse für das Controlling einer soziotechnischen Industrie 4.0-Strategie liefern. Beispiele für Kennzahlen vermitteln einen Eindruck über die Anwendung, wenngleich die Kennzahlen teilweise sehr theoretisch bzw. konstruiert wirken.

3.8 Handlungsbedarf

Bild 3-28 zeigt die Bewertung der untersuchten Ansätze im Stand der Technik in Bezug auf die Anforderungen an eine Systematik zur Entwicklung einer Leistungsstufen-basierenden Industrie 4.0-Strategie (vgl. Abschnitt 2.7). Die Bewertung zeigt, dass kein Ansatz die Anforderungen in vollem Maße erfüllt. Nachfolgend wird daher der Handlungsbedarf aufgezeigt.

A1: Soziotechnische Unternehmensgestaltung

Die soziotechnische Umsetzung von Industrie 4.0 gilt als besonders erfolgskritisch. Typische Betrachtungsdimensionen sind Mensch, Technik, Organisation und Kultur. Zwar wird die soziotechnische Betrachtungsweise von Industrie 4.0 in den meisten Fällen herangezogen, auffällig ist jedoch bei genauerer Betrachtung, dass wesentliche Geschäfts- und Nutzen-orientierte Industrie 4.0-Aspekte unzureichend berücksichtigt werden. Hierzu zählen beispielsweise Veränderungen im Bereich Marktleistungen (Geschäftsmodelle, Innovationsmanagement, digitale Produkt-Service-Systeme etc.), IT (z. B. Data

Analytics, IT-Sicherheitskonzepte) oder Ökosysteme (Digitale Plattformen, Innovationsnetzwerke, Technologietransfer etc.). Einige Ansätze leisten zu den genannten Aspekten einzelne Beiträge (z. B. SCHUH ET AL., SCHUMACHER ET AL. und JODLBAUER/SCHAGERL). Es gilt zu prüfen, inwieweit die einzelnen Aspekte im Sinne einer vollumfänglichen und auf Industrie 4.0 ausgerichteten soziotechnischen Unternehmensgestaltung zusammengeführt und integriert werden können.

A2: Individualisierbarkeit für Anwenderunternehmen




























































































































































































































































































































Die Individualisierbarkeit für Anwenderunternehmen wird durch alle untersuchten Ansätze sichergestellt. Dies ist ein Indiz dafür, dass es sich hierbei um eine elementare Anforderung handelt, deren Erfüllung auch bei der Entwicklung zukünftiger Ansätze sichergestellt sein muss. Festzustellen ist, dass eine große Spannweite in Bezug auf die Individualisierbarkeit besteht. Es existieren beispielsweise Ansätze, die ein Vorgehen auf Meta-Ebene vorgeben (z. B. PDCA-Systematik von DEMING). Sie verfügen über sehr große Handlungsspielräume bei der Ausgestaltung. Darüber hinaus bestehen Ansätze, die eine sehr genaue Vorstellung über zu verwendende Methoden und durchzuführende Arbeitsschritte vermitteln (z. B. CHRISTIANSEN). Handlungsbedarf besteht in der Abwägung, inwieweit die Entwicklung einer Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategie sinnvollerweise individualisiert werden soll.

A3: Verzahnung entlang der Strategieebenen

Das Thema Industrie 4.0 wird bisher kaum über die verschiedenen Strategieebenen eines Unternehmens hinweg beleuchtet. Lediglich LIPSMEIER ET AL. stellen mit einem „*Down-up*“-Ansatz dar, wie eine Digitalisierungsstrategie sowohl von der Unternehmensebene als auch von der Feldebene ausgestaltet werden kann. MERZ merkt an, dass die grundsätzliche strategische Unternehmensausrichtung berücksichtigt werden muss und sämtliche Industrie 4.0-Aktivitäten aus allen Bereichen zielgerichtet zusammengeführt werden müssen. LYNCH/CROSS berücksichtigen die verschiedenen Unternehmensebenen zur Messung der Unternehmensleistung. Im Zuge der Industrie 4.0-Strategieentwicklung besteht trotz allem Handlungsbedarf. Insbesondere der o.g. Down-up-Ansatz stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, der sich grundsätzlich zur Integration in die Systematik eignet.

A4: Einsatz eines Reifegradmodells zur Leistungsbewertung

Naturgemäß liegen allen Reifegrad-basierten Ansätzen Reifegradmodelle zur Leistungsbewertung zu Grunde. In den untersuchten Ansätzen zur Strategieentwicklung erfolgt der Einsatz von Reifegradmodellen allerdings bisher nicht. Handlungsbedarf besteht in der Prüfung, inwieweit die Leistungsbewertung mit Reifegradmodellen im Rahmen der Strategieentwicklung Anwendung finden kann. Eine Schnittstelle bilden ggf. die Ansätze zur Reifegrad-basierten Leistungssteigerung (BENSIEK etc.), da sie sowohl Reifegradmodelle als auch Ansätze zur Leistungssteigerung von Unternehmen (im weiteren Sinne ähnlich einer Strategie) beinhalten.

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderung. Fragestellung: Wie gut erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die gestellten Anforderungen an die Systematik (Spalte)? Bewertungsskala:  = nicht erfüllt  = teilweise erfüllt  = erfüllt		Anforderungen (A)											
		Übergeordnete Anforderungen			Leistungsbewertung und Leistungssteigerung						Strategieentwicklung		
		Soziotechnische Unternehmensgestaltung	Individualisierbarkeit für Anwenderunternehmen	Verzahnung entlang der Strategieebenen	Einsatz eines Reifegradmodells zur Leistungsbewertung	Unterstützung bei Auswahl eines I4.0-Reifegradmodells	Konsistenz von Entwicklungsstufen	Einsatz von Methoden der strategischen Vorausschau	Berücksichtigung d. Auswirkungen von Umfeldentwicklungen	Durchführung eines Benchmarks	Ableitung der Leistungsstufen-basierter I4.0-Strategie	Maßnahmen zur Industrie 4.0-Strategieumsetzung	Bereitstellung eines Konzepts zum Strategie-Controlling
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Reifegrad-basierte Strategie- und Transformationsansätze für Industrie 4.0	Industrie 4.0 Maturity Index (2020) nach SCHUH ET AL.												
	Strategischer Ansatz zur Industrie 4.0-Transformation nach OLEFF und MALESSA												
	Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen nach HENNEGRIFF ET AL.												
	Reifegrad-basierte Industrie 4.0-Migration nach MORLOCK ET AL.												
	Industrie 4.0-Roadmapping nach SCHUMACHER ET AL.												
	Erschließung von Industrie 4.0-Potentialen nach JODBLAUER und SCHAGERL												
	Industrie 4.0-Migration nach KAUFMANN												
	Reifegradmodell-basierte Planung von Cyber-Physical Systems nach WESTERMANN												
	Entwicklung einer Industrie 4.0-Roadmap nach PESSL ET AL.												
	Entwicklung von Digitalisierungsstrategien nach LIPSMEIER												
Weitere I4.0-Transf.-Ansätze	Umsetzungspfade mit Hilfe soziotechnischer I4.0-Muster nach HOBSCHEIDT												
	Untern.-spez. Einführungsreihenfolgen für I4.0-Methoden nach LIEBRECHT ET AL.												
	Entwicklung von Industrie 4.0-Einführungsstrategien nach MERZ												
Reifegrad-basierte LS	Reifegrad-basierte Leistungsbewertung u. -steigerung im Mittelstand nach BENSIEK												
	RG-basierte Leistungsbewertungs- u. Leistungssteigerungsmodelle n. CHRISTIANSEN												
	VPS-Benchmark nach GAUSEMEIER ET AL.												
Weitere LS-Ansätze	PDCA-Systematik nach DEMING												
	Business Process Reengineering (BPR) nach GAUSEMEIER ET AL.												
Entwicklung von Strategien	Prozess der Strategieentwicklung nach WIRTZ												
	Entwicklung von Geschäftsstrategien nach GRÜNIG und KÜHN												
	Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen nach BÄTZEL												
Unterstützung SEW	Szenario-Management nach GAUSEMEIER												
	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) nach VDI/ZVEI												
Strategie-Controlling	Balanced Scorecard nach KAPLAN und NORTON												
	Performance Pyramid nach LYNCH und CROSS												
	Quantum Performance Measurement Matrix nach RUMMLER und BRACHE												

LS: Leistungssteigerung RG: Reifegrad SEW: Strategieentwicklung

Bild 3-28: Bewertung der Ansätze hinsichtlich der Anforderungen an die Systematik

A5: Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten I4.0-Reifegradmodells

Keiner der untersuchten Ansätze erfüllt die Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells vollumfänglich. Einzig CHRISTIANSEN bietet mit seinem Ansatz eine Hilfestellung zur Auswahl eines geeigneten Reifegradmodells, ohne den speziellen Fokus auf Industrie 4.0 zu legen. Es gilt zu prüfen, ob der Ansatz um Industrie 4.0-spezifische Aspekte ergänzt werden muss. Alle weiteren Ansätze ermöglichen die Auswahl eines Reifegradmodells nicht, sondern verfügen über ein vorab definiertes Reifegradmodell, das zur Anwendung kommt. Vor dem Hintergrund der großen Heterogenität und Fülle existierender Industrie 4.0-Reifegradmodelle besteht Handlungsbedarf, die Auswahl methodisch zu unterstützen.

A6: Konsistenz von Entwicklungsstufen

Die Sicherstellung der Konsistenz von Entwicklungsstufen wird nur teilweise von den untersuchten Ansätzen berücksichtigt. Im Rahmen der betrachteten Reifegrad-basierten Strategie- und Transformationsansätze für Industrie 4.0 sticht WESTERMANN hervor, der im Rahmen der Leistungssteigerung von CPS mit einer Konsistenzmatrix die Konsistenz von Leistungsstufen auf Komponentenebene gewährleistet. Darüber hinaus existieren auch in anderen untersuchten Bereichen Ansätze, die die Konsistenz von Entwicklungsstufen teilweise sicherstellen. Als Beispiele seien hier BÄTZEL und HOBSCHEIDT genannt. BÄTZEL nutzt eine Konsistenzanalyse zur Prüfung der Verträglichkeit von Ausprägungen strategischer Variablen bei der Entwicklung von Strategiealternativen. HOBSCHEIDT führt eine Konsistenzprüfung von Industrie 4.0-Umsetzungsmustern durch, um zu konsistenten Industrie 4.0-Umsetzungspfaden zu gelangen. Für die Ansätze, die diese Anforderung teilweise erfüllen, muss je Einzelfall entschieden werden, ob sich Elemente in die zu entwickelnde Systematik integrieren lassen.

A7: Einsatz von Methoden der strategischen Vorausschau

Der Einsatz von Methoden der strategischen Vorausschau zur Zieldefinition wird von den untersuchten Ansätzen nur unzureichend abgedeckt. Lediglich die Szenario-Technik als originärer Ansatz zur Entwicklung von Zukunftsszenarien kann diese Anforderung gänzlich erfüllen. Zwar existieren Ansätze, die eine Zieldefinition beinhalten, diese erfolgt allerdings ohne Methoden der Vorausschau. Es besteht Handlungsbedarf, die Leistungsstufen-basierte Entwicklung von Industrie 4.0-Strategie mit den Methoden der Vorausschau zur Zieldefinition zu verknüpfen.

A8: Berücksichtigung von Auswirkungen der Umfeldentwicklungen

Die Mehrheit der untersuchten Ansätze zieht die Auswirkungen von Umfeldentwicklungen gar nicht oder nicht ausreichend ins Kalkül. Lediglich BENSIEK und GAUSEMEIER erfüllen diese Anforderung vollumfänglich. Mit Hilfe einer Beeinflussungsmatrix werden bei BENSIEK die Einflüsse auf Handlungselemente eines Reifegradmodells untersucht. Im Rahmen der Szenario-Technik nach GAUSEMEIER werden bei der Entwicklung von Um-

feldszenarien äußere Einflüsse auf einen Betrachtungsgegenstand berücksichtigt. Im weiteren Verlauf werden die Auswirkungen im Szenario-Transfer aufgegriffen und untersucht. Teilweise erfüllt wird diese Anforderung z. B. auch von WIRTZ, der im Rahmen der Strategieentwicklung eine umfangreiche Situationsanalyse durchführt, die auch die Auswirkungen von Umfeldentwicklungen (technisches, regulatives, ökonomisches und gesellschaftliches Umfeld) berücksichtigt. Die Tauglichkeit der einzelnen Aspekte für die Systematik muss überprüft werden.

A9: Durchführung eines Benchmarks

Insbesondere im Rahmen von Reifegrad-basierten Strategie- und Transformationsansätzen für Industrie 4.0 wird das Benchmarking bisher kaum berücksichtigt. Lediglich die Ansätze von SCHAGERL/JODLBAUER und SCHUMACHER sehen ein Benchmarking von Bewertungsergebnissen im Rahmen des Industrie 4.0-Reifegradmanagements vor, liefern hierzu allerdings kein explizites Vorgehen. Die weiteren Reifegrad-basierten Ansätze zur Leistungssteigerung leisten hierbei einen größeren Beitrag. Die beiden Ansätze von GAUSEMEIER und BENSIEK führen ebenfalls Vergleiche durch. Die Vergleichsdaten werden zur Einordnung des Reifegrads gegenüber einem Vergleichskollektiv herangezogen, um daraus strategische Schlüsse zu ziehen. Die Integration in die zu entwickelnde Systematik erscheint vielversprechend.

A10: Ableitung der Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategie

Die Methodische Unterstützung bei Ableitung der Industrie 4.0-Strategie erfolgt von den untersuchten Ansätzen bisher nur unzureichend. Lediglich LIPSMEIER ET AL. können diese Anforderung vollumfänglich erfüllen, indem sie ein systematisches und stringentes Vorgehen zur Entwicklung von Digitalisierungsstrategien präsentieren. Einige Ansätze wie beispielsweise SCHUH ET AL, OLEFF/MALESSA oder KAUFMANN führen zwar zur Erarbeitung potentieller Strategieinhalte, das Aggregieren dieser Inhalte in Form einer expliziten Industrie 4.0-Strategie nach dem dieser Arbeit zugrunde liegenden Strategieverständnis erfolgt jedoch nicht. Vor dem Hintergrund des uneinheitlichen Verständnisses des Strategiebegriffs erscheint eine dezidierte Überprüfung sinnvoll, inwieweit Bestandteile für die vorliegende Aufgabenstellung adaptiert werden können.

A11: Maßnahmen zur Industrie 4.0-Strategieumsetzung

Die Planung von Maßnahmen zur (Industrie 4.0-)Strategieumsetzung ist Bestandteil zahlreicher untersuchter Ansätze. Die Maßnahmenplanung erfolgt in unterschiedlichen Erscheinungsformen: Roadmaps, Maßnahmenpläne oder strategische Programme/Projekte sind Beispiele für Planungsmöglichkeiten von Umsetzungsmaßnahmen. Teilweise ist die Maßnahmenplanung als ein Bestandteil von mehreren Aufgaben eines übergeordneten Vorgehens anzusehen (z. B. SCHUH ET AL.). In anderen Fällen bildet die Maßnahmenplanung den Hauptbestandteil (vgl. HENNEGRIFF ET AL.). Hierbei ergeben sich vielversprechende Adaptionismöglichkeiten, die geprüft und bei Bedarfsfall in die zu entwickelnde Systematik zu integrieren sind.

A12: Bereitstellung eines Konzepts zum Strategie-Controlling

Die untersuchten Ansätze des Strategiecontrollings liefern vielversprechende Möglichkeiten zur Adaption und Integration in die zu entwickelnde Systematik. Vor allem die Balanced Scorecard erscheint aufgrund ihres bewährten Einsatzzwecks zur Überwachung und Steuerung von Unternehmens- und Geschäftsstrategien besonders Erfolg versprechend. Zusätzlich existieren Ansätze, wie beispielsweise von HENNEGRIFF ET AL. bei den reifegradbasierten Strategie- und Transformationsansätzen für Industrie 4.0, die Elemente des Strategiecontrollings enthalten. Es gilt zu prüfen, inwieweit die Controlling-Ansätze verwendet bzw. adaptiert werden können.

4 Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien

Dieses Kapitel beschreibt die Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Sie soll den in der Problemanalyse identifizierten Anforderungen (Abschnitt 2.7) sowie dem dargelegten Handlungsbedarf (Abschnitt 3.8) gerecht werden. Sie beinhaltet neben einem Vorgehensmodell auch Werkzeuge und Hilfsmittel zu dessen Durchführung. Zu Beginn liefert Bild 4-1 einen Überblick über das Vorgehen, das nachfolgend kurz erläutert wird. In den Abschnitten 4.1 bis 4.4 werden die vier Phasen der Systematik erläutert. Abschließend erfolgt die Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen (Abschnitt 4.5).

Zum besseren Verständnis und zur Validierung der Systematik wird das Vorgehen anhand eines durchgängigen Praxisbeispiels vorgestellt. Beim zugrunde liegenden Unternehmen handelt es sich um einen Entwicklungs- und Fertigungsdienstleister für elektronische Steuerungen. Das Unternehmen versteht sich als Technologiezentrum für Intelligente Technische Systeme (ITS) und begleitet seine Kunden im Sinne eines Lösungsanbieters von der ersten Produktidee bis zum fertiggestellten Serienprodukt. Aufgrund der Vertraulichkeit wurden schützenswerte Informationen in ihrer Darstellung verändert.

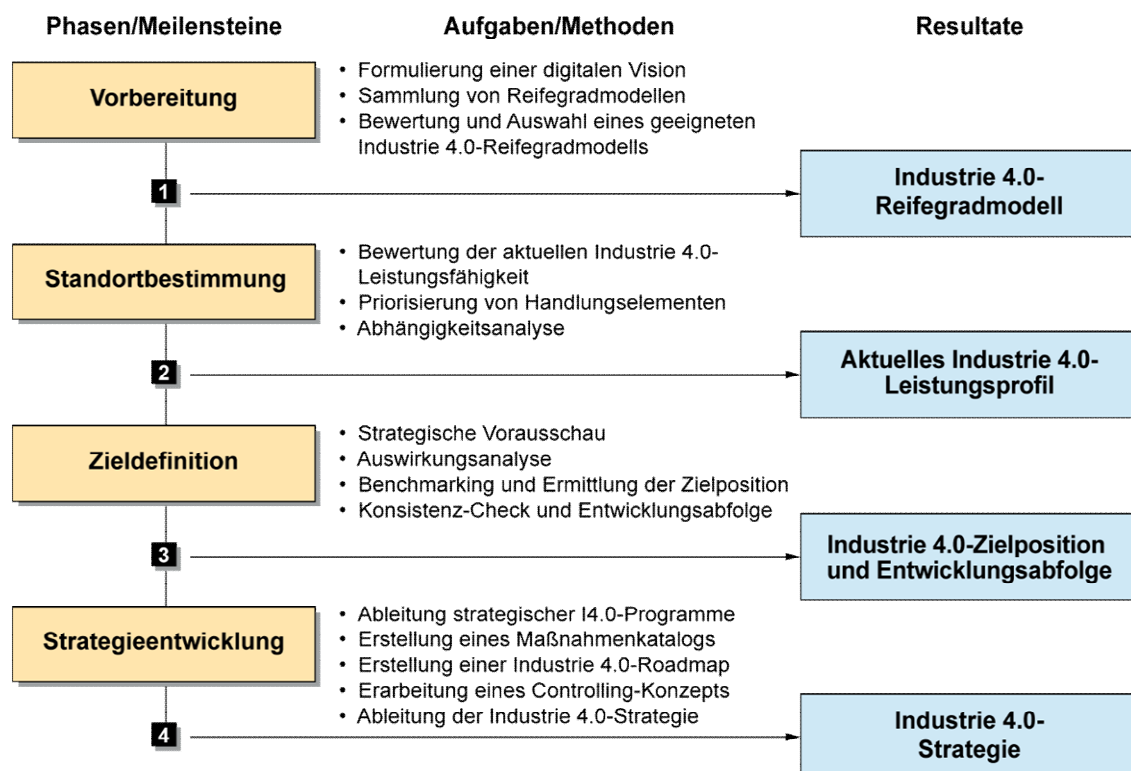


Bild 4-1: Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter I4.0-Strategien

Vorbereitung: Das Vorgehen beginnt mit der Formulierung einer digitalen Vision im Sinne eines erstrebenswerten und erreichbaren Zukunftsbildes. Sie wird nachfolgend zur

Auswahl geeigneter Industrie 4.0-Reifegradmodelle benötigt. Anschließend werden potentielle Reifegradmodelle identifiziert, die sich zur Strategieentwicklung heranziehen lassen. Die Phase schließt mit der Bewertung der identifizierten Reifegradmodelle und der Auswahl eines geeigneten Reifegradmodells zur Industrie 4.0-Strategieentwicklung.

Standortbestimmung: Bei der Standortbestimmung wird die Bewertung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit (Ist-Position) mit Hilfe des ausgewählten Reifegradmodells vorgenommen. Anschließend erfolgt die Priorisierung von Handlungselementen (Bewertungskriterien). Hierdurch ergeben sich Bereiche mit dem größten Leistungssteigerungsbedarf. Mit Hilfe einer Abhängigkeitsanalyse wird geprüft, inwieweit die priorisierten Handlungselemente aufgrund von Abhängigkeiten ergänzt werden müssen. Als Ergebnis liegt das aktuelle Industrie 4.0-Leistungsprofil vor.

Zieldefinition: Die Bestimmung der Zielposition basiert auf einer umfassenden strategischen Vorausschau. Mit Hilfe einer Trendanalyse und der Szenario-Technik werden mittel- und langfristige Umfeldentwicklungen antizipiert. Anschließend wird untersucht, inwieweit sich diese Entwicklungen auf eine mögliche Leistungssteigerung auswirken. Optional besteht die Möglichkeit, ein Benchmarking mit ähnlichen Unternehmen durchzuführen und hieraus strategische Schlüsse für anzustrebende Zielpositionen zu ziehen. Unter Berücksichtigung der äußeren Einflüsse, der Benchmarking-Erkenntnisse sowie der Ergebnisse eines Konsistenz-Checks können anschließend mittel- und langfristige Industrie 4.0-Zielprofile abgeleitet werden. Die Erreichung der Zielpositionen wird mit Hilfe einer groben Entwicklungsabfolge von Leistungsstufen vorgeplant.

Strategieentwicklung: Die grobe Entwicklungsabfolge ermöglicht die Ableitung von strategischen Industrie 4.0-Programmen. Sie werden anschließend in einem Maßnahmenplan konkretisiert. Dieser bildet die Basis für eine Industrie 4.0-Roadmap. Es folgt die Konzeption eines Strategie-Controllings zur Überwachung und Steuerung der Industrie 4.0-Strategieaktivitäten. Alle Erkenntnisse werden anschließend in einer Industrie 4.0-Strategie aggregiert. Sie bildet das zentrale Ergebnis der Systematik.

4.1 Vorbereitung

Ziel der ersten Phase ist ein ausgewähltes Industrie 4.0-Reifegradmodell, das den Bedürfnissen des Anwenderunternehmens entspricht und zur Strategieentwicklung verwendet werden kann (vgl. Abschnitt 2.5.4). Zur Vorbereitung wird zunächst eine Industrie 4.0-Vision beschrieben, die ein übergeordnetes digitales Zielbildes darstellt (Abschnitt 4.1.1). Anschließend werden potentiell geeignete Industrie 4.0-Reifegradmodelle gesammelt und dokumentiert (Abschnitt 4.1.2). Diese werden abschließend bewertet und es wird ein Erfolg versprechendes Industrie 4.0-Reifegradmodell ausgewählt. Es wird im weiteren Verlauf zur Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie herangezogen (Abschnitt 4.1.3).

4.1.1 Formulierung einer Industrie 4.0-Vision

Den Ausgangspunkt zur Anwendung der Systematik bildet ein mittelständisches produzierendes Unternehmen der Elektronikindustrie⁶¹, das sich mit der Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen konfrontiert sieht. Zu Beginn des Vorgehens erfolgt die **Formulierung einer Industrie 4.0-Vision**. Sie beschreibt das grundsätzliche anzustrebende Ziel auf Basis erkannter Erfolgspotentiale durch Industrie 4.0 [GP14, S. 12ff.]. Sie bildet aus zweierlei Gründen die Grundlage zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie: 1) Eine Strategie beschreibt den Weg zur Verwirklichung einer Vision. Die Vision dient daher als ein grundsätzliches Zielbild, das es mit der Industrie 4.0-Strategie zu erreichen gilt. Um diese Strategie Erfolg versprechend auf das Zielbild auszurichten, muss es klar definiert sein. 2) Die Strategieentwicklung erfolgt im weiteren Verlauf unter Nutzung eines Industrie 4.0-Reifegradmodells. Hierzu werden zunächst geeignete Reifegradmodelle ausgewählt. Die Eignung eines Reifegradmodells wird unter anderem dahingehend bewertet, ob Elemente enthalten sind, die sich zur Erreichung der Industrie I.0-Vision eignen bzw. den Zielerreichungsgrad kontinuierlich evaluieren lassen. Die frühzeitige Definition der Industrie 4.0-Vision wird daher als wesentlicher Erfolgsfaktor erachtet⁶².

Eine unternehmerische Vision besteht aus einem Leitbild, strategischen Kompetenzen sowie einer strategischen Position, beispielsweise in Form strategischer Geschäftsfelder [GP14, S. 192]. Gemäß LIPSMEIER ET AL. können diese Elemente zur Formulierung einer Industrie 4.0-Vision adaptiert werden [LKD+19, S. 322]. WESTERMANN ET AL. kommen zu der Erkenntnis, dass eine digitale Vision in Bezug auf die Transformation der Leistungserstellung, der Marktleistungen sowie einer Kombination beider Aspekte beschrieben werden muss [WBM14, S. 101ff.]. Im Praxisbeispiel wurden die genannten Aspekte daher zu einem konkreten Zukunftsbild für Industrie 4.0 zusammengeführt – der Industrie 4.0-Vision (Bild 4-2).

Das Leitbild beschreibt die grundsätzlichen Ziele im Sinne einer „Marschrichtung“. Im Praxisbeispiel wird vom Unternehmen das Ziel verfolgt, in der Elektronikbranche als Technologiezentrum für Intelligente Technische Systeme (ITS)⁶³ wahrgenommen zu werden. Im Sinne eines Lösungsanbieteransatzes wird der Kunde entlang des vollständigen

⁶¹ Die Systematik lässt sich auch in verwandten Branchen wie beispielsweise dem Maschinen- und Anlagenbau anwenden. Darüber hinaus ist die Anwendung nicht ausschließlich auf KMU beschränkt.

⁶² Die Formulierung der Industrie 4.0-Vision setzt ein Grundverständnis über Industrie 4.0 voraus. Kann dieses Grundverständnis nicht sichergestellt werden, ist es empfehlenswert, zunächst die eigentlich folgende Recherche von Industrie 4.0-Reifegradmodellen vorzuziehen und durch das Studium der Reifegradmodelle zunächst zu diesem Grundverständnis zu gelangen. Die Formulierung der Industrie 4.0-Vision schließt sich dann folglich an.

⁶³ ITS sind durch vier wesentliche Eigenschaften geprägt: 1) Sie agieren mit ihrem Umfeld und passen ihr Systemverhalten dementsprechend an („adaptiv“). 2) Sie sind in der Lage, vom Entwickler nicht berücksichtigte Situationen in einem dynamischen Umfeld zu bewältigen („robust“). 3) Sie antizipieren künftige Wirkungen, Einflüsse und mögliche Zustände mit Hilfe von Erfahrungswissen aus vergangenen Betriebsituationen („vorausschauend“). 4) Sie passen sich an das spezifische Benutzerverhalten und stehen in einer bewussten Interaktion mit dem Benutzer („benutzerfreundlich“) [DGI+18, S. 5ff.].

Produktlebenszyklus‘ vom Unternehmen begleitet – und zwar von der ersten Produktidee bis zum versandbereiten Endprodukt.

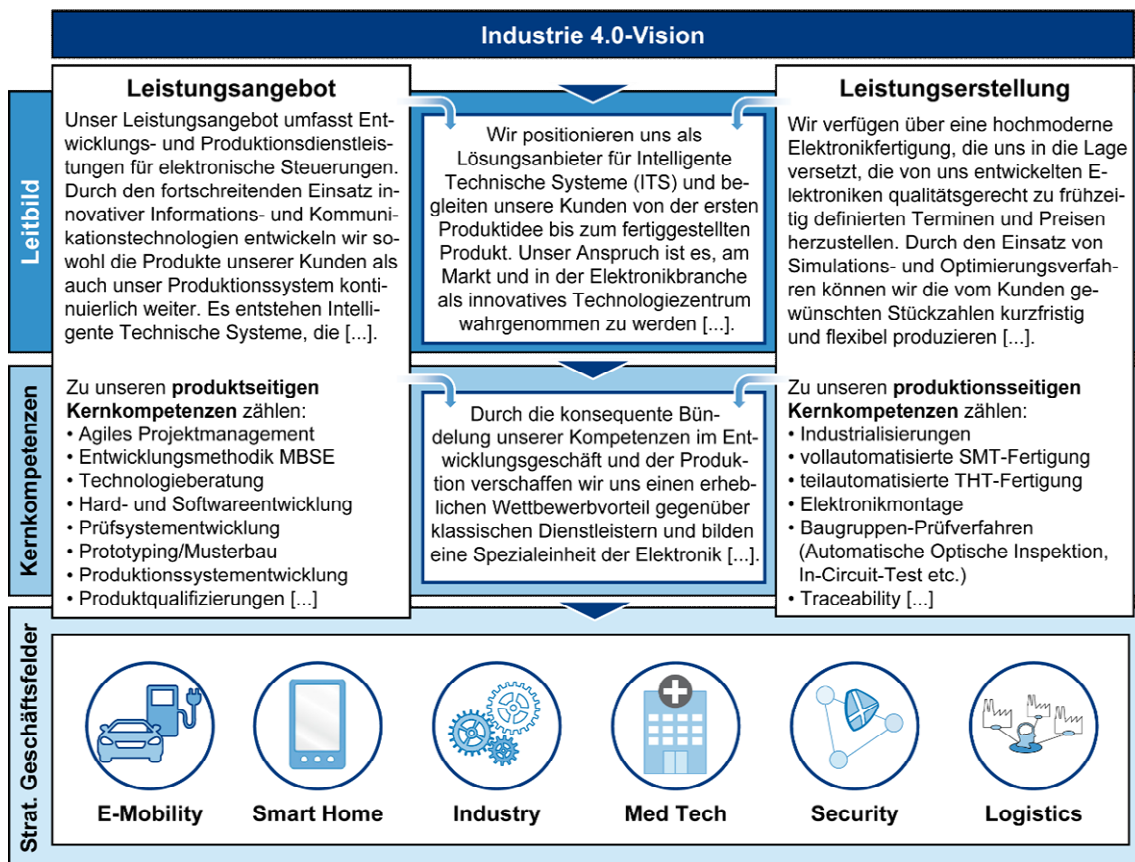


Bild 4-2: Industrie 4.0-Vision als Ausgangspunkt der Strategieentwicklung (vereinfachter Auszug) ⁶⁴

Die hierzu erforderlichen **Kernkompetenzen**, bestehend aus den produktseitigen Kernkompetenzen (Leistungsangebot) sowie den produktionsseitigen Kernkompetenzen (Leistungserstellung), werden zur Verwirklichung der Ziele konsequent gebündelt und aktiv gelebt: Entwicklungsaufträge beinhalten neben der klassischen Produktentwicklung regelmäßig auch die integrative Mitentwicklung von Produktions- und Prüfsystemen zur anschließenden Serienfertigung der Elektroniken.

Zu den **strategischen Geschäftsfeldern** zählen etablierte Geschäftsfelder wie die Elektromobilität oder Smart Home sowie im Aufbau befindliche Geschäftsfelder wie die Medizintechnik. Für jedes Geschäftsfeld existieren wiederum dezidierte Markt- bzw. Produktstrategien, deren Inhalte an dieser Stelle nicht weiter im Fokus stehen.

Die Industrie 4.0-Vision stellt ein anzustrebendes Zielbild für das Unternehmen in der Zukunft dar. Die zu entwickelnde Industrie 4.0-Strategie beschreibt den Weg zu dieser

⁶⁴ SMT steht für Surface Mount Technology und bezeichnet eine Oberflächenmontagetechnik auf elektronischen Leiterplatten [Föh02, S. 8ff.]. THT steht für Through Hole Technology und bezeichnet im Gegensatz zur Oberflächenmontage ein Fertigungsverfahren, bei dem mittels Durchsteckmontage und zugehörigen Drahtanschlüssen Bauteile auf Leiterkarten appliziert werden [Föh02, S. 8ff.].

Vision. Sie ist daher konsequent auf diese Vision auszurichten. Die Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie erfolgt unter Zuhilfenahme eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells. Die Eignung des Reifegradmodells kann dabei je nach Vorhaben und Anwenderunternehmen variieren. Aufgrund der Vielzahl existierender Reifegradmodelle muss der Auswahlprozess methodisch unterstützt werden. Hierfür wird auf einen schrittweisen Selektionsprozess aus mehreren Phasen zurückgegriffen (Bild 4-3). Diese werden im Folgenden durchlaufen und in den Abschnitten 4.1.2 und 4.1.3 detailliert beschrieben.

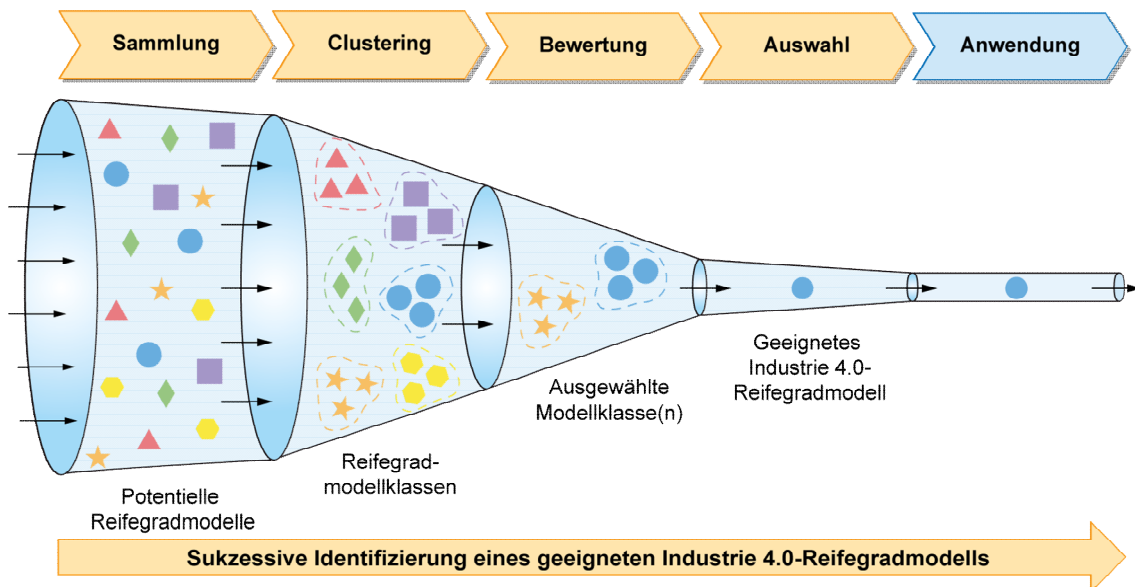


Bild 4-3: Vorgehensweise zur Identifizierung eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells zur Strategieentwicklung

4.1.2 Sammlung von Reifegradmodellen

Gegenstand dieses Abschnitts ist die **Identifikation von Industrie 4.0-Reifegradmodellen**, die sich potentiell zur Industrie 4.0-Strategieentwicklung eignen (vgl. Abschnitt 2.5.3). Da eine vollständige Repräsentation aller existierenden Reifegradmodelle unmöglich ist, beschränkt sich der Anspruch auf eine repräsentative Auswahl. Ein wesentliches Kriterium ist die vollständige Zugänglichkeit zu den Inhalten.

Ein bewährtes Verfahren zur Sammlung von Reifegradmodellen stellt eine **medienbasierte Suche** dar. Sie kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Es empfiehlt sich, die Suche mit Hilfe einer Suchstrategie zu planen (vgl. [Ech14, S. 89ff.]). Neben den Fragen *Wer?* die Suche durchführt und *Was?* gesucht wird, spielen im Rahmen der Identifikation von Industrie 4.0-Reifegradmodellen vor allem die Fragen *Wo?* und *Womit?* eine entscheidende Rolle (Bild 4-4).

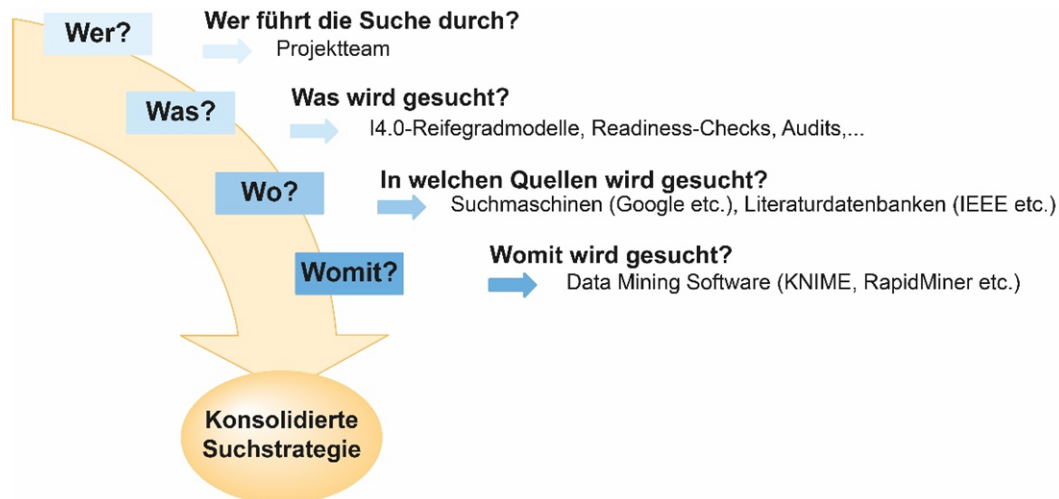


Bild 4-4: Suchstrategie für Industrie 4.0-Reifegradmodelle in Anlehnung an [AEG+12, S. 154f.] bzw. [Ech14, S. 99f.]

Im Validierungsprojekt erfolgt die Suche durch das Projektteam (*Wer?*) bestehend aus wissenschaftlichen Mitarbeitern sowie den beteiligten Mitarbeitern des Unternehmens aus den Bereichen Unternehmensführung, Arbeitsvorbereitung und Produktion. Gesucht werden Industrie 4.0-Reifegradmodelle bzw. Reifegradmodelle mit Fokus Digitalisierung, denen das Verständnis von Industrie 4.0 zugrunde liegt (*Was?*). Hier werden auch synonym verwendete Begriffe berücksichtigt (z. B. Industrie 4.0-Readiness, Industrie 4.0-Audit, Digitalisierungsindex etc.). Die Suche erfolgt auf Webseiten mit Hilfe etablierter Suchmaschinen (z. B. Google) und in geeigneten Literaturdatenbanken (z. B. Google Scholar, ResearchGate, SpringerLink, IEEE) (*Wo?*). Je nach Quelle werden hierfür Schlagwörter aus Schlagwortlisten und geeignete boolesche Operatoren geschickt miteinander verknüpft (*Womit?*). Zusätzlich kann die Suche durch Data Mining Software unterstützt werden (z. B. KNIME oder RapidMiner)⁶⁵.

Die medienbasierte Suche hat im Praxisbeispiel 27 Reifegradmodelle hervorgebracht. Diese werden in einer Liste⁶⁶ dokumentiert (siehe Abschnitt A4). Die Liste enthält eine Nummer, die Bezeichnung sowie den Herausgeber und bildet dadurch die Basis für eine umfangreichere Dokumentation. Die gezeigte Liste eignet sich in dieser Form noch nicht, um eine Einschätzung über die Charakteristika der Reifegradmodelle zu erhalten. Aufgrund der heterogenen Eigenschaften ist daher eine detailliertere Beschreibung mit Hilfe von charakteristischen Merkmalen sowie zugehörigen Merkmalsausprägungen erforderlich. Diese erfolgt im nächsten Arbeitsschritt.

⁶⁵ Die medienbasierte Suche von I4.0-Reifegradmodellen bildet im Rahmen der hier im Fokus stehenden I4.0- Strategieentwicklung lediglich ein Mittel zum Zweck. Aus diesem Grund wird auf eine umfangreichere Darstellung des Vorgehens verzichtet und auf die Dokumentationen der Softwareanbieter verwiesen (zum Beispiel [KNI21-ol], [Rap22-ol]).

⁶⁶ Die Sammlung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei den Bezeichnungen der Reifegradmodelle wurden die Eigenschreibweisen bestmöglich berücksichtigt.

4.1.3 Bewertung und Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells

Die Auflistung der Industrie 4.0-Reifegradmodelle wird in diesem Abschnitt herangezogen, um eine detaillierte Beschreibung und Dokumentation zu vollziehen und die Auswahl eines geeigneten Reifegradmodells zu ermöglichen.

Die Recherchen im Validierungsprojekt haben die große Vielfalt unterschiedlicher Reifegradmodelle bestätigt, gleichzeitig aber auch Hinweise ergeben, dass es offensichtlich Reifegradmodelle mit ähnlichen Eigenschaften gibt. Um dies zu verifizieren, wird eine **Clusteranalyse** durchgeführt. Sie ist ein geeignetes Hilfsmittel zum Auffinden von Ähnlichkeiten und Gruppieren ähnlicher Objekte [GP14, S. 63f.]. Durch eine Beschreibung der Reifegradmodelle mit Hilfe von Merkmalen und Merkmalsausprägungen⁶⁷ sowie der anschließenden Berechnung eines Proximitätsmaßes ergeben sich die gewünschten Cluster. Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe einer **Multidimensionalen Skalierung (MDS)**⁶⁸ [Kri18, S. 76ff.]. Sie ermöglicht die Darstellung von subjektiv empfundenen Ähnlichkeiten in einem zweidimensionalen Wahrnehmungsraum (vgl. [GP14, S. 67]) und bildet daher das Mittel der Wahl, um zunächst eine gewisse Ordnung in die große Schar von Industrie 4.0-Reifegradmodellen zu bringen. Hierdurch werden die 27 identifizierten Reifegradmodelle in unterschiedlichen Reifegradmodellklassen visualisiert (Bild 4-5). Die MDS zeigt die folgenden Reifegradmodellklassen⁶⁹:

Online-Self-Checks mit Benchmark (Klasse I): Hierbei handelt es sich um Online-Reifegradmodelle für Industrie 4.0 mit Benchmarking-Möglichkeit und ohne KMU-Fokus. Der Schulungs- und Anwendungsaufwand ist gering. Die Definition eines Soll-Zustands ist nicht expliziter Bestandteil. Die Bewertungsergebnisse werden zwar visualisiert, Handlungsempfehlungen werden allerdings nicht ausgegeben. Beispiel: *Quick Check Industrie 4.0 Reifegrad* vom Kompetenzzentrum Mittelstand NRW.

Online-Self-Checks ohne Benchmark (Klasse II): Hierbei handelt es sich ebenfalls um Online-Reifegradmodelle für Industrie 4.0 ohne KMU-Fokus. Im Gegensatz zu Klasse I ist ein Benchmarking bei der Mehrheit der Modelle nicht vorgesehen. Die Ergebnisse werden in den meisten Fällen grafisch aufbereitet. Zusätzlich werden Handlungsempfehlungen ausgegeben. Beispiel: *Industrie 4.0 Quick Check* von der Gesellschaft zur Prüfung von Software (GPS).

⁶⁷ Die hier verwendeten Merkmale und Merkmalsausprägungen können Abschnitt A4 im Anhang entnommen werden.

⁶⁸ Das Vorgehen ähnelt im Wesentlichen dem Klassifizierungsverfahren von CHRISTIANSEN (vgl. [Chr09, S. 105ff.]).

⁶⁹ Bei der Darstellung der Ähnlichkeiten ist zu beachten, dass diese auf der subjektiven Bewertung der Reifegradmodelle durch den Verfasser beruht. Diese ist auf Basis der freien Verfügbarkeit von Informationen zu den betrachteten Reifegradmodellen erfolgt. Die entstandenen Klassen enthalten Reifegradmodelle, die sich in den Hauptunterscheidungsmerkmalen stark ähneln. Das bedeutet nicht, dass sie in den Merkmalsausprägungen vollends übereinstimmen.

Allgemeine Workshop-Assessments (Klasse III): Die Klasse beinhaltet sehr umfangreiche Workshop-Assessments mit einem Umfang größer eines Tages sowie einer Kollektivbewertung von internen und externen Assessoren. KMU stehen nicht im Fokus. Gegenstand ist auch die methodische Definition eines Soll-Zustands. Zusätzlich werden Handlungsempfehlungen ausgegeben. Beispiel: Industrie 4.0-Reifegradmodell von TSCHANDL ET AL.

Spezifische Workshop-Assessments (Klasse IV): Die enthaltenen Reifegradmodelle sind durch eine spezifische Ausrichtung gekennzeichnet und weisen keinen KMU-Fokus auf. Die Bewertung erfolgt offline in Einzel- bzw. Gruppenbefragungen. Sie sind mit einem mittleren Schulungsaufwand und einer Erhebungsdauer von bis zu einem Tag weniger aufwändig als die Modelle der Klasse 3. Eine Ergebnisvisualisierung erfolgt nicht, Handlungsempfehlungen werden aber ausgegeben. Beispiel: *System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0)* nach LEY ET AL.

Soziotechnische Workshop-Assessments (Klasse V): Die Reifegradmodelle dieser Klasse kennzeichnen sich durch eine soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0 in Workshop-Assessments. Der Schulungs- und Anwendungsaufwand ist mit einem Tag überschaubar. Soll-Zustände werden entweder intuitiv oder analytisch-methodisch definiert. Die Ergebnisse des Assessments werden grafisch visualisiert und um Handlungsempfehlungen ergänzt. Ein Benchmarking erfolgt nicht. Beispiel: *Werkzeugkasten Industrie 4.0* nach ANDERL ET AL.

Soziotechnische Online-Assessments (Klasse VI): Die Reifegradmodelle dieser Klasse betrachten Industrie 4.0 aus einem soziotechnischen Blickwinkel und beleuchten neben der Produktion eines Unternehmens auch mehrheitlich die Produkte und Dienstleistungen eines Unternehmens. Die Bewertung erfolgt überwiegend in Online-Einzelbefragungen, wodurch sich der Aufwand für Schulung und Anwendung in Grenzen hält. Knapp zwei Drittel der Modelle enthalten einen Benchmark. Ein Soll-Zustand wird nur teilweise definiert. In den meisten Fällen erfolgt eine Ergebnisvisualisierung mit Ausgabe von Handlungsempfehlungen. Beispiel: *Industrie 4.0-Readiness-Check* von IMPULS (VDMA), FIR e.V. und IW Consult.

- 1) **Vorauswahl eines Clusters und Auswahl des finalen Reifegradmodells:** Jedes Cluster verfügt über eine Kurzbeschreibung mit Hauptunterscheidungsmerkmalen (siehe oben). Hierdurch werden die Charakteristika der Cluster bereits deutlich. Dies ermöglicht eine Vorauswahl eines relevanten Clusters bzw. mehrerer Cluster. Die Anzahl in Frage kommender Reifegradmodelle wird hierdurch bereits reduziert. Für die übrigen Reifegradmodelle kann eine vereinfachte Einzelfallentscheidung getroffen werden und das zu verwendende Industrie 4.0-Reifegradmodell ausgewählt werden.
- 2) **Definition eines Wunsch-Reifegradmodells und direkter Vergleich:** Alle Reifegradmodelle wurden mit Hilfe der in Abschnitt A4 dargestellten Merkmale und Merkmalsausprägungen beschrieben. Die Ausprägungen können genutzt werden,

um ein für das Vorhaben ideales Reifegradmodell zu definieren. Durch einen direkten Vergleich der identifizierten Reifegradmodelle mit den Ausprägungen des „Idealbildes“ kann ein Reifegradmodell mit der größtmöglichen Übereinstimmung ermittelt werden.

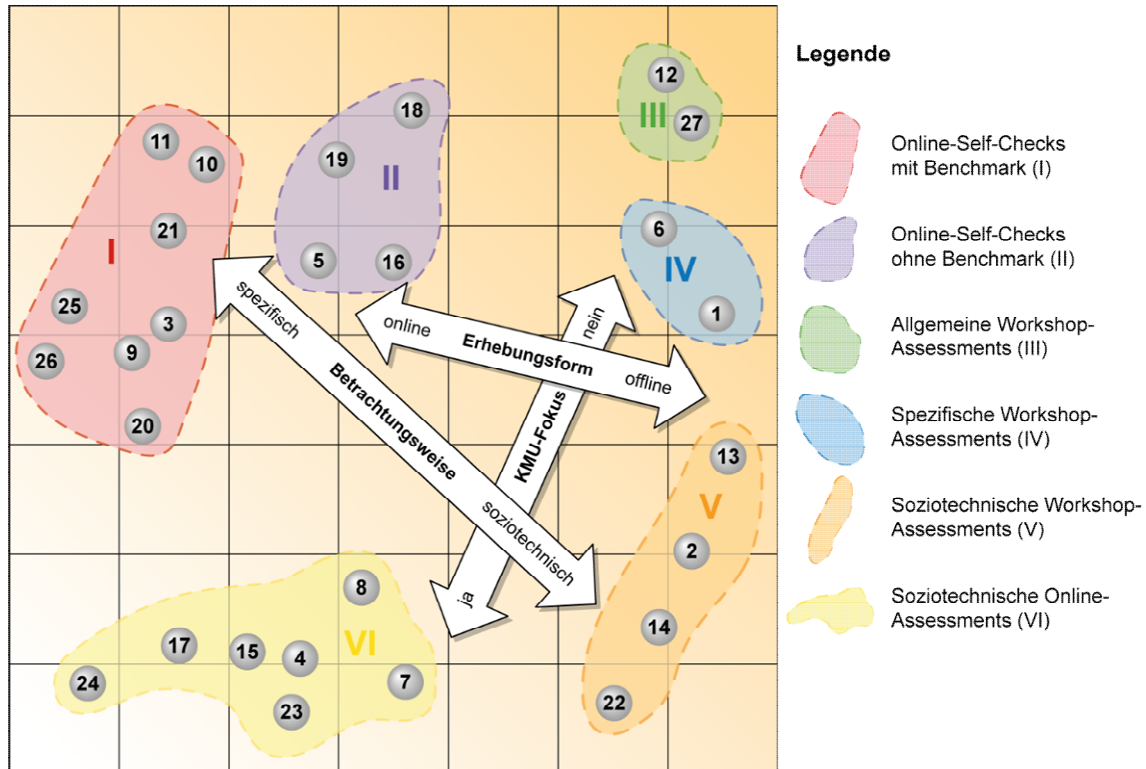


Bild 4-5: Multidimensionale Skalierung (MDS) zur Visualisierung der Ähnlichkeiten von Industrie 4.0-Reifegradmodellen [PG20, S. 6ff.]

Für den ersten Fall kann es je nach Anzahl der in der ausgewählten Klasse enthaltenen Reifegradmodelle erforderlich sein, die Feinauswahl methodisch zu unterstützen. Ein geeignetes und etabliertes Bewertungsverfahren stellt die **Nutzwertanalyse (NWA)** dar. Sie ermöglicht die Beurteilung der Industrie 4.0-Reifegradmodelle in Bezug auf verschiedene Bewertungskriterien. Damit stellt sie für Anwender ein geeignetes Hilfsmittel dar, da hierdurch die individuellen Anforderungen der Anwender an das Reifegradmodell durch eigens definierte Kriterien berücksichtigt werden.

Im Folgenden gilt es, diese Kriterien zu definieren. Ein im Praxisbeispiel besonders wichtiges Kriterium stellt die **Eignung zur Bewertung der Industrie 4.0-Vision** dar. Dahinter verbirgt sich die Eigenschaft, dass das Reifegradmodell inhaltlich geeignet ist, das Erreichen der Industrie 4.0-Vision zu evaluieren. Im Validierungsprojekt wurden darüber hinaus die Kriterien Bewertungsspektrum, Zugänglichkeit und Benutzerfreundlichkeit herangezogen. Das **Bewertungsspektrum** misst den Umfang und Detaillierungsgrad eines Reifegradmodells. Beispielsweise zählen soziotechnische Reifegradmodelle, die mehrere Themen wie Produktion, Produkte, Services und Logistik bzw. Wertschöpfungs-

ketten beleuchten, zu den umfangreicheren Modellen. Bei der **Zugänglichkeit** wird bewertet, wie einfach der Zugriff auf die zum Reifegradmodell gehörigen Informationen wie beispielsweise Fragebögen, Checklisten o.ä. ist. Mögliche Hindernisse sind erforderliche Registrierungen, Lizenzen oder sonstige Gebühren. Unter **Benutzungsfreundlichkeit** wird die Eigenschaft verstanden, wie intuitiv und einfach die Anwendung des Reifegradmodells erfolgen kann. Die Bewertung der Reifegradmodelle erfolgt mit Hilfe einer Tabelle (Bild 4-6).

Die Bewertung führt in diesem Fall zur Auswahl des „Quick-Check Industrie 4.0“, welcher aus dem Forschungsverbundprojekt INLUMIA⁷⁰ resultiert. Das Reifegradmodell wird im Rahmen der anschließenden Standortbestimmung zur Ermittlung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit herangezogen.

Reifegradmodell- attraktivität	Gew. (%)	SMMI 4.0 LEYH ET AL.		Werkzeugkasten I4.0 ANDERL ET AL.		...	INLUMIA Quick-Check I4.0 GAUSEMEIER ET AL.		Digitalisierungs- index Deutsche Telekom		Leitfaden I4.0 IHK München/ Oberbayern		...
		Bew.	BxG	Bew.	BxG		Bew.	BxG	Bew.	BxG	Bew.	BxG	
1. Eignung (I4.0-Vision) 3 = hoch 2 = mittel 1 = niedrig 0 = unzulänglich	30	2	0,6	2	0,6		3	0,9	2	0,6	2	0,6	
2. Bewertungsspektrum 3 = hoch 2 = mittel 1 = niedrig 0 = unzulänglich	30	0	0	0	0		2	0,6	0	0	0	0	
3. Zugänglichkeit 3 = leicht zugänglich 2 = mit Hindernissen verbunden 1 = schwer zugänglich 0 = nicht zugänglich	20	3	0,6	3	0,6	...	3	0,6	3	0,6	3	0,6	...
4. Benutzungsfreundlichkeit 3 = hoch 2 = mittel 1 = gering 0 = nicht vorhanden	20	1	0,2	2	0,4		3	0,6	3	0,6	2	0,4	
Σ	100	1,4		1,6		...	2,7		1,8		1,6		...

Bild 4-6: Bewertung von I4.0-Reifegradmodellen mit einer Nutzwertanalyse (Auszug)

4.2 Standortbestimmung

Ziel der zweiten Phase sind die aktuelle Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit sowie Handlungsfelder, in denen der größte Bedarf für eine Leistungssteigerung existiert. Zunächst erfolgt die Bewertung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit (Ist-Position) und eine erste Abschätzung wünschenswerter Ziel-Leistungsstufen (Abschnitt 4.2.1). Durch eine Priorisierung von Bewertungskriterien ergeben sich in Abschnitt 4.2.2 Handlungsfelder, die auf den größten Leistungssteigerungsbedarf hinweisen und im weiteren Verlauf detailliert betrachtet werden. In Abschnitt 4.2.3 wird eine Abhängigkeitsanalyse

⁷⁰ Bei INLUMIA – Instrumentarium zur Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0 – handelt es sich um ein Forschungsverbundprojekt, das mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung NRW (ERFRE.NRW) unterstützt wurde und die nachhaltig vorteilhafte Positionierung von Unternehmen des Maschinenbaus und verwandter Branchen im globalen Wettbewerb zum Ziel hatte.

durchgeführt. Sie ermöglicht die Festlegung der finalen Kriterien zur Leistungssteigerung. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem in Abschnitt 4.1.3 ausgewählten Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ von INLUMIA.

4.2.1 Bewertung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit

Das ausgewählte Reifegradmodell dient im Folgenden dazu, die aktuelle Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit zu ermitteln (Ist-Position). Hierzu wird das Unternehmen in den Dimensionen Technik, Business und Mensch detailliert beleuchtet (Bild 4-7). Der Aufbau des Quick-Checks ist an das etablierte MTO-Konzept⁷¹ angelehnt (vgl. Abschnitt 2.4.4). Jede Dimension verfügt wiederum über vier verschiedene Handlungsbereiche.

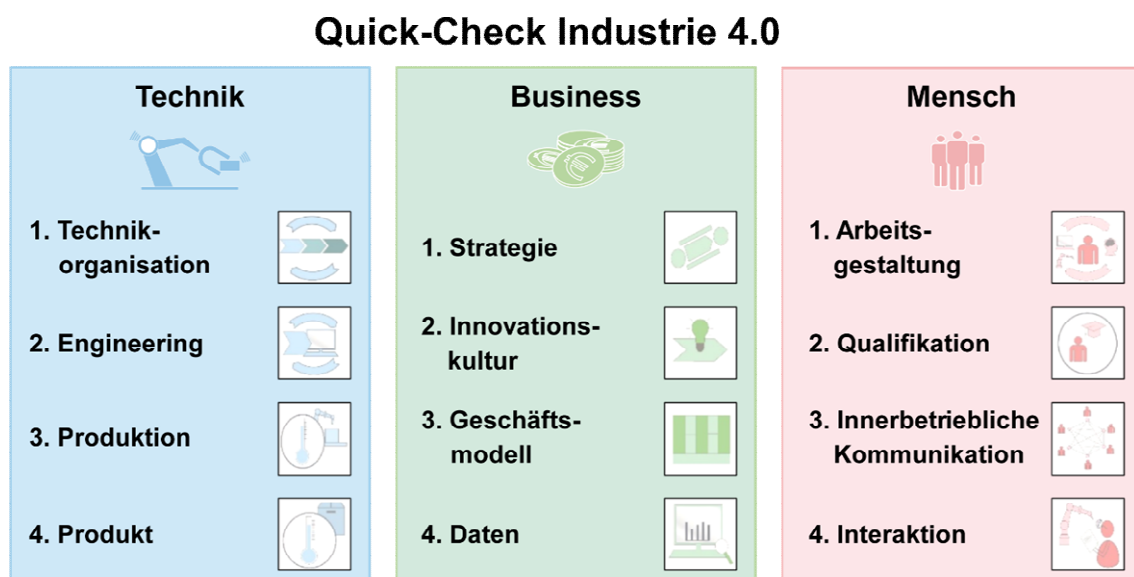


Bild 4-7: Schematischer Aufbau des Reifegradmodells „Quick-Check Industrie 4.0“ [KDM+18, S. 84f.]

Je Handlungsbereich existieren Kriterien mit jeweils vier Leistungsstufen, mit denen die Leistungsfähigkeit des Unternehmens im Kontext Industrie 4.0 zuverlässig bewertet werden kann. Die Bewertungsergebnisse werden anonymisiert in einer Datenbank abgespeichert und zu Benchmarking-Zwecken herangezogen (vgl. Abschnitt 2.5.5).

Die **Anwendung des Industrie 4.0-Reifegradmodells** erfolgt im Workshop mit Mitarbeitern des Validierungspartners. Das Workshop-Format eignet sich besonders gut, da Experten verschiedener Fachrichtungen das Thema Industrie 4.0 aus mehrerlei Blickwinkeln umfassend betrachten. Die Durchführung in der Praxis hat gezeigt, dass Einschätzungen der tatsächlichen aktuellen Leistungsfähigkeit stellenweise kontrovers diskutiert werden, die gemeinsame Diskussion die Güte der Bewertung erheblich steigert und ein

⁷¹ Die Dimension *Organisation* wurde darin durch die Dimension *Business* ersetzt. Sie repräsentiert neben den rein organisatorischen Aspekten auch strategisch-wirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0.

gemeinsames Verständnis für das Thema Industrie 4.0 geschaffen wird. Erfolgsfaktor jener Workshops ist die **Moderation durch einen Methodenexperten**.

Das gewählte Reifegradmodell umfasst 59 Kriterien bzw. Handlungselemente. Jedes Kriterium verfügt über vier Leistungsstufen. Ein Beispiel für existierende Leistungsstufen anhand des Kriteriums B11 „Innovationsorganisation“ liefert Bild 4-8.

B11: Innovationsorganisation

Beschreibung

Die Innovationsorganisation beinhaltet die Benennung und Aufteilung der Verantwortlichkeiten innerhalb des Innovationsprozesses sowie Freiheitsgrade bei der Organisationsgestaltung in Abhängigkeit des Vorhabens (inkrementelle versus radikale Innovationen).

Leistungsstufen

Stufe 1: Ineffizient und unflexibel

Keine klaren Verantwortlichkeiten innerhalb des Unternehmens für inkrementelle und radikale Innovationen sowie ein starrer, vorhabensunabhängiger Innovationsprozess.

Stufe 2: Effizient, aber unflexibel

Klare, jedoch starre Verantwortlichkeiten innerhalb des Unternehmens für inkrementelle und radikale Innovationen sowie starrer, vorhabensunabhängiger Innovationsprozess.

Stufe 3: Effizient und teilweise flexibel

Klare Verantwortlichkeiten innerhalb des Unternehmens für inkrementelle und radikale Innovationen. Maßnahmen wie z.B. pilothafte Ausgründungen oder die Schaffung neuer Geschäftsbereiche werden nur bei minimalen Risiken ergriffen.

Stufe 4: Effizient und flexibel

Klare Verantwortlichkeiten innerhalb des Unternehmens für inkrementelle und radikale Innovationen. Getrennte Organisationseinheiten, angepasst an die erforderlichen Prozesse, Kulturen und Kompetenzen, für das angestammte und neu zu erschließende Geschäft, die auf Ebene der Unternehmensleitung wieder zusammengeführt werden.

Bild 4-8: Beschreibung eines Leistungskriteriums samt Leistungsstufen

Alle Kriterien des Reifegradmodells werden anhand ihrer Leistungsstufen einzeln bewertet. Die vollständige Bewertung aller Kriterien ermöglicht die **Erstellung eines heutigen Leistungsprofils (Ist-Position)**. Darüber hinaus bietet der Bewertungsbogen die Möglichkeit, eine erste Einschätzung der gewünschten Soll-Position je Kriterium vorzunehmen. Es ist hervorzuheben, dass es sich hierbei noch nicht um eine verifizierte Soll-Position handelt, sondern eine **erste Abschätzung der zukünftig zu erreichenden Leistungsfähigkeit** im Zeithorizont von ca. fünf Jahren. Bild 4-9 zeigt einen Auszug des Bewertungsbogens sowie das aktuelle und zukünftige Soll-Profil als Abschätzung.

Der Workshop gibt Aufschluss darüber, in welchem Stadium sich das Anwenderunternehmen in Bezug auf Industrie 4.0 derzeit befindet. Je nach Umfang des eingesetzten Reifegradmodells kann es sinnvoll sein, die Anzahl der untersuchten Kriterien für den weiteren Verlauf zu reduzieren. Dies ist auch im Anwendungsbeispiel der Fall. Durch eine Priorisierung der Handlungselemente wird die Anzahl in Betracht gezogener Kriterien im nächsten Schritt reduziert.

Quick-Check Industrie 4.0

Auszug

● Heutiges Leistungsprofil (Ist-Position)
○ Zukünftiges Leistungsprofil (Abschätzung Soll-Position)

INDUSTRIE 4.0

	T1 Horizontale Integration: Wie vernetzt sind die Prozesse/Ressourcen der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette?														
	1 Keine horizontale Integration	2 Partielle horizontale Integration	3 Umfangreiche horizontale Integration	4 Durchgängige horizontale Integration											
Technikorganisation	Heutige Position: <input type="checkbox"/>														
	Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>														
	T2 Vertikale Integration: Wie stark vernetzt sind die verschiedenen Unternehmensebenen miteinander? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">1 Keine vertikale Integration</th> <th style="text-align: center;">2 Partielle vertikale Integration</th> <th style="text-align: center;">3 Umfangreiche vertikale Integration</th> <th style="text-align: center;">4 Durchgängige vertikale Integration</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Heutige Position: <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Zielposition (2025): <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				1 Keine vertikale Integration	2 Partielle vertikale Integration	3 Umfangreiche vertikale Integration	4 Durchgängige vertikale Integration	Heutige Position: <input type="checkbox"/>				Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>		
1 Keine vertikale Integration	2 Partielle vertikale Integration	3 Umfangreiche vertikale Integration	4 Durchgängige vertikale Integration												
Heutige Position: <input type="checkbox"/>															
Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>															
T3 IT-Prozessunterstützung: Wie hoch ist der Anteil der digitalen Prozessunterstützung in der Entwicklung? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">1 Rudimentäre IT-Unterstützung</th> <th style="text-align: center;">2 Umfangreiche IT-Unterstützung</th> <th style="text-align: center;">3 Durchgehende IT-Unterstützung</th> <th style="text-align: center;">4 Unternehmensübergreif. Unterstützung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Heutige Position: <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Zielposition (2025): <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				1 Rudimentäre IT-Unterstützung	2 Umfangreiche IT-Unterstützung	3 Durchgehende IT-Unterstützung	4 Unternehmensübergreif. Unterstützung	Heutige Position: <input type="checkbox"/>				Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>			
1 Rudimentäre IT-Unterstützung	2 Umfangreiche IT-Unterstützung	3 Durchgehende IT-Unterstützung	4 Unternehmensübergreif. Unterstützung												
Heutige Position: <input type="checkbox"/>															
Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>															

	B12 Geschäftsmodellentwicklung: Wie erfolgt die Entwicklung von Geschäftsmodellen?														
	1 Unstrukturiert	2 Rückgriff auf Strukturierungshilfen (STH)	3 Rückgriff auf STH und Methoden	4 Situative Auswahl aus Methodenpool											
Geschäftsmodell	Heutige Position: <input type="checkbox"/>														
	Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>														
	B13 Produkt-Service-Angebot: Werden physische Produkte durch sinnvolle optionale Services über die gesamte Lebensdauer hinweg ergänzt? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">1 Keine Services</th> <th style="text-align: center;">2 Serviceangebot mit allgemeinen Add-Ons</th> <th style="text-align: center;">3 Serviceangebot mit produktspez. Add-Ons</th> <th style="text-align: center;">4 Anbieten v. Produkt-Service-Systemen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Heutige Position: <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Zielposition (2025): <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				1 Keine Services	2 Serviceangebot mit allgemeinen Add-Ons	3 Serviceangebot mit produktspez. Add-Ons	4 Anbieten v. Produkt-Service-Systemen	Heutige Position: <input type="checkbox"/>				Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>		
1 Keine Services	2 Serviceangebot mit allgemeinen Add-Ons	3 Serviceangebot mit produktspez. Add-Ons	4 Anbieten v. Produkt-Service-Systemen												
Heutige Position: <input type="checkbox"/>															
Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>															

	M14 Software-Usability: Ist die Bediensoftware benutzerfreundlich gestaltet und individuell an den Benutzer und die Tätigkeiten anpassbar?														
	1 Umständliche Bedienbarkeit und geringe Anpassungsmöglichkeiten	2 Gute Bedienbarkeit und geringe Anpassungsmöglichkeiten	3 Sehr gute Bedienbarkeit und umfassende Anpassungsmöglichkeiten	4 Hervorragende Bedienbarkeit u. umfassende, systemgestützte Anpassungsmögl.											
Mensch-Technik-Interaktion	Heutige Position: <input type="checkbox"/>														
	Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>														
	M15 Unterstützung durch Assistenzsysteme: In welcher Form bietet das System/die Maschine Hilfestellung bei der Behebung von Problemen? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">1 Einfache Störungsmeldung</th> <th style="text-align: center;">2 Verweise auf „Hilfe“-Datenbank</th> <th style="text-align: center;">3 Vorschlag konkreter Lösungsansätze</th> <th style="text-align: center;">4 Unmittelbare, detail. Handlungsanweis.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Heutige Position: <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Zielposition (2025): <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				1 Einfache Störungsmeldung	2 Verweise auf „Hilfe“-Datenbank	3 Vorschlag konkreter Lösungsansätze	4 Unmittelbare, detail. Handlungsanweis.	Heutige Position: <input type="checkbox"/>				Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>		
1 Einfache Störungsmeldung	2 Verweise auf „Hilfe“-Datenbank	3 Vorschlag konkreter Lösungsansätze	4 Unmittelbare, detail. Handlungsanweis.												
Heutige Position: <input type="checkbox"/>															
Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>															
M16 Mensch-Maschine-Abhängigkeit: Wie stark sind die Mitarbeiter für einen guten Arbeitsfluss auf das System/die Maschine angewiesen? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">1 Starke Abhängigkeit, wenige Anpassungsmöglichkeiten</th> <th style="text-align: center;">2 Mäßige Abhängigkeit durch kleinere Anpassungsmögl.</th> <th style="text-align: center;">3 Geringe Abhängigkeit durch Anpassungsmöglichkeit</th> <th style="text-align: center;">4 Minimale Abhängigkeit durch autonome Anpassung d. Technik</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Heutige Position: <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Zielposition (2025): <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				1 Starke Abhängigkeit, wenige Anpassungsmöglichkeiten	2 Mäßige Abhängigkeit durch kleinere Anpassungsmögl.	3 Geringe Abhängigkeit durch Anpassungsmöglichkeit	4 Minimale Abhängigkeit durch autonome Anpassung d. Technik	Heutige Position: <input type="checkbox"/>				Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>			
1 Starke Abhängigkeit, wenige Anpassungsmöglichkeiten	2 Mäßige Abhängigkeit durch kleinere Anpassungsmögl.	3 Geringe Abhängigkeit durch Anpassungsmöglichkeit	4 Minimale Abhängigkeit durch autonome Anpassung d. Technik												
Heutige Position: <input type="checkbox"/>															
Zielposition (2025): <input type="checkbox"/>															

Bild 4-9: Heutiges Industrie 4.0-Leistungsprofil sowie Abschätzung der zukünftigen I4.0-Leistungsfähigkeit in den Dimensionen Technik, Business und Mensch

4.2.2 Priorisierung von Handlungselementen

Die Anzahl der Handlungselemente bzw. Kriterien variiert je nach ausgewähltem Reifegradmodell. Im vorliegenden Fall verfügt das INLUMIA-Reifegradmodell über 59 Kriterien. Diese können nicht allesamt in die Leistungssteigerung einbezogen werden. Hierfür können zum Beispiel die folgenden Gründe sprechen:

- **Kein Leistungssteigerungsbedarf:** Die Leistungsbewertung hat gezeigt, dass das Kriterium bisher bereits sehr gut entwickelt ist und daher kein Bedarf für eine Leistungssteigerung besteht, oder das Kriterium ist im konkreten Fall nicht relevant (**Fokussierung**).
- **Strategische Restriktionen:** Es existieren Vorgaben aus der Unternehmens- bzw. Geschäftsstrategie, die der Weiterentwicklung eines Kriteriums entgegenstehen bzw. diese nicht erforderlich machen (**Strategiekonformität**).
- **Begrenzte Ressourcen:** Das Anwenderunternehmen verfügt über begrenzte Ressourcen (z. B. personell oder finanziell) und kann daher nicht alle Kriterien gleichermaßen in die Leistungssteigerung einbeziehen (**Aufwand-Nutzen-Verhältnis**).

Die Auswahl der relevanten Handlungselemente kann intuitiv im Projektteam, formalisiert mit Hilfe von spezifischen Industrie 4.0-Tiefenanalysen oder in Kombination erfolgen:

Intuitiv im Projektteam: Die Auswahl erfolgt pragmatisch, kaum formalisiert und allenfalls unter Verwendung einfacher Hilfsmittel. Die Auswahl basiert im Wesentlichen auf einer gemeinsamen Diskussion. Der Vorteil besteht darin, dass die Auswahl sehr schnell und mit geringem Aufwand erfolgen kann. Nachteil ist, dass die Bewertung von der Intuition der Projektmitarbeiter abhängt und daher auch anfälliger für Fehleinschätzungen ist.

Formalisiert mit Industrie 4.0-Tiefenanalysen: Die Auswahl erfolgt mit Unterstützung geeigneter Methoden und Werkzeuge, wie z. B. Geschäftsprozess- oder Wertschöpfungsanalysen. Sie decken idealerweise Verbesserungspotentiale auf, die Hinweise auf einen etwaigen Leistungssteigerungsbedarf geben. Vorteile sind die systematische Vorgehensweise sowie die Erhöhung der Objektivität. Nachteile bestehen im Aufwand sowie der Schwierigkeit, effektive Methoden und Werkzeuge zur Untersuchung der im ausgewählten Reifegradmodell enthaltenen Handlungselemente zu finden. Ferner sollten diese Analysen durch Methodenexperten (Team-intern oder extern) angeleitet werden, um Fehlansetzungen zu vermeiden.

Im Praxisbeispiel erfolgt die Auswahl der relevanten Handlungselemente durch einen paarweisen Vergleich. Als Hilfsmittel dient eine Relevanzmatrix (vgl. [GP14, S. 53f.]). Im Vordergrund steht die Fragestellung: „Ist das Kriterium A wichtiger für die Leistungssteigerung als Kriterium B?“ Hieraus ergibt sich eine Relevanzsumme, die ein Maß für

die Relevanz eines Kriteriums darstellt. Die Relevanz ermöglicht die Bildung einer Rangfolge (Bild 4-10). Sie gibt einen Hinweis auf Kriterien, die aus Sicht der Workshop-Teilnehmer einen erhöhten Leistungssteigerungsbedarf aufweisen.

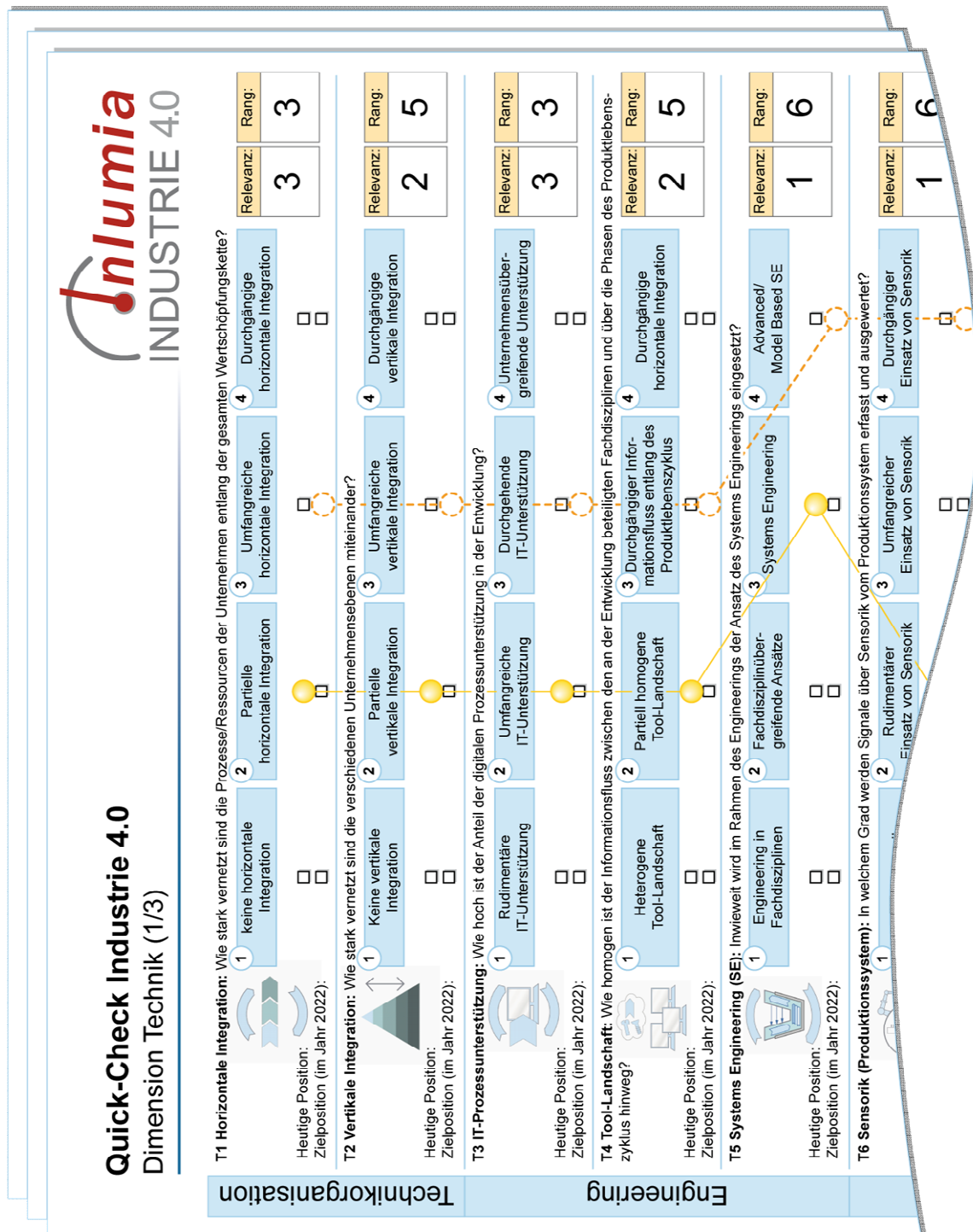


Bild 4-10: Priorisierung der Kriterien und Bildung einer Rangfolge [PG20, S. 9ff.]

Es empfiehlt sich, die Teilnehmer vor der Bewertung auf den soziotechnischen Entwicklungsgedanken hinzuweisen, damit es nicht zu einer zu starken eindimensionalen Bewer-

tung kommt. Die Bewertungspraxis hat gezeigt, dass es sich bei den ausgewählten Kriterien häufig bereits um diejenigen handelt, die über eine große Differenz zwischen der Ist- und abgeschätzten Soll-Bewertung verfügen. Sollte sich ein solches Bild nicht ergeben und daher die Auswahl erschwert sein, empfiehlt sich eine erneute Prüfung, ob weitere Kriterien aufgrund ihres erhöhten Leistungssteigerungsbedarfs mit einbezogen werden müssen.

In letzter Konsequenz muss eine abschließende Abhängigkeitsanalyse erfolgen, um zur finalen Auswahl der Kriterien zu gelangen. Diese Abhängigkeitsanalyse wird im folgenden Abschnitt ausführlich erläutert.

4.2.3 Abhängigkeitsanalyse

Die Bewertung und Priorisierung der Kriterien ist zu diesem Zeitpunkt bereits erfolgt. Allerdings wurden dabei bisher mögliche Abhängigkeiten zwischen den Kriterien des Reifegradmodells nicht berücksichtigt. Es besteht daher Bedarf einer zusätzlichen Abhängigkeitsanalyse unter Verwendung einer Abhängigkeitsmatrix (Bild 4-11).

Abhängigkeitsmatrix											
Fragestellung: „Hängt das priorisierte Kriterium i (Zeile) von den restlichen Kriterien j (Spalte) des Reifegradmodells ab?“ Bewertungsmaßstab: 0 = keine Abhängigkeit 1 = Kriterien sind direkt voneinander abhängig		Kriterien des Reifegradmodells	Horizontale Integration	Vertikale Integration	IT-Prozessunterstützung	...	Datenverarbeitung (Produkt)	Nutzung externer Daten (Produkt)	...	Geschäftsmodellentwicklung	...
Priorisierte Kriterien	Nr.	T1	T2	T3		T24	T25		B12		Σ
Datenspeicherung (Produktionssystem)	T10	1	1								
Assistenzsysteme in der Montage	T18	0	0								
Industrie 4.0-Strategie	B1	0	0								
Produkt-Service-Angebot	B13	0	0								
Durchdringung digitaler Services	B14	0	0	0		0	0		1		13
Datenerfassung und -analyse	B15	1	1	1		1	0		0		17
Datenverwertung	B16	1	1	1	⋮	0	0		0	⋮	11
Flexibilität der Arbeitszeiten											8
Ergonomie											8
Weiterbildungsangebote											5
Dokumentation von Erfahrungsw											9

Beispiel 1: Die Durchdringung digitaler Services (B14) erfordert eine neue Herangehensweise bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen (B12). Die beiden Kriterien sind daher voneinander abhängig.

Beispiel 2: Die unternehmensinterne und -externe Datenverwertung (B16) setzt ein möglichst großes Maß an horizontaler Integration (T1) voraus. Es besteht daher eine direkte Abhängigkeit. Die Kriterien können nicht isoliert betrachtet werden.































Bild 4-11: Abhängigkeitsmatrix in Anlehnung an [Ben13, S. 84ff.]

In der Matrix erfolgt die Beantwortung der Frage „*Hängt das priorisierte Kriterium i (Zeile) von den restlichen Kriterien j (Spalte) des Reifegradmodells ab?*“. Die Bewertungsskala besteht aus den Ausprägungen „0“ (*keine Abhängigkeit*) und „1“ (*Kriterien sind direkt⁷² voneinander abhängig*). Hierdurch werden systematisch Kriterien aufgedeckt, die zusätzlich in die Leistungssteigerung einbezogen werden müssen⁷³.

Im Validierungsprojekt hat die Priorisierung aus Abschnitt 4.2.2 dazu geführt, dass zunächst elf Kriterien in der vorläufigen Auswahl stehen. Die Abhängigkeitsanalyse sorgt dafür, dass 18 zusätzliche Kriterien hinzugefügt werden, da diese signifikante Abhängigkeiten zu den vorab ausgewählten Kriterien aufweisen. Ein Beispiel bildet das Kriterium T6 „*Sensorik (Produktionssystem)*“. Es steht in direktem Zusammenhang mit den Kriterien T13 („*Digitalisierung der Produktionsprozesse*“) und B16 („*Datenverwertung*“). Eine zielgerichtete Leistungssteigerung kann nur durch gemeinsame Betrachtung erfolgen. T6 muss daher ergänzt werden. Die Gesamtanzahl zu berücksichtigender Kriterien kann sich hierdurch signifikant erhöhen. Parallel muss daher im gleichen Atemzug geprüft werden, welche vorab ausgewählten Kriterien ggf. zurückgestellt werden können. Im Praxisbeispiel ist dies bei Kriterium M5 („*Leistungsfeedback*“) wegen der untergeordneten Bedeutung sowie aufgrund des geringen Leistungssteigerungsbedarfs der Fall gewesen. Auf diese Weise werden durch die Abhängigkeitsanalyse sowie durch Gegenprüfung des Leistungssteigerungsbedarfs die tatsächlich zu betrachtenden Kriterien definiert. Die Abhängigkeitsanalyse ist bei Bedarf iterativ durchzuführen, da die Aufnahme zusätzlicher Kriterien weitere direkte Abhängigkeiten hervorrufen kann. Bild 4-12 zeigt eine Auswahl der finalen Kriterien aus dem Praxisbeispiel in Kombination mit deren Leistungsstand. Diese Kriterien werden im Folgenden zur Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie herangezogen.

⁷² Unter direkter Abhängigkeit wird verstanden, dass eine Leistungssteigerung des einen Kriteriums nicht ohne eine parallele Leistungssteigerung des anderen Kriteriums erfolgen kann.

⁷³ Freilich existieren weitere Methoden, die Abhängigkeiten von Objekten untersuchen. Beispiele stellen die Vernetzungsanalyse nach VESTER (vgl. [Ves12]) oder die Einflussanalyse nach DUPPERIN und GODET [vgl. [DG73]] dar. Da diese Methoden allerdings zum Teil kostspielige Software-Lizenzen zur Auswertung erfordern, bedarf die Notwendigkeit dieser Analysen der Einzelfallentscheidung und muss insbesondere in KMU sorgfältig abgewogen werden.

Kriterium		Leistungsstufen			
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
T1	Horizontale Integration				
T2	Vertikale Integration				
T4	Tool-Landschaft				
T5	Systems Engineering (SE)				
T6	Sensorik (Produktionssystem)				
B1	Industrie 4.0-Strategie				
B12	Geschäftsmodellentwicklung				
B13	Produkt-Service-Angebot				
B14	Durchdringung digitaler Services				
B15	Datenerfassung und -analyse				
B16	Datenverwertung				
M3	Flexibilität				
M7	Ergonomie				
M8	Weiterbildungsangebote				
M9	Dokumentation von Erfahrungswissen				



 Aktuelle Leistungsfähigkeit (Ist-Position)
  Avisierte Soll-Position (Abschätzung)

Bild 4-12: Aktuelles und zukünftig anzustrebendes Leistungsprofil

4.3 Zieldefinition

Ziel der dritten Phase sind mittelfristige und langfristige Industrie 4.0-Zielpositionen. Hierzu erfolgt zunächst eine strategische Vorausschau mittels Trendanalyse und Anwendung der Szenario-Technik (Abschnitt 4.3.1). Daraufaufgehend wird in einer Auswirkungsanalyse untersucht, wie sich die darin antizipierten Umfeldentwicklungen auf die gewünschte Zielerreichung auswirken. In Abschnitt 4.3.3 erfolgt ein Benchmarking mit ähnlichen Unternehmen, woraus sich die finalen Zielpositionen ergeben. Nach einem Konsistenz-Check ist es möglich, eine grobe Entwicklungsabfolge für die angestrebten Ziel-Leistungsstufen abzuleiten (Abschnitt 4.3.4).

4.3.1 Strategische Vorausschau

In der strategischen Vorausschau werden die durch Industrie 4.0 erwarteten Veränderungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfelder sowie die damit hervorgerufenen Chancen und Gefahren antizipiert (vgl. Abschnitt 2.2). Die strategische Vorausschau dient insbesondere dazu, die in Abschnitt 4.2 abgeschätzte Zielposition zu verifizieren, indem systematisch zukünftige Entwicklungen aufgedeckt werden, ehe deren Auswirkungen auf die Zielerreichung in Abschnitt 4.3.2 untersucht werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Anwenderunternehmen nicht nur heute offensichtliche Entwicklungen

berücksichtigen. Vielmehr geht es darum, dass die Industrie 4.0-Strategie auch die künftigen Anforderungen des Marktes erfüllen und die erwarteten technologischen Nutzenpotentiale vollständig ausschöpfen muss.

Etablierte Methoden zur strategischen Vorausschau sind die **Trendanalyse** sowie die **Szenario-Technik** (vgl. Abschnitte 2.2 bzw. 3.6.1). Im Rahmen des Validierungsprojekts wurde daher deren Eignung für die Antizipation von Industrie 4.0-Entwicklungen untersucht. Das führte zu folgenden Erkenntnissen:

- Die **Trendanalyse** eignet sich besonders zur **Abschätzung von mittelfristigen Industrie 4.0-Entwicklungen** (Zeithorizont: ca. fünf Jahre). Bei einem Trend handelt es sich um eine Entwicklung in die Zukunft, die in gewissem Rahmen bereits heute beobachtet werden kann und aufgrund ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkungen aller Voraussicht nach einen Einfluss auf das künftige Geschäft haben wird.
- Die **Szenario-Technik** eignet sich hingegen auch für die Abschätzung von denkbaren Zukunftsentwicklungen mit längerem Zeithorizont. Sie wird daher hier zur **Abschätzung langfristiger Industrie 4.0-Entwicklungen** (Zeithorizont: ca. zehn Jahre) herangezogen.

Die Entwicklung von Zukunftsbildern beruht auf dem **Grundprinzip des vernetzten Denkens** (vgl. [GP14, S. 44ff.]). Durch die Kombination von Trends und Zukunftsszenarien wird dieses Prinzip bestärkt und sichergestellt, dass die Gesamtheit aller äußeren Einflüsse bei der Ermittlung der Zielpositionen ins Kalkül gezogen wird. Durch die parallel-iterative Bewertung von Trends und Szenarien können quasi „spielerisch“ Zukunftsbilder ermittelt werden. Damit wird das zweite Grundprinzip adressiert – nämlich das **Grundprinzip der multiplen Zukunft** (vgl. [GP14, S. 46f.]). Ferner gleicht kein Umfeld eines Unternehmens dem des anderen. Die Verknüpfung von Trends und Szenarien greift diese Hypothese auf und ermöglicht eine unternehmensindividuelle Beschreibung der Zukunft. Jedes Unternehmen ist dadurch in der Lage, daraus die entscheidenden Schlüsse zu ziehen und eine Erfolg versprechende Industrie 4.0-Zielposition zu definieren.

Trendanalyse

Mit Hilfe geeigneter Quellen wie Studien, Fachpublikationen oder Experteninterviews werden zunächst relevante Industrie 4.0-Trends identifiziert. Als nützliche Verfahren haben sich auch das Information Retrieval oder bibliometrische Analysen erwiesen [Raa03, S. 20ff.], [SMG+05, S. 395ff.], [GP14, S. 101ff.]. Vor dem Hintergrund einer soziotechnischen Betrachtung von Industrie 4.0 sollten diese nicht nur von technischer Natur sein, sondern ebenfalls organisatorische und soziale Entwicklungen berücksichtigen. Die Trends werden zunächst in einer Liste dokumentiert.

Im nächsten Schritt werden die Trends bewertet. Als geeignete Bewertungskriterien haben sich die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkungsstärke erwiesen. Die Ein-

trittswahrscheinlichkeit drückt aus, wie stark davon auszugehen ist, dass ein Trend tatsächlich eintreffen wird. Die Auswirkungsstärke besagt, wie stark ein Unternehmen von einem Trend betroffen sein wird (vgl. [Lie96, S. 14ff.], [KH99, S. 86]). Die Bewertung dient zur Priorisierung der Trends.

Anschließend werden die Industrie 4.0-Trends vollständig dokumentiert. Dies erfolgt beispielsweise mit Hilfe von Trendsteckbriefen (Bild 4-13). Sie beinhalten eine detaillierte Trendbeschreibung sowie mit dem Trend verbundene Chancen und Risiken. Darüber hinaus ist die Trendbewertung enthalten⁷⁴. Mit Hilfe der nun verfügbaren Informationen lässt sich schließlich ein Trendradar aufspannen. Das Trendradar visualisiert die Ergebnisse der Bewertung und gibt Aufschluss darüber, welche Trends von besonderer Bedeutung für das Geschäft von morgen sind.

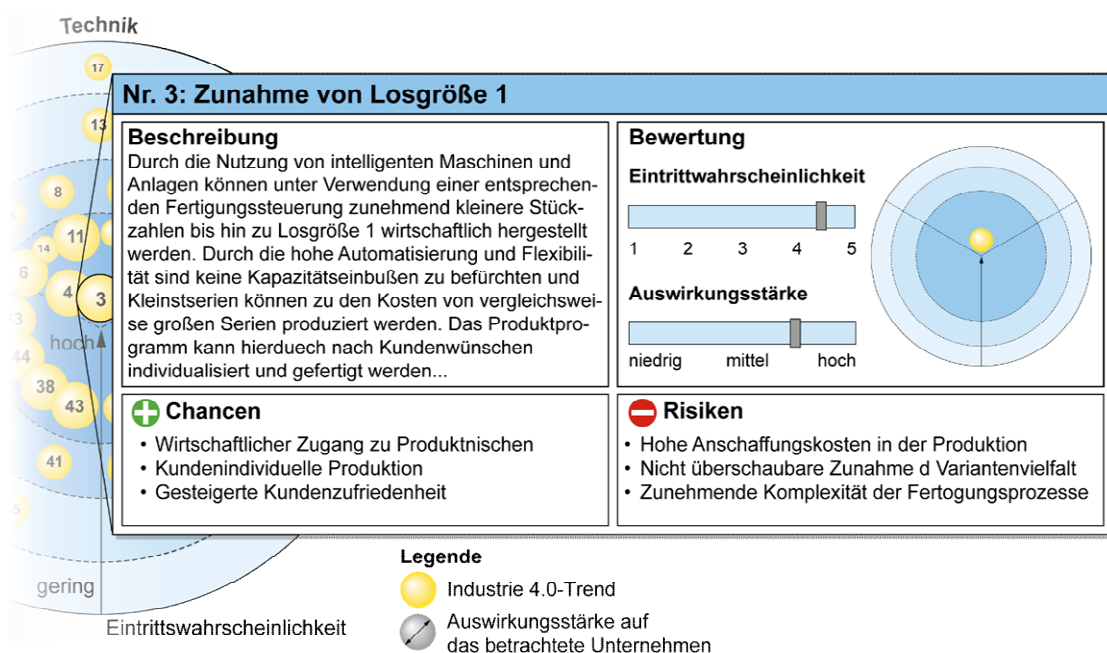


Bild 4-13: Trendradar für Industrie 4.0-Trends mit Beispiel eines Steckbriefs [PDG18, S. 24], [PG20, S. 13]

Jeder Kreis im **Trendradar** repräsentiert einen Industrie 4.0-Trend. Je näher sich ein Trend im Zentrum des Radars befindet, desto höher ist seine Eintrittswahrscheinlichkeit. Der Durchmesser eines Kreises gibt Auskunft über die Auswirkungsstärke. Die Zuordnung zu den Bereichen Technik, Business und Mensch gibt an, welcher Dimension ein Trend zugeordnet ist. Alle Trends mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit und großer Auswirkung, gilt es im weiteren Verlauf besonders zu berücksichtigen.

⁷⁴ Optional besteht die Möglichkeit, das Dokumentationsschema mit weiteren relevanten Informationen anzureichern (z. B. Trendtreiber).

Zukunftsszenarien für Industrie 4.0

Bei der der Szenario-Technik werden mit wählbaren Planungshorizonten langfristige Industrie 4.0-Entwicklungen systematisch antizipiert. Ein Szenario beruht auf der konsistenten Kombination von denkbaren Entwicklungen von Einflussfaktoren (sogenannten Projektionen). Da je Einflussfaktor mehrere Projektionen ins Kalkül gezogen werden, ergeben sich mehrere Szenarien – also mehrere allgemeinverständliche Beschreibungen von möglichen Situationen in der Zukunft (vgl. Abschnitt 3.6.1 bzw. [GP14, S. 49], [GKD+16, S. 27]). Im Praxisbeispiel handelt es sich um sog. Umfeldszenarien, die die möglichen Industrie 4.0-Entwicklungen im Umfeld des Unternehmens vorausdenken (z.B. hinsichtlich Markt, Branche, Technologien, Gesetzgebung o.ä.). Kurzfassungen und eine Gegenüberstellung der Szenarien liefert Tabelle 4-1.

Aus der Analyse der Szenarien resultieren Chancen und Gefahren für den Betrachtungsbereich; deren Analyse führt zu Erkenntnissen in Bezug auf die anzustrebende Zielposition im Kontext Industrie 4.0. Ziel ist ein Referenzszenario, das ein möglichst genaues Zukunftsbild von Industrie 4.0 beschreibt. Für die Auswahl dieses Referenzszenarios müssen die entstandenen Zukunftsszenarien zunächst bewertet werden. Auch hier haben sich als Bewertungsmaßstäbe die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie die Auswirkungstärke bewährt. Die Bewertung der Szenarien kann in einem Portfolio dargestellt werden, das die Auswahl eines Referenzszenarios ermöglicht (Bild 4-14).

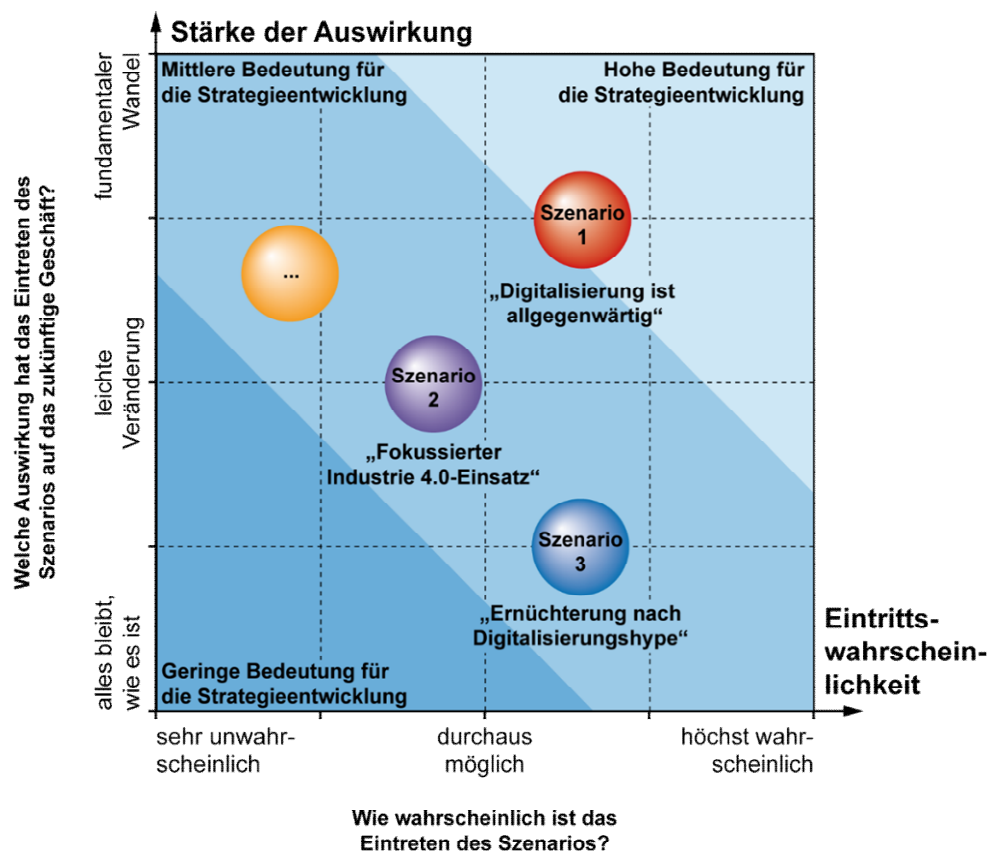


Bild 4-14: Portfolio zur Auswahl des Referenzszenarios [PG20, S. 15] in Anlehnung an [GP14, S. 72]

Das Portfolio verschafft einen Überblick, welche Szenarien bzw. welches Szenario als Planungsgrundlage herangezogen werden sollte⁷⁵. Dabei können mit Blick auf die Strategieentwicklung zwei grundsätzliche Stoßrichtungen eingeschlagen werden [GP14, S. 71]:

- **Zukunftsrobuste bzw. teilrobuste Strategieentwicklung:** Die Strategie wird so entwickelt, dass sie mehreren denkbaren Zukünften gerecht wird. Maßnahme: Auswahl aller bzw. mehrerer Szenarien.
- **Fokussierte Strategieentwicklung:** Die Strategie wird konsequent auf ein bestimmtes Zukunftsbild ausgerichtet: Maßnahme: Auswahl eines einzigen Szenarios (Referenzszenario).

Im Praxisbeispiel wird eine fokussierte Strategieentwicklung angestrebt. **Szenario 1 „Digitalisierung ist allgegenwärtig“** verfügt auf Grundlage der Bewertungskriterien über die höchste Bedeutung für die Strategieentwicklung. Es dient im weiteren Verlauf (neben den bereits ermittelten Industrie 4.0-Trends) als zusätzliche Eingangsgröße für die Auswirkungsanalyse.

⁷⁵ Detaillierte Beschreibungen der Szenarien befinden sich im Anhang (Abschnitt A7).

Tabelle 4-1: Kurzfassung und Gegenüberstellung der Szenarien

Schlüs-sel-fak-toren	Szenario 1 Digitalisierung ist allgegenwärtig	Szenario 2 Fokussierter I4.0- Einsatz	Szenario 3 Ernüchterung nach Digitalisierungshype
Durchdringung mit IKT	Vernetzte Welt <ul style="list-style-type: none"> • Rapide Durchdringung mit IKT. • Überall Zugriff auf Informationen und Dienste. • Sicherheitsrisiken werden verdrängt. 	IT-Frustration <ul style="list-style-type: none"> • Kein IKT-Hype in der Produktion, Effizienzsteigerungen bleiben aus. • Menschen streben nach Privatsphäre, Sichtbarkeit im Netz wird reguliert. 	Informationseliten: <ul style="list-style-type: none"> • Daten erweisen sich als Gold des 21. Jahrhunderts. • Nur wenigen nutzen technologische Möglichkeiten. • Es bilden sich Informationseliten.
Flexibilität von Produktions-systemen	Hoch flexible Produktionssysteme: <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Produktion sind wichtiger Wettbewerbsvorteil. • Mitarbeiter sind für die hohe Flexibilität qualifiziert. 	Starre Produktionssysteme: <ul style="list-style-type: none"> • Die Produktion läuft überwiegend starr und geradlinig ab, Produktionssysteme sind unflexibel. • Die Mitarbeiter sind nur in einem Fachbereich ausgebildet. 	Teilweise flexible Produktionssysteme: <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen haben Vorzüge und Relevanz der Flexibilität und kundenindividuellen Produktion erkannt. • Die Technik ist noch nicht auf dem für die gewünschte Flexibilität erforderlichen Stand. Es fehlen Standards.
Smart Factory	Paradigmenwechsel: <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen haben umfassend vernetzte, intelligente Fabriken. • Industrielle Massenproduktion geht zurück, kundenindividuelle Produktion wird wirtschaftlich. 	Umsetzungsschwäche: <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen tun sich schwer mit der Erschaffung intelligenter Fabriken. • Kompatibilitätsprobleme von alten und neuen Maschinen, verschiedene Schnittstellen und fehlende Standards. 	Pioniere schreiten voran: <ul style="list-style-type: none"> • Potenzial von Smart Factories wird erkannt, nur wenige Unternehmen sind in der Lage, eigene Smart Factories aufzubauen. • Diese Unternehmen haben erhebliche Wettbewerbsvorteile.
Qualitätsan-sprüche an Produkte	Qualität „Made in Germany“: <ul style="list-style-type: none"> • Qualität spielt für die Kunden eine entscheidende Rolle. • Leistungs- und Begeisterungsanforderungen müssen erfüllt sein. • Kundschaft ist bereit, dafür einen höheren Preis zu bezahlen. 	Unterschiedl. Ansprüche: <ul style="list-style-type: none"> • Kunden haben kaum Ansprüche an Qualität, der Preis entscheidet. • Anbieter beharren auf hohem Leistungsniveau • Kundschaft ist nicht mehr bereit, die hohen Preise zu zahlen und setzt auf günstige Ersatzprodukte. 	Preis vor Qualität: <ul style="list-style-type: none"> • Für Käufer spielt die Qualität der Produkte eine große Rolle. Das entscheidende Kaufargument ist der Preis. • Die Kunden sind bereit, ihre Ansprüche zurückzufahren, um Kosten zu reduzieren. • Sie greifen auch auf Massenprodukte aus Niedriglohnländern zurück.
Arbeitskräfte-angebot	Arbeitskräftemangel lässt Unternehmen kalt: <ul style="list-style-type: none"> • Zahl der Arbeitskräfte ist stark zurück gegangen. • Unternehmen nutzen dies als Chance zur digit. Transformation. • Geschäftsprozesse sind automatisiert worden. 	Häuptlinge ohne Indianer: <ul style="list-style-type: none"> • Zahl der Erwerbstätigen ist merklich gesunken. Die wenigen Fachkräfte träumen von einer Karriere als Führungskraft. Sie durchlaufen häufiger akadem. Bildungswege. • Fachkräfte in der Produktion, z.B. zur Steuerung komplexer Fertigungsanlagen, sind absolute Mangelware. Arbeitersparnis durch Automatisierung bleibt weitestgehend aus. • Mitarbeiter möchten Häuptlinge werden, niemand möchte Indianer sein. Das stellt Unternehmen vor Probleme. 	
Markt-entwicklung	Marktwachstum: <ul style="list-style-type: none"> • Der Elektronikmarkt ist im Aufschwung. Die Nachfrage nach elektrischen Geräten reißt nicht ab. • Durch die Digitalisierung hält die Elektronik Einzug in viele neue Bereiche. 	Depression: <ul style="list-style-type: none"> • Die Menschen sind der Digitalisierung mittlerweile überdrüssig. • Sie sehnen sich nach weniger Elektronik im Alltag. 	Marktsättigung: <ul style="list-style-type: none"> • Nach dem stetigen Wachstum der vorherigen Jahre ist der Elektronikmarkt mittlerweile gesättigt. • Die Möglichkeiten der Elektronik sind nahezu ausgeschöpft. • Die Nachfrage geht allmählich zurück.

4.3.2 Auswirkungsanalyse

Gegenstand dieser Phase ist eine Untersuchung, inwieweit sich die ermittelten Industrie 4.0-Trends sowie das Referenzszenario auf eine Leistungssteigerung auswirken. Wie bereits in Abschnitt 2.2 erläutert, ergeben sich aus den Umfeldentwicklungen zwangsläufig sowohl gewisse Chancen als auch Gefahren. Übertragen auf die Leistungssteigerung können **Umfeldentwicklungen also förderlich oder hinderlich** für die geplante Leistungssteigerung sein. Die Auswirkungsanalyse erfolgt zweistufig: Zunächst werden die Auswirkungen auf die mittelfristige Zielposition untersucht. Anschließend wird dieser Vorgang für die langfristige Zielposition wiederholt. Zur Analyse wird eine **Auswirkungsmatrix** genutzt. Bild 4-15 verdeutlicht das Vorgehen bezogen auf den mittelfristigen Planungshorizont.

Auswirkungsmatrix		Dimension Technik			Dimension Business			Dimension Mensch			Auswertung	
Fragestellung: „Wie wirkt sich ein Trend (Spalte) auf das Erreichen der höheren Leistungsstufen der priorisierten Kriterien aus?“		Industrie 4.0-Trends										
		Zunahme von Big Data	Einsatz von Cloud Computing	Augmented- und Virtual Reality	Urbanisierung der Produktion	Business Ecosystems in der Produktion	Zunahme von Sharing-Konzepten	Digitale Nomaden als Arbeitsform	Lebenslanges Lernen	Digital Health im Betrieb	Summe	Mittelfristig anzustrebende Zielposition [Stufe]
Priorisierte Kriterien	Nr.	1	2	3	18	19	20	23	24	25	Σ	Zielstufe
Horizontale Integration	T1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
		0	0	1	0	0	1	0	0	0	16	12
Vertikale Integration	T2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
		0	0	1	1	0	0	0	0	0	18	11
Tool-Landschaft	T4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5
...												
Industrie 4.0-Strategie	P1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2
Geschäftsmodellentwicklung		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3
Produkt-Service-Angebote		x	0	x	0	x	0	x	0	0	x	6
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1
...												
Flexibilität der Arbeitszeiten		x	0	x	0	x	0	x	0	0	x	4
		1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ergonomie		x	-1	x	0	x	1	x	1	1	x	5
		-1	1	0	0	1	1	0	0	1	3	3
Weiterbildungsangebote		x	x					x	x			
		0	0					0	0			

Der Einsatz von Cloud Computing begünstigt eine durchgängige horizontale Integration.

Legende
 Das Erreichen von **Stufe 1** des Kriteriums i (Zeile) wird durch den Trend j (Spalte) begünstigt (1), nicht beeinflusst (0) oder behindert (-1).
 Das Erreichen von **Stufe 2** des Kriteriums i (Zeile) wird durch den Trend j (Spalte) begünstigt (1), nicht beeinflusst (0) oder behindert (-1).
 Das Erreichen von **Stufe 3** des Kriteriums i (Zeile) wird durch den Trend j (Spalte) begünstigt (1), nicht beeinflusst (0) oder behindert (-1).
 Das Erreichen von **Stufe 4** des Kriteriums i (Zeile) wird durch den Trend j (Spalte) begünstigt (1), nicht beeinflusst (0) oder behindert (-1).
 x Leistungsstufe wird bereits heute erfüllt.

Digitale Nomaden als Arbeitsform behindern die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung.

Bild 4-15: Auswirkungsmatrix zur Abschätzung der mittelfristig anzustrebenden Industrie 4.0-Zielposition auf Basis der Trendbewertung [PDG18, S. 25f.], [PG20, S. 16]

In der Auswirkungsmatrix erfolgt im ersten Schritt zunächst eine direkte Gegenüberstellung der ausgewählten Kriterien des Reifegradmodells mit den ermittelten Industrie 4.0-

Trends. Durch einen paarweisen Vergleich werden die Einflüsse der Trends auf die Erreichung der Leistungsstufen untersucht. Die zentrale Fragestellung lautet „*Wie wirkt sich ein Trend (Spalte) auf das Erreichen der höheren Leistungsstufen der priorisierten Kriterien aus?*“. Jede paarweise Gegenüberstellung verfügt über vier Bewertungsmöglichkeiten (siehe Legende in Bild 4-15). Die vier Felder repräsentieren die vier Leistungsstufen eines Kriteriums, beginnend oben links mit Stufe 1 und weiterfolgend mit Stufe 2 oben rechts, Stufe 3 unten links sowie Stufe 4 unten rechts. Die Bewertungsdimension erstreckt sich von -1 (Das Erreichen der zugrunde liegenden Stufe des Kriteriums i (Zeile) wird durch den Trend j (Spalte) behindert) über 0 (Erreichen wird nicht beeinflusst) bis hin zu 1 (Erreichen wird begünstigt). Die Felder mit einem „X“ zeigen an, dass keine Bewertung nötig ist, weil die Leistungsstufen bereits erreicht wurden. Anhand der vorletzten Spalte kann durch Bildung der Summen für jedes Kriterium abgelesen werden, wie sich die Trends auf jede Leistungsstufe auswirken und welche Leistungsstufe aufgrund ihrer größten Summe im mittelfristigen Zeithorizont von ca. fünf Jahren favorisiert anzustreben ist.

Eine ähnliche Vorgehensweise kann im zweiten Schritt zur **Abschätzung der Auswirkungen des Referenzszenarios** herangezogen werden. Die Anwendung der Auswirkungsmatrix erfolgt analog. Der Unterschied besteht darin, dass anstelle der Industrie 4.0-Trends nun die im Referenzszenario enthaltenen Zukunftsprojektionen als Vergleichsgröße dienen und paarweise gegen die Kriterien bewertet werden. Hierdurch können die Auswirkungen der Projektionen auf jedes Kriterium abgeschätzt und eine Empfehlung für langfristige Zielpositionen abgeleitet werden. Bei Verfügbarkeit von Vergleichsdaten anderer Unternehmen können die mittels Auswirkungsanalyse ermittelten Zielpositionen weiter abgesichert werden. Ist kein Benchmarking möglich, bilden die hier abgeschätzten Zielleistungsstufen bereits die Basis zur Erstellung des mittel- und langfristigen Industrie 4.0-Zielprofils.

4.3.3 Benchmarking und Ermittlung der Zielposition

Die Anwendung des ausgewählten Reifegradmodells ist während seiner Erprobung insgesamt 265 Mal erfolgt. Die Bewertungsergebnisse sind in einer Datenbank gespeichert. Aus diesem Grund kann ein Benchmarking durchgeführt werden. Es gibt Aufschluss über die heutige Leistungsfähigkeit ähnlicher Unternehmen und enthält deren angestrebten mittelfristigen Zielpositionen⁷⁶. Hieraus lassen sich weitere Implikationen in Bezug auf die eigene mittel- bzw. langfristige Zielposition ableiten⁷⁷.

⁷⁶ Die Anwendung erfolgt über eine Internet-basierte Web-App, bei dem die externen Anwenderunternehmen systematisch durch eine Leistungsbewertung und eine Trendanalyse mit Auswirkungsanalyse geführt werden. Die Entwicklung von Zukunftsszenarien ist über diesen Workflow nicht möglich, weshalb das Benchmarking in diesem Fall lediglich zur Verifizierung der *mittelfristigen Zielposition* herangezogen werden kann.

⁷⁷ Für den Fall, dass ein I4.0-Reifegradmodell ohne vorhandene Benchmark-Ergebnisse ausgewählt wird, kann dieser Schritt übersprungen werden.

Aufgrund der Heterogenität der Benchmark-Unternehmen werden elf Unternehmensklassen mit einer Clusteranalyse analog zum Vorgehen in Abschnitt 4.1.3 gebildet. Die zugrunde liegenden Merkmale und Merkmalsausprägungen können Abschnitt A6 entnommen werden. Bevor ein Vergleich erfolgt, wird die Unternehmensklasse mit der größtmöglichen Übereinstimmung in Bezug auf die Merkmalsausprägungen ermittelt (sog. Vergleichsklasse). Der Vergleich kann zu unterschiedlichen Erkenntnissen und Stoßrichtungen in Bezug auf die eigene zukünftige Leistungsfähigkeit führen:

- **Eigenes Unternehmen ist rückständig:** Die Leistungsfähigkeit der Vergleichsunternehmen ist bereits heute höher bzw. sie streben zukünftig eine größere Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit an. Es muss geprüft werden, inwieweit das eigene anvisierte Leistungsprofil entsprechend angepasst werden sollte bzw. mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen angepasst werden kann. Ein Beispiel hierfür bildet Kriterium M8 in Bild 4-16: Ursprünglich sah der Plan vor, Leistungsstufe 2 in der mittleren Frist zu erreichen. Der Vergleich sorgt für eine Korrektur, die in der mittleren Frist bereits ein Erreichen von Stufe 3 vorsieht.
- **Eigenes Unternehmen befindet sich im Durchschnitt:** Die Leistungsfähigkeit des eigenen Unternehmens stimmt mit der Leistungsfähigkeit ähnlicher Unternehmen überein. Hieraus können unterschiedliche Schlüsse gezogen werden: Die eigenen Leistungsprofile werden beibehalten, um im Strom ähnlicher Unternehmen „mit zu schwimmen“ (Beispiel: Kriterium B1 in Bild 4-16) oder die gleiche Position spornt an, durch den Einsatz weiterer Ressourcen möglichst bald eine Spitzenposition einzunehmen.
- **Eigenes Unternehmen ist Vorreiter:** Die eigene Leistungsfähigkeit übersteigt bereits die der ähnlichen Unternehmen. Hier ergeben sich mehrere Verhaltensoptionen: Die Spitzenposition wird mit Hilfe bereitgestellter Ressourcen genutzt, um den Vorsprung zu halten bzw. auszubauen oder die eigenen Ansprüche im betreffenden Bereich werden zurückgeschraubt, um Ressourcen zu schonen bzw. auf Bereiche zu verteilen, die von größerer Bedeutung sind. Ein Beispiel hierfür bildet Kriterium B12: Ursprünglich wurde angestrebt, Leistungsstufe 4 in der mittleren Frist zu erreichen. Durch den Vergleich wurde eine Korrektur vorgenommen, sodass für die mittlere Frist abschließend Stufe 3 vorgesehen wird.

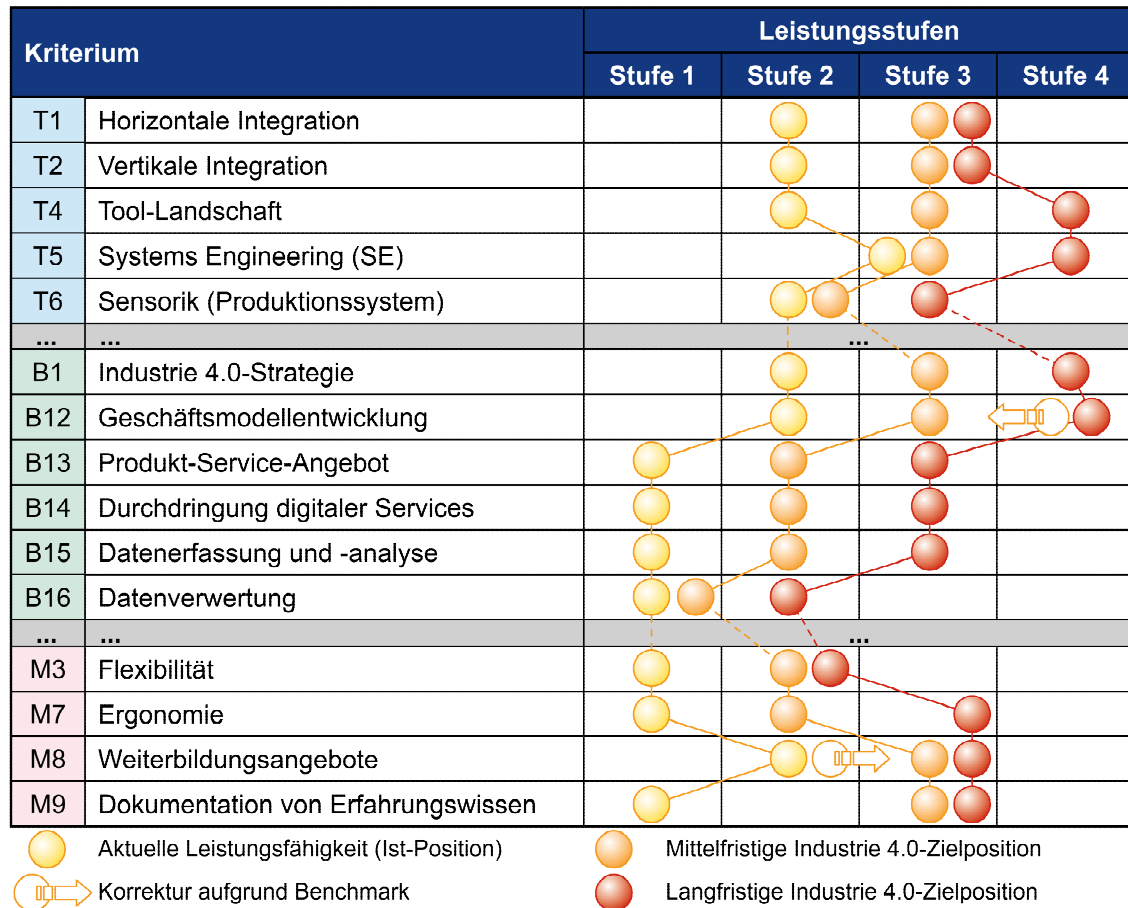


Bild 4-16: *Aktuelles Profil (Ist-Position) sowie mittel- und langfristiges Industrie 4.0-Zielprofil [PDG18, S. 26], [PG20, S. 17]*

4.3.4 Konsistenz-Check und Entwicklungsabfolge

Die angestrebten Zielprofile bilden bisher eine theoretische Zielvorgabe auf Basis von Umfeldentwicklungen (Industrie 4.0-Trends, Referenzszenario) sowie dem Vergleich mit ähnlich gelagerten Unternehmen. Die Prüfung, inwieweit sich diese Zielprofile praktisch in der angestrebten Konstellation zu den geplanten Zeitpunkten realisieren lassen, ist Gegenstand eines Konsistenz-Checks. Beispielsweise kann es vorkommen, dass zwei in einem Zielprofil gemeinsam parallel auftretende Leistungsstufen verschiedener Kriterien einander voraussetzen und daher sequentiell erreicht werden müssen. Darüber hinaus können verfügbare Ressourcen dazu führen, dass nicht alle Entwicklungsstufen parallel angestrebt werden können. Die zentrale Fragestellung ist also, ob sich die geplanten Zielprofile tatsächlich so realisieren lassen.

Je nach Art des Reifegradmodells, der Anzahl der priorisierten Kriterien sowie der Anzahl enthaltener Leistungsstufen kann diese Aufgabe so komplex werden, dass sie nicht durch scharfes Hinsehen bewältigt werden kann, sondern mit Hilfe einer Triangularisierung in einer Design Structure Matrix (kurz: DSM) [Pei15, S. 103] oder mittels Konsistenzanalyse [Bät04, S. 109ff.] methodisch unterstützt werden muss [Pei15, S. 103]. Im

Validierungsprojekt ist die Überprüfung durch paarweise Vergleiche der Leistungsstufen untereinander erfolgt, wodurch sich eine grobe Realisierungsreihenfolge ergibt (Bild 4-17). Das Vorgehen orientiert sich am Schema zur stufenweisen Entwicklung von Roadmaps nach PEITZ (vgl. [Pei15, S. 102ff.]).

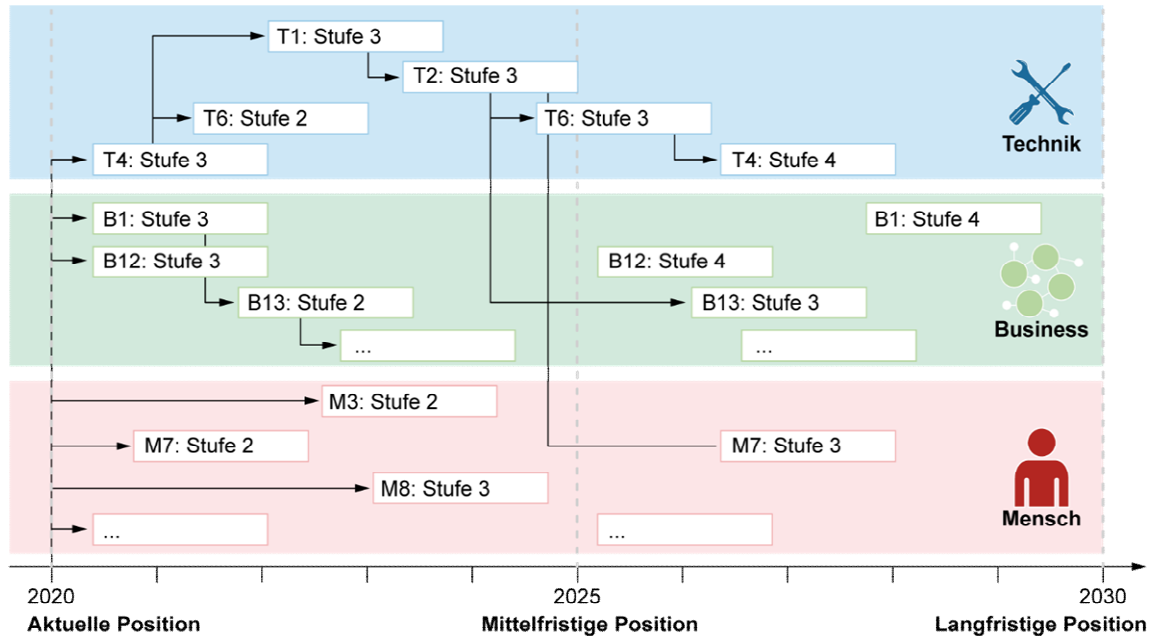


Bild 4-17: Visualisierung der groben Entwicklungsabfolge von Leistungsstufen in Anlehnung an [Pei15, S. 105], [PG20, S. 18]

Die Entwicklungsabfolge ist dimensionsspezifisch aufgeteilt und zeigt, dass mit der Leistungssteigerung der Kriterien T4, B1, B12 etc. parallel begonnen werden kann. Parallel dazu werden die Leistungssteigerungen der Kriterien M7, T6, B13 etc. in etwas verzögerter Reihenfolge eingeplant (usw.). Bestehende Abhängigkeiten können mit Hilfe von Beziehungspfeilen eingetragen werden. Ein Beispiel bildet die Abhängigkeit zwischen den Elementen „T6: Stufe 3“ und „T4: Stufe 4“. Kriterium T4 (Tool-Landschaft) fordert in der vierten Ausbaustufe den Einsatz einer homogenen, hochintegrierten Tool-Landschaft zur disziplinübergreifenden Integration sämtlicher Daten entlang des Produktlebenszyklus. Hierfür ist es zwingend erforderlich, dass bei Kriterium T6 (Sensorik im Produktionssystem) die Stufe 3 erreicht wird. Sie fordert die Ausstattung überwiegender Teile des Produktionssystems mit Sensorik.

Bei der Planung der groben Entwicklungsabfolge ist sicherzustellen, dass die geplanten Ziel-Leistungsstufen zum mittel- und langfristigen Zeithorizont erreicht werden. Ist in der Planung der groben Realisierungsreihenfolge absehbar, dass dies nicht gelingen kann, müssen vorab getätigte Planungsschritte überprüft werden. Mit der Erstellung der groben Realisierungsabfolge stehen alle Voraussetzungen zur Strategieentwicklung zur Verfügung.

4.4 Strategieentwicklung

Ziel der vierten Phase ist die unternehmensindividuelle Industrie 4.0-Strategie. Hierzu werden zunächst strategische Industrie 4.0-Programme gebildet und ausgestaltet (Abschnitt 4.4.1). Die erforderlichen Maßnahmen zur Umsetzung der strategischen Programme werden anschließend in einen Maßnahmenkatalog überführt (Abschnitt 4.4.2). Daraufhin kann die konkrete Realisierungsreihenfolge in einer Industrie 4.0-Roadmap abgebildet werden (Abschnitt 4.4.3). Es folgt die Konzeption des Strategie-Controllings (Abschnitt 4.4.4). Abschließend wird die Industrie 4.0-Strategie abgeleitet (Abschnitt 4.4.5).

4.4.1 Ableitung strategischer Industrie 4.0-Programme

Bei strategischen Programmen handelt es sich um **konzentrierte Aktionen zur Weiterentwicklung des Gesamtunternehmens** [GP14, S. 190]. Sie sind Bestandteil des strategischen Managements (vgl. Abschnitt 2.4). Mit Hilfe strategischer Programme können unmittelbar übergeordnete strategische Themen adressiert werden. Sie dienen der gezielten Vertiefung und Umsetzung der Strategieelemente [MSM+12, S. 50f.]. Sie eignen sich daher auch grundsätzlich zur Konkretisierung einer Industrie 4.0-Strategie.

Das Praxisbeispiel hat gezeigt, dass zu diesem Zeitpunkt aufgrund der umfangreichen vorausgegangenen Analyseschritte (Standortbestimmung, Tiefenanalyse, Priorisierung der Handlungselemente, avisierte Ziel-Leistungsstufen etc.) ein ausgeprägtes Gefühl im Projektteam vorherrscht, welche Themen sich zur Ausgestaltung in strategischen Industrie 4.0-Programmen eignen. Dieser Umstand ist allerdings abhängig von der Konstellation des Projektteams und fällt den Beteiligten nicht unbedingt immer leicht. Leitfragen helfen daher im Folgenden bei der Ableitung strategischer Programme (Bild 4-18).

Ferner muss bei der Ableitung der strategischen Programme die übergeordnete Industrie 4.0-Vision berücksichtigt werden, da die strategischen Programme auf diese Vision hin ausgerichtet sein müssen und Zwischenziele zu deren Erreichung darstellen (vgl. Abschnitt 2.1.4). Die Industrie 4.0-Strategie wird hierdurch „*Top-down*“ konkretisiert. Eine zusätzliche Möglichkeit zur zusätzlichen „*Bottom-up*“-Ausgestaltung der Industrie 4.0-Strategie bilden etablierte Best Practices (vgl. [HKD20, S. 832ff.]). Diese duale Vorgehensweise orientiert sich am sog. *Down-Up-Ansatz*. Neben den Vorgaben der Unternehmensleitung (Industrie 4.0-Vision, Organisation/Koordination der Industrie 4.0-Aktivitäten etc.) werden dadurch auch bereits am Markt etablierte und bestimmten Funktionsbereichen zuzuordnende Lösungen in der Strategieentwicklung berücksichtigt (vgl. [LKD+19, S. 328]). Beispiele sind Montage-Assistenzsysteme in der Produktion oder selbstfahrende Transportsysteme in der Logistik. HOBSCHIEDT hat in diesem Zusammenhang etablierte Industrie 4.0-Lösungen identifiziert, systematisiert und in Form von sog. Industrie 4.0-Umsetzungsmustern dokumentiert. Sie stellen ein geeignetes Hilfsmittel zur Ableitung und inhaltlichen Anreicherung der strategischen Programme dar. Das Vorgehen wird in Bild 4-19 zusammenfassend dargestellt.

Leitfragen zur Ableitung strategischer Industrie 4.0-Programme

Welche inhaltlichen/thematischen Schwerpunkte verbergen sich hinter den priorisierten Handlungselementen?

Beispiel: Die Handlungselemente *Horizontale Integration (T1)*, *Vertikale Integration (T2)*, *Tool-Landschaft (T4)* etc. adressieren eine Vernetzung der IT-Systeme mit einheitlicher Datenhaltung.

Verbergen sich hinter den Handlungselementen mit ähnlichen Schwerpunkten dieselben Herausforderungen/Potentiale?

Beispiel: Hinter den o.g. Handlungselementen verbergen sich beispielsweise folgende Herausforderungen/Potentiale (Auszug):

- △ Fehlendes ERP-System
- △ keine einheitliche Datenhaltung
- △ Insellösungen in der IT-Landschaft

Lassen sich aus den Abhängigkeiten der Ziel-Leistungsstufen Zusammenhänge erkennen?

Beispiel: Ja: Stufe 3 von Handlungselement T1 adressiert die Vernetzung der IT-Systeme innerhalb des Unternehmens und über Unternehmensgrenzen hinweg (z.B. Vernetzung mit Logistikdienstleistern). Stufe 3 von Handlungselement T2 hat die Kommunikation zwischen mehreren Ebenen im Unternehmen zum Gegenstand (z.B. Vernetzung von ERP- und MES-Systemen).

Die genannten Beispiele zielen auf die Vernetzung der IT-Systeme entlang aller Wertschöpfungsebenen unter Nutzung einer einheitlichen Datenhaltung ab (**Strategisches Programm Nr. 1: Single Source Truth**).

Bild 4-18: Leitfragen zur Ableitung strategischer Industrie 4.0-Programme auf Basis vorausgegangener Analyseschritte

Im Praxisbeispiel haben sich bereits frühzeitig erste Hinweise auf strategische Industrie 4.0-Programme ergeben. Ein Abgleich mit der Industrie 4.0-Vision sowie der Rückgriff auf die etablierten Industrie 4.0-Lösungen haben letztlich zu fünf strategischen Programmen geführt. Sie sind in einem Dokumentationsschema beschrieben (Bild 4-20).

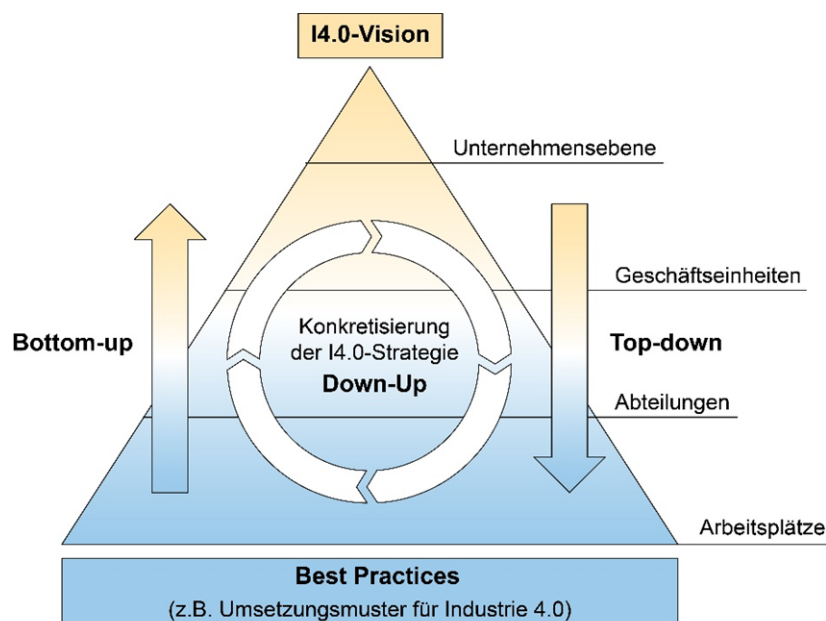


Bild 4-19: Schematische Vorgehensweise bei der Ableitung strategischer Industrie 4.0-Programme in Anlehnung an [LKD+19, S. 328]

Die **Dokumentation eines strategischen Industrie 4.0-Programms** besteht aus einem prägnanten Titel, einer Beschreibung, einem Verweis auf die mit dem Programm adressierten Handlungselemente, den zu erreichenden Zwischenzielen sowie organisatorischen Informationen und Abbruchkriterien. Bei den Zwischenzielen handelt es sich um die zu erzielenden Leistungsstufen. Die Reihenfolge der Zwischenziele ergibt sich aus der groben Realisierungsreihenfolge der Leistungsstufen (vgl. Abschnitt 4.3.4). Jedes Zwischenziel verfügt über eine Nummerierung. Sie setzt sich zusammen aus der Dimension, der Nr. des Handlungselementes sowie der Ziel-Leistungsstufe. Das Zwischenziel mit der Nr. T6.2 verdeutlicht daher, dass es sich um die Dimension Technik (T), das Handlungselement Nr. 6 (Sensorik (Produktionssystem)) und Ziel-Leistungsstufe 2 handelt. Diese Ziel-Leistungsstufe verfügt über eine allgemeine Beschreibung im Industrie 4.0-Reifegradmodell. Diese ist naturgemäß sehr oberflächlich und abstrakt. Es empfiehlt sich, das Ziel in Form einer erforderlichen Maßnahme zu deren Erreichung zu konkretisieren. Diese Maßnahmen haben zunächst noch einen sehr allgemeinen Charakter und werden im weiteren Verlauf mit Hilfe eines detaillierten Maßnahmenkatalogs konkretisiert.

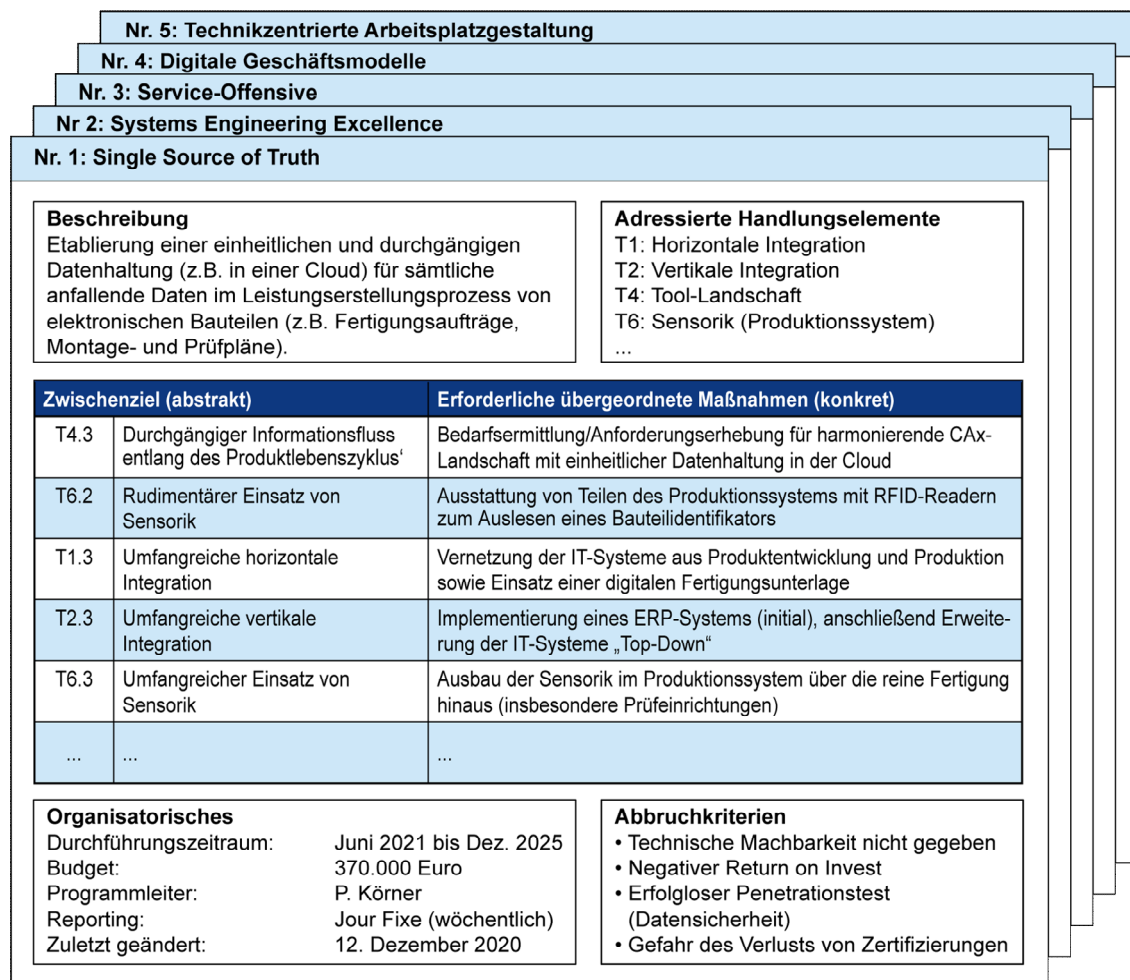


Bild 4-20: Dokumentationsschema für strategische Programme

4.4.2 Erstellung eines Maßnahmenkatalogs

Die noch sehr allgemein gefassten Maßnahmen aus den strategischen Industrie 4.0-Programmen werden nun in einem **Maßnahmenkatalog** beschrieben sowie mit Verantwortlichkeiten und Fälligkeitsterminen versehen (Bild 4-21). Hierdurch gelingt eine sukzessive Präzisierung der Strategieaktivitäten – von der groben Realisierungsreihenfolge von Leistungsstufen über Strategieprogramme bis zu konkreten Umsetzungsmaßnahmen. Die Praxis hat gezeigt, dass sich ein Großteil dieser Maßnahmen relativ leicht vom Projektteam definieren lässt. Für den Fall, dass kein ausreichendes Vorstellungsvermögen über zu ergreifende Aktivitäten besteht, empfiehlt sich ein erneuter Rückgriff auf Best Practices. Die darin enthaltenen Industrie 4.0-Lösungen lassen sich ggf. leicht adaptieren und auf den eigenen Anwendungsfall übertragen.

Für den Maßnahmenkatalog bestehen zwei Möglichkeiten der Gliederung: 1) programmübergreifend in chronologischer Reihenfolge gemäß der Realisierungsreihenfolge in Abschnitt 4.3.4 oder 2) in chronologischer Reihenfolge, aber getrennt nach strategischen Programmen. Letztere wurde im Praxisbeispiel aufgrund ihrer Übersichtlichkeit gewählt. Jede enthaltene Maßnahme verfügt über eine eindeutige Nummerierung, eine Bezeichnung, Verantwortlichkeiten, die Fälligkeit sowie Bemerkungen bzw. Statusangaben. Anhand des nachfolgenden Beispiels wird das Vorgehen verdeutlicht.

Das strategische Programm *Nr. 1 „Single Source of Truth“* beinhaltet das Handlungselement T4 (vgl. Bild 4-20). Die grobe Entwicklungsabfolge zeigt, dass die Erreichung der Leistungsstufe 3 dieses Handlungselements direkt zu Beginn erfolgen soll (vgl. Bild 4-17). Demnach werden die konkreten Maßnahmen hierzu im Maßnahmenkatalog detailliert beschrieben (vgl. Bild 4-21). Ein analoges Vorgehen erfolgt für alle weiteren Handlungselemente samt Leistungsstufen. Die Leistungssteigerung wird hierdurch in nachvollziehbare Aufgaben unterteilt und sukzessiv aufgebaut.

Maßnahmenkatalog			
Stand: 16. November 2020			
Nr.	Maßnahme	Verantw./Fälligk.	Bemerkung/Status
T4: Tool-Landschaft, Stufe 3: Durchgängiger Informationsfluss entlang des Produktlebenszyklus			
T4.3.1	Prozessanalyse	EL, Dez. 2020	Produktentstehungsprozess etc.
T4.3.2	Anforderungserhebung für Engineering-Software	TP, März 2021	Unter Einbezug der gesamten R&D
T4.3.3	Identifizierung verfügbarer Anbieter/Vorauswahl	TP, April 2021	Arbeitsgruppe bilden
...
T6: Sensorik, Stufe 2: Rudimentärer Einsatz von Sensorik			
T6.2.1	Dateninventarisierung	KM/RS, Apr. 2021	
T6.2.2	Ermittlung Use Cases	KM/RS, Mai 2021	Am Beispiel SMD
T6.2.3	Maschinenauswahl	KM, Juni 2021	3-5 Pilotprojekte
...
B1: Industrie 4.0-Strategie, Stufe 3: Strategie formuliert, aber noch nicht umgesetzt			
B1.3.1	Bildung strategischer Programme	CH, Aug. 2020	Enge Abstimmung mit GF
B1.3.2	Strategie-Dokumentation	CH, Aug. 2020	Als Big Picture
B1.3.3	Strategie-Kommunikation	CH, Okt. 2020	Unternehmensweit
...
B12: Geschäftsmodellentwicklung, Stufe 3: Rückgriff auf Strukturierungshilfen und Methoden			
B12.3.1	Methoden-Schulungen	CP, Juni 2021	Motivation, Gegenstand, Zielsetzung
B12.3.2	Geschäftsmodell-Workshops	CP, Nov. 2021	Inkl. Dokumentation und Pitching
B12.3.3	Bewertung und Auswahl	GF, März 2022	Aufwand-/ Nutzenabschätzung
...
M7: Ergonomie, Stufe 2: Ergonomische Gestaltung mit wenigen Anpassungsmöglichkeiten			
M7.2.1	Unterweisung Arbeitssicherheit	AS, März 2021	Prävention, gem. §12 ArbSchG
M7.2.2	Ergonomieanalysen	AS, Okt. 2021	Alle Arbeitsplätze
M7.2.3	Maßnahmenplan Arbeitsplatzgestaltung	AS/GF, Dez. 2021	Präventive Sofortmaßnahmen, weiterführende Maßnahmen
...
M3: Flexibilität der Arbeitszeiten, Stufe 2: Gleitende Arbeitszeit			
M3.2.1	Zustimmung Arbeitszeitmodell durch Betriebsrat	Br, Sept. 2023	
M3.2.2	Implementierung flächendeckender Stundenkonten	PA, Dez. 2023	Anpassung Arbeitsverträge?
M3.2.3	Optimierung Arbeitszeiterfassung	TD, Febr. 2024	Flächendeckend, elektronisch
...

Bild 4-21: Maßnahmenkatalog zur Umsetzung der Industrie 4.0-Leistungssteigerung

4.4.3 Erstellung einer Industrie 4.0-Roadmap

Der Maßnahmenplan bildet eine geeignete Basis zur Erstellung einer **Industrie 4.0-Roadmap**. Sie stellt im Gegensatz zur groben Realisierungsreihenfolge und dem erstellten Maßnahmenkatalog eine Möglichkeit dar, die Umsetzung der Industrie 4.0-Aktivitäten über den Planungszeitraum visuell darzustellen und die einzelnen Maßnahmen mit

Zeitspannen zu versehen. Die Gliederung der Roadmap erfolgt gemäß der definierten strategischen Industrie 4.0-Programme (Bild 4-22).

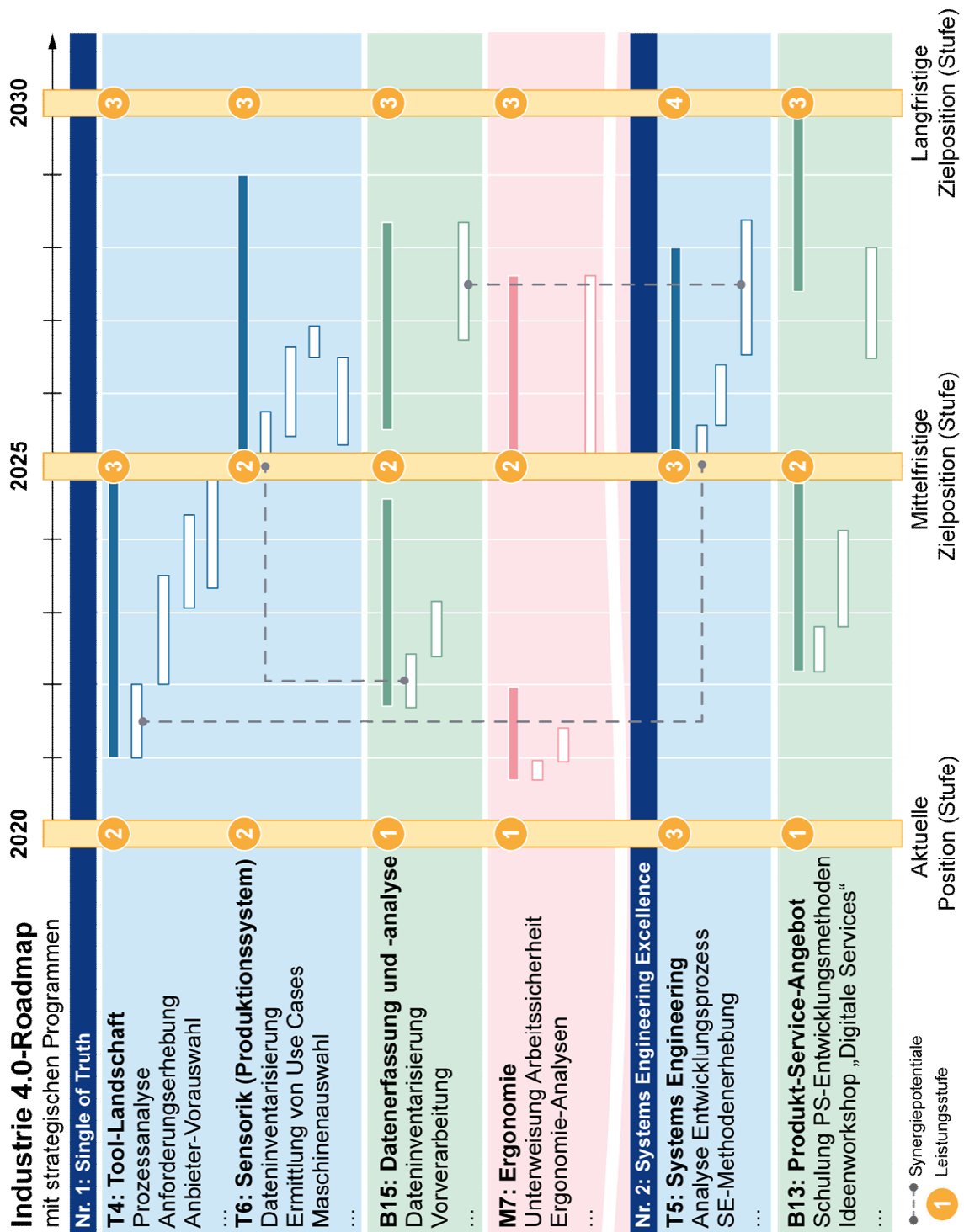


Bild 4-22: Industrie 4.0-Roadmap

Der charakteristische Aufbau wird anhand des strategischen Industrie 4.0-Programms „Single Source of Truth“ erörtert. In den Zeilen der Roadmap sind die Handlungsele-

mente (fett) sowie die zur Leistungssteigerung erforderlichen Maßnahmen (mager, jeweils darunter) aufgetragen. Die rechts daneben befindlichen Balken zeigen an, in welchem Zeitraum die Maßnahmen geplant sind. Ihre farbliche Einfärbung sorgt für eine Zuordnung zur soziotechnischen Dimension (vgl. Abschnitt 4.2.1). Zusätzlich ist die Roadmap mit drei senkrechten Spangen (gelb) versehen. Sie zeigen die Positionen der Handlungselemente zum heutigen Zeitpunkt sowie die mittelfristige (Zeithorizont: 5 Jahre) und langfristige Zielposition (Zeithorizont: 10 Jahre) an. Die grauen gestrichelten Verbindungslinien zwischen verschiedenen Maßnahmen weisen darauf hin, dass voraussichtlich Synergiepotentiale zwischen den Aufgaben bestehen. Bei der Bearbeitung empfiehlt sich eine entsprechende Überprüfung, damit Doppelarbeit vermieden wird. Zusätzlich empfiehlt sich ein regelmäßiger (wöchentlicher, monatlicher, ...) Austausch zwischen den Programmleitern mit einem Reporting, sodass weitere, bisher unentdeckte Synergiepotentiale bestmöglich gehoben werden können.

4.4.4 Erarbeitung eines Controlling-Konzepts

Bevor alle bisher erarbeiteten Strategieinhalte in einem zentralen Dokument – der Industrie 4.0-Strategie – zusammengefasst werden, erfolgt die **Konzeption des Strategie-Controllings**. Es dient der systematischen Überprüfung, inwieweit die Strategieaktivitäten auch tatsächlich Früchte tragen und ist elementarer Bestandteil der Strategieentwicklung (vgl. Abschnitt 2.4.2). Naturgemäß kann die tatsächliche Durchführung des Controllings erst erfolgen, wenn die ersten Strategieaktivitäten initiiert werden. Folglich entsteht im Rahmen dieser Phase zunächst das dafür erforderliche Konzept, bevor dessen eigentliche Anwendung im Rahmen der Strategieumsetzung erfolgt.

Das Strategie-Controlling ist ein in regelmäßigen Abständen wiederkehrender Prozess und gliedert sich in die Teilaufgaben *Umsetzungs-Controlling* und *Prämissen-Controlling*. Das **Prämissen-Controlling** befasst sich mit der Überprüfung der Annahmen, die der aktuellen Strategie zugrunde liegen. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei den Annahmen um die ermittelte aktuelle Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit des Anwenderunternehmens, die antizipierten Industrie 4.0-Trends sowie das zugrunde liegende Industrie 4.0-Referenzszenario. Das **Umsetzungs-Controlling** zielt auf die Überprüfung der Maßnahmen und Sicherstellung der Strategie-Umsetzung ab. Es beinhaltet regelmäßige Soll-Ist-Abgleiche in Bezug auf den Umsetzungsfortschritt (strategische Programme, Maßnahmenkatalog, Industrie 4.0-Roadmap) sowie die Gegensteuerung bei festgestellten Abweichungen [Hah06, S. 452ff.], [SK20, S. 245ff.].

Das Umsetzungs-Controlling erfolgt mit Hilfe einer modifizierten **Balanced Scorecard**. (vgl. Abschnitt 3.7.1). Dabei handelt es sich um ein an die Erfordernisse der strategischen Führung angepasstes Kennzahlensystem [GP14, S. 214]. Die ursprünglich darin enthaltenen Perspektiven werden hierzu ersetzt. Der Grund ist, dass die ursprünglichen Perspektiven sich zwar gut für das Monitoring von Unternehmens- und Geschäftsstrategien eignen, jedoch weniger zur gezielten Überwachung einer Industrie 4.0-Strategie. Der

Kerngedanke bleibt hingegen gleich: Die in der Balanced Scorecard enthaltenen Indikatoren dienen dazu, die Strategieaktivitäten auf ein gemeinsames Ziel hin auszurichten (vgl. [NW14, S. 355]). In diesem Fall handelt es sich dabei um die Erreichung der übergeordneten Industrie 4.0-Vision, die wiederum mit Hilfe der entwickelten Industrie 4.0-Programme erreicht werden soll. Vor diesem Hintergrund wird der Fokus auf das Monitoring der strategischen Industrie 4.0-Programme gelegt (Bild 4-23).

5 Technikzentrierte Arbeitsplatzgestaltung				
4 Digitale Geschäftsmodelle				
3 Service-Offensive				
2 Systems Engineering Excellence				
1 Single Source of Truth				
Strategisches Ziel		Messgrößen	Operatives	Aktivität/Bem.
T4.3	Tool-Landschaft Durchgängiger Informationsfluss entlang des PLZ	a) Systemdurchgängigkeit Produktentstehungsprozess b) Anzahl unterschiedlicher Systemanbieter/ Schnittstellen c) Reduzierung Entwicklungszeit d) Return on Invest e) ...	80% Max. 2/1 - 20% > 3%	
T6.2	Sensorik (Produktionssystem) Rudimentärer Einsatz von Sensorik	a) Inventarisierte Daten b) Anteil beschaffter/ nachgerüsteter Anlagen c) Fehlerkosten d) ...	100% 60% -8%	
T1.3	Horizontale Integration Umfangreiche horizontale Integration	a) Integrationsgrad (interne Wertschöpfungsprozesse) b) Integrationsgrad vor-/nachgelagerte Wertschöpfungspartner c) Durchlaufzeit d) ...	70% 60% - 10%	Wertschöpfung/ Umsatz
T2.3	Vertikale Integration Umfangreiche Vertikale Integration	a) Integrationsgrad Unternehmensebenen b) ...	80%	Wertschöpfung/ Umsatz
T6.3	Sensorik (Produktionssystem) Umfangreicher Einsatz von Sensorik	a) Anteil neubeschaffter/ nachgerüsteter Anlagen b) Anteil integrierter Prüfeinrichtungen c) ...	80% 80%	
...

Bild 4-23: Ableitung strategischer und operativer Ziele und Messgrößen

In Anlehnung an das System von KAPLAN und NORTON enthält der Berichtsbogen für die strategischen Industrie 4.0-Programme *Strategische Ziele*, *Messgrößen*, *operative Ziele* sowie Hinweise zu *Aktivitäten bzw. Bemerkungen* [KN96, S. 7ff.]. Die strategischen (Zwischen-)Ziele sind bereits hinlänglich aus den vorherigen Phasen bekannt. Die Messgrößen und operativen Ziele sind in enger Abstimmung zwischen Projektteam und Geschäftsleitung des Unternehmens zu definieren. Neben der Balanced Scorecard dient ein regelmäßiger Soll-Ist-Abgleich der Umsetzungsmaßnahmen (Maßnahmenkatalog, Industrie 4.0-Roadmap) dazu, den Umsetzungsfortschritt zu prüfen. Werden Abweichungen festgestellt, sind je nach Feststellung individuelle Gegenmaßnahmen einzuleiten. Eine detaillierte Handlungsempfehlung kann an dieser Stelle nicht pauschal abgegeben werden. In der Regel liegt die Ursache in **falsch geplanten Maßnahmen**. Sie eignen sich

möglicherweise nicht zur Umsetzung der Strategie, sind nicht effizient oder mit den definierten Ressourcen nicht wie geplant umsetzbar.

Beim Prämissen-Controlling ist kein gesondertes Instrument wie die Balanced Scorecard erforderlich. Die Systematik enthält bereits an verschiedenen Stellen Vorgehensweisen zur Ableitung und Dokumentation verschiedener Annahmen, die als Basis der Strategieentwicklung dienen. Beispiele bilden die Industrie 4.0-Vision in Abschnitt 4.1, das aktuelle Industrie 4.0-Leistungsprofil in Abschnitt 4.2 oder die Annahmen über zukünftige Zielpositionen in Abschnitt 4.3 (Industrie 4.0-Trends, Zukunftsszenarien). Im Rahmen des Prämissen-Controllings gilt es daher vordergründig, die Ergebnisse dieser Phasen zu überprüfen. Werden hierbei Abweichungen zu den bisher getroffenen Annahmen festgestellt, sind die Arbeitsschritte der betroffenen Phase erneut zu durchlaufen. Folglich haben Änderungen der Prämissen auch Änderungen der Strategie zur Folge. Der iterative Charakter des Strategie-Controllings wird hierdurch besonders ersichtlich.

4.4.5 Ableitung der Industrie 4.0-Strategie

Die erarbeiteten Inhalte werden abschließend in einer Industrie 4.0-Strategie zusammengefasst. Sie besteht aus drei übergeordneten Teilen: Der *Industrie 4.0-Vision*, den strategischen *Industrie 4.0-Programmen* und der *Industrie 4.0-Roadmap*. Die Strategie ist in vereinfachter Form in Bild 4-24 dargestellt. Ihre Bestandteile sind im Einzelnen:

Industrie 4.0-Vision: Sie besteht in Anlehnung an eine unternehmerische Vision aus dem Leitbild, strategischen Kompetenzen sowie der strategischen Position. Gemäß den Ausführungen aus Abschnitt 4.1.1 erfolgt die Beschreibung der Industrie 4.0-Vision für die Bereiche Leistungsangebot (links) und Leistungserstellung (rechts) sowie die Kombination aus beiden Bereichen (mittig).

Strategische Industrie 4.0-Programme: Beinhaltet die konkreten und unternehmensindividuellen strategischen Programme als aggregierte Maßnahmenbündel zur Umsetzung der Industrie 4.0-Strategie. Im Strategiedokument werden sie zur Gewährleistung der Übersichtlichkeit mittels Kurzbeschreibungen dargestellt.

Industrie 4.0-Roadmap: Sie ist gegliedert in die strategischen Industrie 4.0-Programme und präzisiert diese über konkrete Umsetzungsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 4.4.3). Sie enthält außerdem die mittelfristigen und langfristigen Zielpositionen.

Selbstverständlich ist es möglich, die Bestandteile der Strategie unternehmensindividuell anzupassen oder zu ergänzen. Die konsolidierte Darstellung in einem zentralen Dokument wird allerdings empfohlen. Hierdurch werden nicht nur die wesentlichen Inhalte prägnant dargestellt, es eignet sich auch insbesondere zur Kommunikation der Strategie im Unternehmen. Entgegen der vielfachen Annahme, eine Strategie sei geheim und allenfalls der Geschäftsführung bekannt, muss eine Strategie in allen Unternehmensbereichen kommuniziert werden, damit alle Mitarbeiter bei ihrem täglichen Tun an der Umsetzung der Strategie mitwirken können.

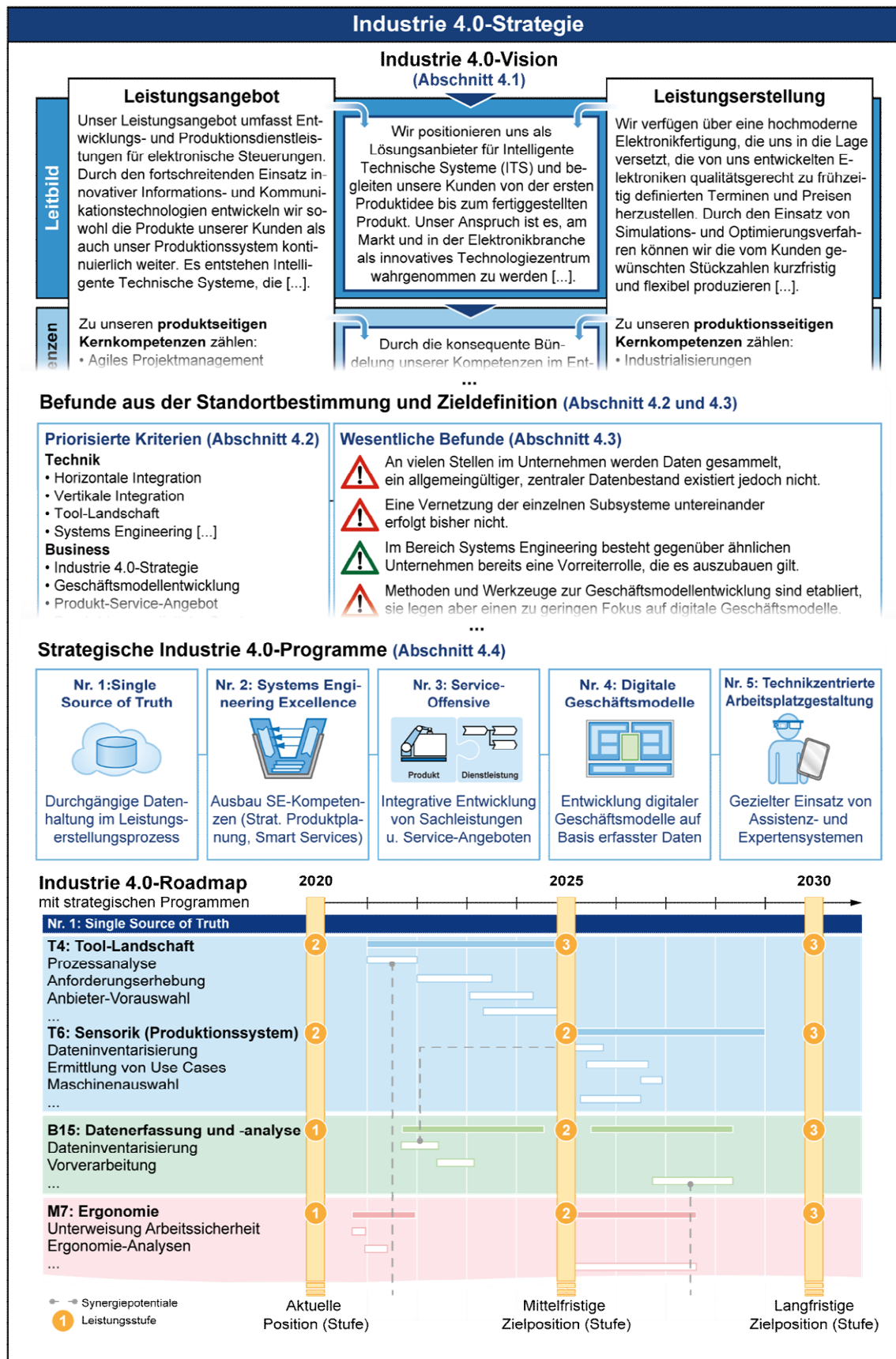


Bild 4-24: Strategie zur unternehmensindividuellen Umsetzung von Industrie 4.0 unter soziotechnischen Gesichtspunkten (vereinfachte Darstellung)

4.5 Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen

In diesem Abschnitt wird die vorgestellte Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien anhand der aufgestellten Anforderungen aus Abschnitt 2.7 bewertet. Es wird dargelegt, inwiefern die einzelnen Bestandteile der Systematik bzw. deren Zusammenwirken die Anforderungen erfüllen.

A1: Soziotechnische Unternehmensgestaltung

Durch die methodische Unterstützung bei der Identifikation und Selektion geeigneter Reifegradmodelle wird die soziotechnische Unternehmensgestaltung sichergestellt. Es werden bereits frühzeitig Reifegradmodelle aussortiert, die dem soziotechnischen Anspruch nicht gerecht werden. Alle sich anschließenden Aufgaben und Methoden sind so gewählt, dass sie ebenfalls unter soziotechnischen Gesichtspunkten durch- bzw. fortgeführt werden können. Ein Beispiel bilden die eingesetzten Methoden der Vorausschau, die besonderen Fokus auf technische, organisatorische sowie soziale Aspekte gelegt hat.

A2: Individualisierbarkeit für Anwenderunternehmen

Die Anwendung der Systematik kann unabhängig von der Ausgangssituation und vom aktuellen Digitalisierungsfortschritt eines Unternehmens erfolgen. Die einzelnen Phasen von der Standortbestimmung über die Zieldefinition bis hin zur Strategieentwicklung sind bewusst so gestaltet, dass sie auf die Bedürfnisse des Anwenderunternehmens zugeschnitten werden können.

A3: Verzahnung entlang der Strategieebenen

Unter Berücksichtigung der Unternehmensstrategie erfolgt zunächst die Formulierung einer Industrie 4.0-Vision. Der Aufbau dieser Vision orientiert sich am Aufbau einer unternehmerischen Vision und beinhaltet ein Leitbild, strategische Kompetenzen und die strategische Position. Hierdurch werden Vorgaben aus der Unternehmensebene Top-Down in die Industrie 4.0-Strategie eingebracht. Parallel erfolgt die Ausgestaltung der Industrie 4.0-Strategie Bottom-up durch die Definition strategischer Industrie 4.0-Programme. Sie werden durch Best-Practices (vor allem aus der Feldebene) angereichert. Die Industrie 4.0-Strategie wird hierdurch Down-up definiert und findet über alle Unternehmensebenen Anwendung.

A4: Einsatz eines Reifegradmodells zur Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung bildet die Ausgangsbasis zur Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie. Hierzu wird eine Standortbestimmung mit Hilfe eines Industrie 4.0-Reifegradmodells durchgeführt. Die aktuelle Leistungsfähigkeit wird anschließend durch das aktuelle Leistungsprofil (Ist-Profil) repräsentiert. Der Einsatz eines Reifegradmodells zur Leistungsbewertung wird hierdurch also umfassend abdeckt.

A5: Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten I4.0-Reifegradmodells

Die Vielfalt existierender Reifegradmodelle erfordert die Unterstützung bei der Auswahl eines idealen Ansatzes. Hierzu wird ein Vorgehen bereitgestellt, dass die Sammlung, Charakterisierung, Bewertung und letztlich die Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells unterstützt.

A6: Konsistenz von Entwicklungsstufen

Die Konsistenz von Entwicklungsstufen wird in einem mehrstufigen Vorgehen sichergestellt. Zunächst erfolgt die Priorisierung von Handlungselementen, die zur Leistungssteigerung herangezogen werden sollen. Durch die Abhängigkeitsanalyse wird sichergestellt, dass Interdependenzen berücksichtigt werden. Die in den Handlungselementen enthaltenen Leistungsstufen werden anschließend zur Strategieentwicklung herangezogen. Ihre Entwicklungsabfolge wird mit Hilfe eines Konsistenz-Checks verifiziert. Konsistente Entwicklungsstufen werden anschließend zu strategischen Industrie 4.0-Programmen zusammengefasst und mittels Maßnahmenplan und Industrie 4.0-Roadmap ausgestaltet.

A7: Einsatz von Methoden der strategischen Vorausschau

Die Definition von mittel- und langfristigen Zielpositionen wird mit Hilfe einer Industrie 4.0-Trendanalyse sowie mit Industrie 4.0-Zukunftsszenarien unterstützt. Durch den Rückgriff auf diese beiden etablierten Methoden der strategischen Vorausschau ist sichergestellt, dass die Zieldefinition nicht nur intuitiv, sondern unter Einbezug der antizipierten Umfeldentwicklungen erfolgt. Hierdurch lassen sich insbesondere Zielpositionen zu zwei unterschiedlichen Zeithorizonten definieren, was die schrittweise Einführung bzw. Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen fördert.

A8: Berücksichtigung der Auswirkungen von Umfeldentwicklungen

Die Auswirkungsanalyse im Rahmen der Zieldefinition stellt sicher, dass die mittel- und langfristigen Umfeldentwicklungen bei der Definition der Ziel-Leistungsstufen berücksichtigt werden. Die Bewertungsmöglichkeiten der Umfeldentwicklungen (Eintrittswahrscheinlichkeit, Auswirkungsstärke) setzen hierfür den Grundstein und erlauben eine unternehmensspezifische Einschätzung der Auswirkungen auf die Leistungssteigerung.

A9: Durchführung eines Benchmarks

Die Systematik liefert einen Integrationsrahmen für ein Benchmarking. Je nach vorhandener Datenbasis ist es möglich, die eigenen Positionen heute und in der Zukunft mit denen von anderen Unternehmen zu vergleichen. Um eine stärkere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, können bei Bedarf Unternehmensklassen als Hilfsmittel genutzt werden. Hierdurch können die eigenen Abschätzungen verifiziert und ggf. korrigiert werden. Das Benchmarking unterstützt hierdurch bei der Ableitung strategischer Schlüsse.

A10: Ableitung der Leistungsstufen-basierten Industrie 4.0-Strategie

Nach der Zieldefinition wird die Erreichung der mittel- und langfristigen Ziel-Leistungsstufen für jedes Handlungselement systematisch geplant. Es wird ein Vorgehen bereitgestellt, wie diese Leistungsstufen zunächst in strategischen Industrie 4.0-Programmen zusammengefasst werden können, ehe sie Bestandteil der vollumfänglichen Industrie 4.0-Strategie werden.

A11: Maßnahmen zur Industrie 4.0-Strategieumsetzung

Neben der Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie an sich ist auch die Planung von Umsetzungsmaßnahmen impliziter Bestandteil der Systematik. Die strategischen Programme, der Maßnahmenkatalog sowie die Umsetzungsplanung mittels Industrie 4.0-Roadmap sorgen für eine systematische Ausgestaltung der Maßnahmen zur Strategieumsetzung.

A12: Bereitstellung eines Konzepts zum Strategie-Controlling

Mit Hilfe eines Controlling-Konzepts bestehend aus einem Umsetzungs- und Prämissen-Controlling werden die Strategieaktivitäten umfassend überwacht. Dabei ist durch eine modifizierte Balanced Scorecard sichergestellt, dass das Controlling auf die Besonderheiten der individuellen Industrie 4.0-Strategie zugeschnitten ist.

Die entwickelte Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien erfüllt somit die gestellten Anforderungen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Durchdringung von Gesellschaft und Industrie mit Informations- und Kommunikationstechnologien führt zu einer stetig zunehmenden Vernetzung von Menschen, Objekten, Organisationen und Informationen. Die hierdurch aufkeimenden Möglichkeiten in der betrieblichen Wertschöpfung gleichen einer Revolution, was mit dem Begriff Industrie 4.0 zum Ausdruck gebracht wird. **Kapitel 1** zeigt, dass dies tiefgreifende Veränderungen hervorruft. Neben völlig neuen Wertschöpfungssystemen ergeben sich vor allem neue Leistungsangebote und faszinierende Möglichkeiten der Leistungserstellung. Zusätzlich zu technischen Neuerungen lassen sich auch Auswirkungen auf den Arbeitsplatz beobachten. Hierdurch ergeben sich nahezu unüberschaubare Handlungsoptionen und Herausforderungen für Unternehmen – insbesondere für KMU. In wissenschaftlichen Untersuchungen sowie der Praxis wird deutlich, dass viele Unternehmen deshalb die digitale Transformation hin zu Industrie 4.0 nach wie vor scheuen. Es mangelt an einem strukturierten Vorgehen zur systematischen und evolutionären Planung der digitalen Transformation mit Hilfe einer maßgeschneiderten Industrie 4.0-Strategie.

In **Kapitel 2** werden die Herausforderungen bei der Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie analysiert. Zunächst wird deutlich, dass das Paradigma Industrie 4.0 bereits an sich sehr facettenreich ist. Mit der vierten industriellen Revolution in Verbindung gebracht werden zahlreiche Veränderungen – beispielsweise von Marktleistungen, Geschäftsmodellen und der Leistungserstellung. Dies macht eine soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0 erforderlich. Es resultieren neben Herausforderungen auch erhebliche Chancen für Unternehmen. Vor allem KMU scheinen allerdings häufig überfordert und in der Umsetzung von Industrie 4.0 erheblich gehemmt zu sein. Ihnen mangelt es an geeigneten Hilfestellungen, die eine schrittweise Herangehensweise an das Thema Industrie 4.0 erlauben. Als Hilfsmittel etablieren sich zunehmend Industrie 4.0-Reifegradmodelle. Bei genauer Untersuchung fallen erhebliche Parallelen zwischen der Anwendung dieser Reifegradmodelle, dem Konzept der strategischen Unternehmensführung sowie bestehenden Industrie 4.0-Implementierungsleitfäden auf. Die Kombination der genannten Konzepte zur Entwicklung einer Industrie 4.0-Strategie erscheint daher vielversprechend.

Die Untersuchung des Stands der Technik in **Kapitel 3** zeigt, dass bestehende Ansätze den identifizierten Herausforderungen aus Kapitel 2 nicht vollumfänglich begegnen können. Die aus der Problemanalyse abgeleiteten Anforderungen werden bisher nicht erfüllt. Einzelne Ansätze und Methoden können die Systematik jedoch stellenweise unterstützen.

Aus Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde in **Kapitel 4** eine Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien vorgestellt. Sie beinhaltet die übergeordneten Phasen Vorbereitung, Standortbestimmung, Zieldefinition und Strategieentwicklung. Gegenstand der Vorbereitung ist die Formulierung eines übergeordneten Ziels in Form einer Industrie 4.0-Vision. Daraufhin werden bestehende Industrie 4.0-Rei-

reifegradmodelle identifiziert und klassifiziert. Abschließend wird ein Erfolg versprechendes Industrie 4.0-Reifegradmodell ausgewählt, das im weiteren Verlauf zur Strategieentwicklung herangezogen wird. Es stellt das zentrale Ergebnis der ersten Phase dar.

In der zweiten Phase erfolgt die Bewertung der aktuellen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit mit Hilfe des ausgewählten Reifegradmodells. Anschließend werden Handlungselemente (Kriterien) des Reifegradmodells ausgewählt, die Bestandteil der Strategie werden sollen. Eine Abhängigkeitsanalyse dient dazu, die Liste der priorisierten Kriterien zu vervollständigen, ohne bestehende Abhängigkeiten zu vernachlässigen. Ergebnis ist das aktuelle Industrie 4.0-Leistungsprofil.

Die dritte Phase widmet sich der Zieldefinition. Gegenstand ist zunächst eine strategische Vorausschau mit Hilfe einer Trendanalyse sowie der Szenario-Technik. Die Methoden liefern Trends und Zukunftsszenarien im Kontext Industrie 4.0. Daraufhin werden die Auswirkungen der Umfeldentwicklungen auf die Zielerreichung untersucht. Hieraus ergeben sich Hinweise auf anzustrebende Zielpositionen. Zusätzlich dient ein Benchmarking dazu, die Zielpositionen mit ähnlichen Unternehmen zu vergleichen. Ergebnisse sind verifizierte mittel- und langfristige Industrie 4.0-Zielpositionen sowie eine grobe Entwicklungsabfolge für zu erzielende Leistungsstufen.

In der vierten Phase erfolgt die Strategieentwicklung. Hierzu werden zunächst strategische Industrie 4.0-Programme gebildet. Sie werden über einen Maßnahmenkatalog konkretisiert. In einer Industrie 4.0-Roadmap wird die Umsetzung anschließend zeitlich geplant. Abschließend wird unter Nutzung einer modifizierten Balanced Scorecard ein Strategie-Controlling bereitgestellt. Alle Informationen werden in einer Industrie 4.0-Strategie konsolidiert.

Es wird festgestellt, dass die Systematik die an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Die Anwendung im industriellen Kontext wurde an einem durchgängigen Beispiel eines Entwicklungs- und Fertigungsdienstleisters für Intelligente Technische Systeme dargelegt. Zusätzlich wurde die Praktikabilität während der Forschungsaktivitäten in weiteren Anwenderunternehmen nachgewiesen. Die Systematik leistet einen signifikanten Beitrag zur vollumfänglichen Planung der digitalen Transformation kleiner und mittlerer Unternehmen mit Hilfe einer Industrie 4.0-Strategie. In Abhängigkeit der Rahmenbedingungen eignet sich das Vorgehen auch für Unternehmen anderer Branchen und Unternehmensgrößen bzw. für Teilbereiche von Unternehmen. Im Bedarfsfall können einige Analyseschritte modifiziert werden oder sich sogar erübrigen.

Trotz der Erfüllung aller Anforderungen kann jedoch auch **zukünftiger Forschungsbedarf** festgestellt werden. Dieser lässt sich in kurz-, mittel- und langfristigen Bedarf unterteilen. Kurzfristig können weitere Industrie 4.0-Reifegradmodelle identifiziert und systematisiert werden, was zu einer Erweiterung des Handlungsspielraums bei der Auswahl eines geeigneten Industrie 4.0-Reifegradmodells führt. Kurzfristig erscheint ebenfalls der Aufbau einer umfangreichen Datenbasis zu Benchmarking-Zwecken im Rahmen der Zieldefinition zweckmäßig. Insofern erste Daten bereits vorhanden sind, empfiehlt

sich der Ausbau dieser Datenbasis. Hierdurch wird die Validität der ermittelten Zielpositionen sukzessiv erhöht. Darüber gilt es, die Systematik in bestehende strategische Planungsprozesse von Unternehmen zu integrieren und Schnittstellen zu den bestehenden Strategieebenen zu definieren. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Industrie 4.0-Strategie ihre volle Durchschlagskraft entfalten kann.

Mittelfristig erscheint der phasenübergreifende Aufbau einer Web-App zur Anwendung der Systematik zweckmäßig. Im vorliegenden Praxisbeispiel wurde für die Verwendung des INLUMIA-Reifegradmodells eine prototypische Web-App umgesetzt, die ggf. erweitert werden kann. Zu den möglichen Ausbaustufen zählen beispielsweise die Ergänzung zusätzlicher Reifegradmodelle, die Integration weiterer Methoden zur strategischen Vorausschau respektive Zieldefinition sowie die Integration von Schnittstellen zu weiteren Systemen wie beispielsweise digitalen Katalogen für Industrie 4.0-Umsetzungsmuster (vgl. [HKD20]). Mittelfristig scheint ebenso denkbar, die Systematik für die Anwendung in weiteren Bereichen zu adaptieren (z. B. die Digitalisierung von Kommunalverwaltungen).

Langfristig erscheint die Erweiterung der Systematik über Unternehmensgrenzen hinweg als Erfolg versprechend. Kerngedanke ist eine organisationsübergreifende Strategieentwicklung verschiedener an der Wertschöpfung beteiligter Partner. Dies führt dazu, dass die Industrie 4.0-Aktivitäten aller Wertschöpfungspartner bestmöglich aufeinander abgestimmt sind und ideal ineinandergreifen. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass nicht nur die eigene Leistungsfähigkeit systematisch erhöht wird, sondern die Gesamtleistung und damit die Schlagkräftigkeit des gesamten Ökosystems optimiert wird.

6 Literaturverzeichnis

- [AAW04] ALISCH, K.; ARENTZEN, U.; WINTER, E.: Gabler Wirtschaftslexikon. 16. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2004
- [ABD+15] ADOLPHS, P.; BEDENBENDER, H.; DIRZUS, D.; EHLICH, M.; EPPLE, U.; HANKEL, M.; HEIDEL, R.; HOFFMEISTER, M.; HUHLE, H.; KÄRCHER, B.; KOZIOLEK, H.; PICHLER, R.; POLLMEIER, S.; SCHEWE, F.; WALTER, A.; WASER, B.; WOLLSCHLAEGER, M.: Statusreport – Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Düsseldorf, 2015
- [Abo16] ABOLHASSAN, F. (Hrsg.): Was treibt die Digitalisierung? – Warum an der Cloud kein Weg vorbeiführt. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016
- [aca15] ACATECH (Hrsg.): Innovationsindikator 2015 – Schwerpunkt Mittelständische Wirtschaft. Berlin, 2015
- [aca16] ACATECH (Hrsg.): Kompetenzen für Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze. München, 2016
- [aca18] ACATECH (Hrsg.): Smart Service Welt 2018 – Wo stehen wir? Wohin gehen wir? München, 2018
- [aca19] ACATECH (Hrsg.): Akzeptanz von Industrie 4.0. München, 2019
- [AEG+12] AMSHOFF, B.; ECHTERHOFF, N.; GAUSEMEIER, J.; GROTE, A.-C.: Planung von Cross-Industry-Innovationen – Methodik für einen branchenübergreifenden Lösungstransfer. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 8. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 6. – 7. Dezember 2012, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 306, Paderborn, 2012, S. 149–171
- [AF15] ANDERL, R.; FLEISCHER, J.: Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2015
- [AGS+17] ABRAMOVICI, M.; GÖBEL, J. C.; SAVARINO, P.; GEBUS, P.: Dynamische Rekonfiguration als neue Engineering-Herausforderung im Lebenszyklus Smarter Produkte. In: Binz, H.; Bertsche, B.; Bauer, W.; Spath, D.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017, 29. Juni 2017, Stuttgart, Universität Stuttgart/Fraunhofer IAO, 2017, S. 1–10
- [AH16] ABRAMOVICI, M.; HERZOG, O. (Hrsg.): Engineering im Umfeld von Industrie 4.0 – Einschätzungen und Handlungsbedarf. Herbert Utz Verlag, München, 2016
- [Akk14] AKKASOGLU, G.: Methodik zur Konzeption und Applikation anwendungsspezifischer Reifegradmodelle unter Berücksichtigung der Informationsunsicherheit. Dissertation, Technische Fakultät, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2014
- [AM13] ARENTZ, O.; MÜNSTERMANN, L.: Mittelunternehmen statt KMU? – Ein Diskussionsbeitrag zum Mittelstandsbegriff. Otto-Wolff-Discussion Paper. Otto-Wolff-Institut Discussion Paper 1/2013, Otto-Wolff-Institut für Wirtschaftsordnung (owiwo), Köln, 2013
- [Ans65] ANSOFF, H. I.: Corporate Strategy – An Analytic Approach to Business Policy for Growth and Expansion. McGraw-Hill, New York, 1965
- [AP16] ALT, R.; PUSCHMANN, T.: Digitalisierung der Finanzindustrie – Grundlagen der Fintech-Evolution. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2016
- [Ass11] DEPARTMENT OF DEFENSE UNITED STATES OF AMERICA: Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance
- [BA17] BLEICHER, K.; ABEGGLEN, C.: Das Konzept Integriertes Management – Visionen - Missionen - Programme. 9. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt, New York, 2017

- [Bal05] BALÁŽOVÁ, M.: Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 174, Paderborn, 2005
- [Bar02] BARNEY, J. B.: Gaining and sustaining competitive advantage. 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002
- [Bar19] BARSCH, T.: Stand der Digitalisierung im B2B-Neukundenvertrieb – Entwicklung von Beurteilungskriterien und Erstellung eines Reifegradmodells. BestMasters, Springer Gabler, Wiesbaden, 2019
- [Bät04] BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 141, Paderborn, 2004
- [BB17] BARTSCH, A.; BREDLOW, C.: Gestaltungsmöglichkeiten der digitalen Infrastruktur in KMU. In: Dreier, A.; Merk, R.; Seel, B. (Hrsg.): Digitalisierung und Industrie 4.0 – Herausforderungen für den Mittelstand. Schriftenreihe der FHM, Heft 8, Bielefeld, 2017, S. 13–21
- [Ben13] BENSIEK, T.: Systematik zur reifegradbasierten Leistungsbewertung und -steigerung von Geschäftsprozessen im Mittelstand. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 312, Paderborn, 2013
- [BEP+13] BHARADWAJ, A.; EL SAWY, O. A.; PAVLOU, P. A.; VENKATRAMAN, N.: Digital Business Strategy: Toward a next generation of insights. MIS quarterly, (37)2, 2013, S. 471–482
- [Ber15-ol] BERTSCHEK, I.: Innovationstreiber Digitalisierung – Ungenutztes Potenzial. Unter: <https://www.insm-oekonomenblog.de/12083-innovationstreiber-digitalisierung-ungenutztes-potenzial/>, 20. Mai 2020
- [BF14] BITKOM; FRAUNHOFER IAO (Hrsg.): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin, Stuttgart, 2014
- [BFG+17] BEGLEITFORSCHUNG AUTONOMIK FÜR INDUSTRIE 4.0, IIT-INSTITUT FÜR INNOVATION UND TECHNIK (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Wertschöpfung – Transformationsansätze für KMU. Berlin, 2017
- [BFK+15] BLOCK, C.; FREITH, S.; KREGGENFELD, N.; MORLOCK, F.; PRINZ, C.; KREIMEIER, D.; KUHLENKÖTTER, B.: Industrie 4.0 als soziotechnisches Spannungsfeld. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (110)10, 2015, S. 657–660
- [BGG17] BORGMAYER, A.; GROHMANN, A.; GROSS, S.F. (Hrsg.): Smart Services und Internet der Dinge – Geschäftsmodelle, Umsetzung und Best Practices. Industrie 4.0, Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine, Big Data, Augmented Reality Technologie. Carl Hanser Verlag, München, 2017
- [Bis15] BISCHOFF, J. (Hrsg.): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand – Kurzfassung der Studie. Mülheim an der Ruhr, 2015
- [BKP09] BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J.: Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, (51)3, 2009, S. 249–260
- [BKP10] BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J.: Vergleich von Reifegradmodellen für die hybride Wertschöpfung und Entwicklungsperspektiven. In: Böhm, T.; Leimeister, J. M. (Hrsg.): Proceedings der Teilkonferenz Integration von Produkt & Dienstleistung – Hybride Wertschöpfung. Multi-Konferenz Wirtschaftsinformatik, 23. - 25.02.2010, Göttingen, Books on Demand, Norderstedt, 2010, S. 2109–2121
- [BLT+17] BENGLER, K.; LOCK, C.; TEUBNER, S.; REINHART, G.: Grundlegende Konzepte und Modelle. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Carl Hanser Verlag, München, 2017, S. 54–60
- [BM17] BÜHLER, P.; MAAS, P.: Transformation von Geschäftsmodellen in einer digitalisierten Welt. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 – Geschäftsmodelle – Wertschöpfung – Transformation. Band 2, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017, S. 43–70

- [BOA+18] BRAUN, A.; OHLHAUSEN, P.; ALT, C.; BÄHLINGER, D.; CHAVES, D. C.; EGELER, M.; GRAMESPACHER, S.; MATZKA, J.; STEINBECK, J.; WEBER, C.: Der Weg zur Industrie 4.0-Roadmap – Spezielles Vorgehen für den Mittelstand. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (113)4, 2018, S. 254–257
- [Boe18] BOESELAGER, F. VON: Der Chief Digital Officer – Die Schlüsselposition für eine erfolgreiche Digitalisierungsstrategie. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018
- [Bot15] BOTTHOF, A.: Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0. In: Botthof, A.; Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg, Berlin, 2015, S. 3–8
- [Bot97] BOTTA, V.: Kennzahlensysteme als Führungsinstrumente – Planung, Steuerung und Kontrolle der Rentabilität im Unternehmen. 5. Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1997
- [Bra18-ol] BRAINCOURT: Unser Vorgehensmodell – in fünf Phasen zum Erfolg – Durch Strategie und Innovation zu operativen Digitalisierungsprojekten. Unter: https://braincourt.com/wp-content/uploads/2018/06/Braincourt-GmbH_Vorgehensmodell.pdf, 7. November 2021
- [Bra80] BRACKER, J.: The Historical Development of the Strategic Management Concept. Academy of Management Review, (5)2, 1980, S. 219–224
- [BRF+05] BRUIN, T. DE; ROSEMAN, M.; FREEZE, R.; KAULKARNI, U.: Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. In: Bunker, D.; Campbell, B.; Underwood, J. (Hrsg.): Proceedings of the 16th Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2005). Australasian Conference on Information Systems, November 30–December 2, 2005, Sydney, Australasian Chapter of the Association for Information Systems, Sydney, 2005, S. 8–19
- [Bri10] BRINK, V.: Verfahren zur Entwicklung konsistenter Produkt- und Technologiestrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 280, Paderborn, 2010
- [BS16] BENGLER, K.; SCHMAUDER, M.: Digitalisierung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, (70)2, 2016, S. 75–76
- [BS17] BILDSTEIN A.; SEIDELMANN J.: Migration zur Industrie- 4.0-Fertigung. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Band 3 – Logistik. 2. Auflage, Springer Reference Technik, Springer Vieweg, Berlin, 2017, S. 227–242
- [BUB17] BECKER, W.; ULRICH, P.; BOTZKOWSKI, T.: Industrie 4.0 im Mittelstand – Best Practices und Implikationen für KMU. Management und Controlling im Mittelstand, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [Bug09] BUGLIONE, L.: Leveraging People-Related Maturity Issues for Achieving Higher Maturity and Capability Levels. In: Abran, A.; Braungarten, R.; Dumke, R. R.; Cuadrado-Gallego, J. J.; Brunekreef, J. (Eds.): Software process and product measurement – Proceedings of the International Conferences IWSM 2009 and Mensura 2009. November 4–6 2009, Amsterdam, Lecture Notes in Computer Science, Volume 5891, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 35–47
- [Bun18] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Monitoring-Report – Wirtschaft DIGITAL 2018. Berlin, 2018
- [Bun21-ol] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ: Handelsgesetzbuch – HGB. Unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/hgb/index.html#BJNR002190897BJNE100401360>, 14. November 2021
- [Bur93] BURCKHARDT, W.: Benchmarking: Wettbewerbsorientierte Analyse, Planung und Umsetzung. In: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV – Controlling bei fließenden Unternehmensstrukturen. 14. Saarbrücker Arbeitstagung, Saarbrücken, Springer, Heidelberg, 1993, S. 219–243
- [Cam89] CAMP, R. C.: Benchmarking – The search for industry best practices that lead to superior performance. Quality Press, Milwaukee, 1989
- [Cam94] CAMP, R. C.: Benchmarking. Carl Hanser, München, 1994

- [CD16] CHÂLONS, C.; DUFFT, N.: Die Rolle der IT als Enabler für Digitalisierung. In: Abolhassan, F. (Hrsg.): Was treibt die Digitalisierung? – Warum an der Cloud kein Weg vorbeiführt. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 27–37
- [Cha62] CHANDLER, A. D.: Strategy and structure – Chapters in the history of the industrial enterprise. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1962
- [Chr09] CHRISTIANSEN, S.-K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 264, Paderborn, 2009
- [CKS05] CHRISSIS, M. B.; KONRAD, M.; SHRUM, S.: CMMI – Guidelines for process integration and product improvement. 8th Edition, Addison-Wesley, Boston, 2005
- [Cla16] CLASEN, M.: Farming 4.0 und andere Anwendungen des Internet der Dinge. In: Ruckelshausen, A.; Meyer-Aurich, A.; Rath, T.; Recke, G.; Theuvsen, B. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft – Fokus: Intelligente Systeme - Stand der Technik und neue Möglichkeiten. 36. GIL-Jahrestagung, 22.-23. Februar 2016, Osnabrück, Lecture notes in informatics, Band 253, Köllen, Bonn, 2016, S. 33–36
- [Cro79] CROSBY, P. B.: Quality is free – The art of making quality certain. McGraw-Hill, New York, 1979
- [DAR+21] DUMITRESCU, R.; ALBERS, A.; RIEDEL, O.; STARK, R.; GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft, Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Paderborn, 2021
- [Del19] DELOITTE (Hrsg.): Industrie 4.0 im Mittelstand – Auf der Agenda der Top-Entscheider angekommen. Düsseldorf, 2019
- [Dem00] DEMING, W. E.: The new economics – For industry, government, education. 2nd Edition, MIT Press, Cambridge, 2000
- [Dem86] DEMING, W. E.: Out of the crisis – Quality, productivity and competitive position. Cambridge University Press, Cambridge, 1986
- [DER+16] DEMARY, V.; ENGELS, B.; RÖHL, K.-H.; RUSCHE, C.: Digitalisierung und Mittelstand – Eine Metastudie. IW-Analysen Nr. 109, Köln, 2016
- [DG73] DUPPERIN, J.-C.; GODET, M.: Méthode de hiérarchisation des éléments d'un système – Essai de prospective du système de l'énergie nucléaire dans son contexte sociétal. Commissariat à l'énergie atomique, Saclay, 1973
- [DGI+18] DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; IWANEK, P.; LÜKE, C.; TRÄCHTLER, A.: Einführung. In: Trächtler, A.; Gausemeier, J. (Hrsg.): Steigerung der Intelligenz mechatronischer Systeme. Intelligente Technische Systeme – Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL, Springer Vieweg, 2018, S. 1–17
- [DGK+17] DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.; KLUGE, A.; PIERENKEMPER, C.: Erfolgsgarant digitale Plattform – Vorreiter Landwirtschaft. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, F.; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys). 11. – 12. Mai 2017, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017, S. 53–66
- [DSA01] DOOLEY, K.; SUBRA, A.; ANDERSON, J.: Maturity and its impact on new product development project performance. Research in Engineering Design, (13)1, 2001, S. 23–29
- [Düc19] DÜCKERT, S.: Leitbild der digitalen Führungskraft. In: Petry, T. (Hrsg.): Digital Leadership – Erfolgreiches Führen in Zeiten der Digital Economy. 2. Auflage, Haufe, Freiburg im Breisgau, 2019, S. 183–192
- [Dud20a-ol] DUDENVERLAG: Leistungsfähigkeit. Unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Leistungsfahigkeit>, 9. Dezember 2020
- [Dud20b-ol] DUDENVERLAG: Leistungssteigerung. Unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Leistungssteigerung>, 9. Dezember 2020

- [Dum11] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortschrittliche mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2011
- [Ebe09] EBERT, C.: Reifegradmodelle: Routenplaner für die Softwareentwicklung. OBJEKTSpektrum, 5, 2009, S. 73–79
- [Ech14] ECHTERHOFF, N.: Systematik zur Planung von Cross-Industry-Innovationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 332, Paderborn, 2014
- [Ech20] ECHTERFELD, J.: Systematik zur Digitalisierung von Produktprogrammen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 393, Paderborn, 2021
- [Eck14] ECKERT, R.: Business Model Prototyping – Geschäftsmodellentwicklung im Hyperwettbewerb. Strategische Überlegenheit als Ziel. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014
- [EGK+16] ECHTERHOFF, B.; GAUSEMEIER, J.; KOLDEWEY, C.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.; SEIF, H.: Geschäftsmodelle für Industrie 4.0 – Digitalisierung als große Chance für zukünftigen Unternehmenserfolg. In: Kraft, P.; Jung, H. H. (Hrsg.): Digital vernetzt. Transformation der Wertschöpfung – Szenarien, Optionen und Erfolgsmodelle für smarte Geschäftsmodelle, Produkte und Services. Carl Hanser Verlag, München, 2016, S. 35–56
- [EPR17] ENGELS, G.; PLASS, C.; RAMMIG, F.-J. (Hrsg.): IT-Plattformen für die Smart Service Welt (acatech DISKUSSION). Herbert Utz Verlag, München, 2017
- [ESS16] EROL, S.; SCHUMACHER, A.; SIHN, W.: Auf dem Weg zur Industrie 4.0 – ein dreistufiges Vorgehensmodell. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Industrial Engineering und Management – Beiträge des Techno-Ökonomie-Forums der TU Austria. Techno-ökonomische Forschung und Praxis, Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 247–265
- [ETE76] EMERY, F.; THORSRUD, E.; ENGELSTAD, P. H.: Democracy at work – The report of the Norwegian industrial democracy program. Nijhoff, Leiden, 1976
- [Eur07] EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): Verordnung (EG) Nr. 656/2007 der Kommission vom 14. Juni 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 586/2001 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1165/98 des Rates über Konjunkturstatistiken: Definition der industriellen Hauptgruppen (MIGS), 2007
- [Eve83] EVERED, R.: So what is strategy? Long Range Planning, (16)3, 1983, S. 57–72
- [Fab19] FABER, O.: Digitalisierung – ein Megatrend – Treiber & Technologische Grundlagen. In: Erner, M. (Hrsg.): Management 4.0 – Unternehmensführung im digitalen Zeitalter. Springer, Berlin, Heidelberg, 2019, S. 3–42
- [FHL+19] FECHTELPETER, C.; HEIM, Y.; LÖFFLER, T.; NIEWÖHNER, N.: Vorstudie zur Entwicklung einer bedarfs- und nutzergerechten Unterstützung von KMU bei der Einführung und Anwendung von Industrie 4.0. München, 2019
- [FKR+18] FRANK, M.; KOLDEWEY, C.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; KÜHN, A.: Smart Services – Konzept einer neuen Marktleistung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (113)5, 2018, S. 306–311
- [FMG02] FRASER, P.; MOULTRIE, J.; GREGORY, M.: The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. In: IEMC (Ed.): Managing technology for the new economy. 2002 IEEE International Engineering Management Conference, August 18–20 2002, Cambridge, UK, Volume 2, IEEE Operations Center, Piscataway, 2002, pp. 244–249
- [FMH01] FRASER, P.; MOULTRIE, J.; HOLDWAY, R.: Exploratory studies of a proposed Design Maturity Model. In: European Institute for Advanced Studies in Management (Hrsg.): Proceedings of EIASM 8th International Product Development Management Conference. EIASM 8th International Product Development Management Conference, 11.–12. Juni 2001, Enschede, 2001

- [Föh02] FÖHRENBACH, A.: Simulationsgestützte Leistungsanalyse in der Elektronikmontage – Entscheidungsunterstützung bei Planung und Betrieb von Anlagen. Gabler Edition Wissenschaft Produktion und Logistik, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002
- [for16] FORTISS GMBH: Digitale Transformation – Wie Informations- und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändern. Der Reifegrad von Automobilindustrie, Maschinenbau und Logistik im internationalen Vergleich. München, 2016
- [FS97] FRIEMUTH, U.; SESTERHENN, J.: Das Maß der Dinge – Richtige Kennzahlen: Schlüssel zu effektivem Produktivitätsmanagement. Maschinenmarkt (MM), (103)18, 1997, S. 60–62
- [FST13] FREHE, V.; STIEL, F.; TEUTEBERG, F.: Web-Portal und Reifegradmodell für ein Benchmarking des betrieblichen Umweltmanagements. In: Horbach, M. (Hrsg.): Informatik 2013 - Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt. Informatik 2013, 16. - 20. September 2013, Koblenz, Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings, Band 220, Köllen, Bonn, 2013
- [Gäl05] GÄLWEILER, A.: Strategische Unternehmensführung. 3. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt/Main, New York, 2005
- [GBK+12] GAUSEMEIER, J.; BENSIEK, T.; KÜHN, A.; GRAFE, M.: Maturity Based Improvement of Product Development Processes in Small and Medium-Sized Enterprises. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the 12th International Design Conference. 12th International Design Conference, May 21-24, 2012, Dubrovnik, 2012, S. 41–50
- [GCD15] GAUSEMEIER, J.; CZAJA, A.; DÜLME, C.: Innovationspotentiale auf dem Weg zu Industrie 4.0. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme – 10. Paderborner Workshop. 10. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, 23.-24. April 2015, Paderborn, Band 343, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2015, S. 11–49
- [GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELE-MANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen – Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Carl Hanser Verlag, München, 2019
- [GEA16] GAUSEMEIER, J.; ECHTERFELD, J.; AMSHOFF, B.: Strategische Produkt- und Prozessplanung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2016, S. 9–35
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [Ger17] GERBERICH, C. W.: Industrie 4.0 – Digitalisierung, Innovationsmanagement und Führung. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, (134)7, 2017, S. 374–376
- [GK11] GRÜNIG, R.; KÜHN, R.: Methodik der strategischen Planung – Ein prozessorientierter Ansatz für Strategieplanungsprojekte. 6. Auflage, Praxishilfen für Unternehmungen, Haupt, Bern, 2011
- [GKD+16] GAUSEMEIER, J.; KLOCKE, F.; DÜLME, C.; ECKELT, D.; KABASCI, P.; KOHLHUBER, M.; SCHÖN, N.; SCHRÖDER, S.; WELLENSIEK, M. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung. Paderborn, Aachen, 2016
- [GLR09] GAUSEMEIER, J.; LEHNER, M.; REYMANN, F.: Zukunftsszenarien in der Retrospektive - was bringt die Szenario-Technik tatsächlich? In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 5. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 19.-20. November 2009, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 265, Paderborn, 2009, S. 3–28
- [GN74] GIBSON, C. F.; NOLAN, R. L.: Managing the four stages of EDP growth. Harvard Business Review, (52)1, 1974, S. 76–88
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2014

- [Grü02] GRÜNING, M.: Performance-Measurement-Systeme – Messung und Steuerung von Unternehmensleistung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002
- [GUD17] GOTTSCHALK, M.; USLAR, M.; DELFS, C.: The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach – The IEC 62559-2 Use Case Template and the SGAM applied in various domains. Springer International Publishing, Cham, 2017
- [Hah06] HAHN, D.: Strategische Kontrolle. In: Hahn, D.; Taylor, B. (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung - Strategische Unternehmensführung – Stand und Entwicklungstendenzen. 9. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 451–464
- [Ham07] HAMMER, M.: Der große Prozess-Check. Harvard Business Manager, 6, 2007, S. 2–16
- [HB17] HESS, T.; BARTHEL, P.: Wieviel digitale Transformation steckt im Informationsmanagement? Zum Zusammenspiel eines etablierten und eines neuen Managementkonzepts. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, (54)3, 2017, S. 313–323
- [HB77] HERSEY, P.; BLANCHARD, K. H.: Management of organizational behavior – Utilizing human resources. 3. Auflage, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977
- [Hes19] HESS, T.: Digitale Transformation strategisch steuern – Vom Zufallstreffer zum systematischen Vorgehen. Springer, Wiesbaden, 2019
- [Him19-ol] HIMSTEDT, S.: In 6 Schritten zur digitalen Transformation in der Produktion. Unter: <https://www.industry-of-things.de/in-6-schritten-zur-digitalen-transformation-in-der-produktion-a-859990/>, 7. November 2021
- [Hin11] HINTERHUBER, H. H.: Strategische Unternehmensführung – I. Strategisches Denken - Vision, Ziele, Strategie. 8. Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2011
- [HKD20] HOBSCHEIDT, D.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Development of risk-optimized implementation paths for Industry 4.0 based on socio-technical pattern. In: Mpofu, K.; Butala, P. (Hrsg.): 30th CIRP Conference on Design – Enhancing Design Through the 4th Industrial Revolution Thinking. 30th CIRP Conference on Design (CIRP Dn 2020), May 5-8, 2020, Pretoria, Procedia CIRP, Band 91, Elsevier Procedia, Amsterdam, 2020, S. 832–837
- [HKO+15] HOBERG, P.; KRCMAR, H.; OSWALD, G.; WELZ, B.: Skills for Digital Transformation – Research Report 2015. München, 2015
- [HLG+17] HEBERLE, A.; LÖWE, W.; GUSTAFSSON, A.; VORREI, Ö.: Digitalization Canvas - Towards Identifying Digitalization Use Cases and Projects. Journal of Universal Computer Science, Vol. 23, No. 11, 2017, S. 1070–1097
- [HLM+17] HÜBNER, M.; LIEBRECHT, C.; MALESSA, N.; KUHNLE, A.; NYHUIS, P.; LANZA, G.: Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0 – Vorstellung eines Vorgehensmodells zur bedarfsgerechten Einführung von Industrie 4.0-Methoden. wt Werkstattstechnik online, (107)4, 2017, S. 266–272
- [Hro96] HRONEC, S. M.: Vital signs – Indikatoren für die Optimierung der Leistungsfähigkeit Ihres Unternehmens. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- [HTS+19] HENNEGRIF, S.; TERSTEGEN, S.; STOWASSER, S.; DANDER, H.; ADLER, P.: Vorgehensmodell für die Industrie 4.0 – Strukturierte Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie. Industrie 4.0 Management, 3, 2019, S. 47–50
- [IN18] ITTERMANN, P.; NIEHAUS, J.: Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit – revisited. – Forschungsstand und Trendbestimmungen. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Auflage, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 2018
- [Ind19] INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMER SCHWARZWALD-BAAR-HEUBERG (Hrsg.): Digitalisierung in der Industrie - Chancen nutzen – Ein Ratgeber der IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg für kleine und mittlere Unternehmen. Villingen-Schwenningen, 2019

- [Ins08] INSTITUT FÜR ARBEITSFORSCHUNG UND ORGANISATIONSBERATUNG (Hrsg.): Unternehmensgestaltung im Spannungsfeld von Stabilität und Wandel – Institut für Arbeitsforschung und Organisationsberatung (iafob) vor 10 Jahren gegründet. Vdf Hochschulverlag, Zürich, 2008
- [Ins16] INSTITUT FÜR ARBEITSFORSCHUNG UND ORGANISATIONSBERATUNG (Hrsg.): Unternehmensgestaltung im Spannungsfeld von Stabilität und Wandel – Neue Erfahrungen und Erkenntnisse. Vdf Hochschulverlag, Zürich, 2016
- [Ins16-ol] INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG BONN: KMU-Definition des IfM Bonn. Unter: <https://www.ifm-bonn.org/definitionen/-kmu-definition-des-ifm-bonn>, 14. November 2021
- [Ins18-ol] INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG BONN: Mittelstand im Überblick – Volkswirtschaftliche Bedeutung der KMU. Unter: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=0>, 18. August 2020
- [Ins19-ol] INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ARBEITSWISSENSCHAFT: Vorgehensmodell zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie. Unter: www.arbeitswissenschaft.net/vorgehensmodelle-digitalisierung, 27. Mai 2022
- [ISO 9004] Qualitätsmanagement – Qualität einer Organisation, 2018
- [its05] IT'S OWL CLUSTERMANAGEMENT GMBH (Hrsg.): Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Erfolgsfaktor Referenzarchitektur. Paderborn, 2005
- [its18] IT'S OWL CLUSTERMANAGEMENT GMBH (Hrsg.): Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Digitale Transformation im Mittelstand. Paderborn, 2018
- [Joc10] JOCHEM, R.: Was kostet Qualität? – Wirtschaftlichkeit von Qualität ermitteln. Hanser, München, 2010
- [Joc19] JOCHEM, R.: Was kostet Qualität? – Wirtschaftlichkeit von Qualität ermitteln. 2. Auflage, Hanser, München, 2019
- [JS16] JODLBAUER, H.; SCHAGERL, M.: Reifegradmodell Industrie 4.0 - Ein Vorgehensmodell zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen. In: Mayr, H. C.; Pinzger, M. (Hrsg.): Informatik 2016 – Tagung vom 26.-30. September 2016 in Klagenfurt. 46. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 26.-30. September 2016, Klagenfurt, GI-Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2016
- [JSH+06] JOKELA, T.; SIPONEN, M.; HIRASAWA, N.; EARTHY, J.: A survey of usability capability maturity models: implications for practice and research. Behaviour & Information Technology, (25)3, 2006, S. 263–282
- [Kaa12] KAACK, J.: Performance Measurement für die Unternehmenssicherheit – Entwurf eines Kennzahlen- und Indikatorensystems und die prozessorientierte Implementierung. Springer Gabler, Wiesbaden, 2012
- [KAG+16] KAGERMANN, H.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; SCHUH, G.; WAHLSTER; WOLFGANG (Hrsg.): Industrie 4.0 im globalen Kontext – Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern (acatech STUDIE). Herbert Utz Verlag, München, 2016
- [Kag14] KAGERMANN, H.: Industrie 4.0 und die Smart Service Welt – Dienstleistungen für die digitalisierte Gesellschaft. In: Boes, A.; Kämpf, T.; Marrs, K. (Hrsg.): Dienstleistung in der digitalen Gesellschaft – Beiträge zur Dienstleistungstagung des BMBF im Wissenschaftsjahr 2014. Campus, Frankfurt am Main, 2014
- [Kam11] KAMPRATH, N.: Einsatz von Reifegradmodellen im Prozessmanagement. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, (48)6, 2011, S. 93–102
- [Kau15] KAUFMANN, T.: Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge – Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015
- [KDM+18] KNOSPE, O.; DREWEL, M.; MITTAG, T.; PIERENKEMPER, C.; HOBSCHEIDT, D.: Leistungssteigerung durch Industrie 4.0 für kleine und mittlere Unternehmen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (113)1-2, 2018, S. 83–87

- [KG16] KÖNIG, A.; GRAF-VLACHY, L.: Industrie 4.0: Strategische Innovation durch Strategische Sensitivität. In: Obermaier, R. (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 53–67
- [KH99] KLOPP, M.; HARTMANN, M. (Hrsg.): Das Fledermaus-Prinzip – Strategische Früherkennung für Unternehmen. Logis, Stuttgart, 1999
- [KHD14] KELKAR, O.; HEGER, R.; DAO, D.-K.: Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie. Ludwigsburg, Reutlingen, 2014
- [Kli00] KLINGEBIEL, N.: Integriertes Performance Measurement. Neue betriebswirtschaftliche Forschung Band 263, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2000
- [KLN+19] KUHLENKÖTTER, B.; LINS, D.; NIEWERTH, C.; PRINZ, C.; SCHÄFER, M.; WANNÖFFEL, M.: Mitbestimmung und Partizipation im Transformationsprozess zur Industrie 4.0. Arbeit, (28)4, 2019, S. 401–422
- [KLW11] KAGERMANN, H.; LUKAS, W.-D.; WAHLSTER, W.: Industrie 4.0 – Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI Nachrichten, (2011)13, S. 2
- [KMT09] KOHLREGGER, M.; MAIER, R.; THALMANN, S.: Understanding maturity models results of a structured content analysis. In: Tochtermann, K.; Paschke, A. (Hrsg.): Proceedings of I-KNOW '09: 9th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies; proceedings of I-SEMANTICS '09, 5th International Conference on Semantic Systems. International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies (I-KNOW '09), International Conference on Semantic Systems (I-SEMANTICS '09), 2.-4. September 2009, Graz, Journal of Universal Computer Science, Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2009
- [KN96] KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.: The balanced scorecard – Translating strategy into action. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1996
- [Kne03] KNEUPER, R.: CMMI – Verbesserung von Softwareprozessen mit Capability Maturity Model Integration. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2003
- [KNI21-ol] KNIME AG: KNIME Documentation. Unter: <https://docs.knime.com/>, 13. Februar 2022
- [KNS15] KASCHNY, M.; NOLDEN, M.; SCHREUDER, S.: Innovationsmanagement im Mittelstand – Strategien, Implementierung, Praxisbeispiele. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015
- [Kof18] KOFLER, T.: Das digitale Unternehmen – Systematische Vorgehensweise zur zielgerichteten Digitalisierung. Springer Vieweg, Berlin, 2018
- [Kol21] KOLDEWEY, C.: Systematik zur Entwicklung von Smart Service-Strategien im produzierenden Gewerbe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2021
- [Kom03-ol] KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN: Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. Unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361&from=EN>, 27. Mai 2022
- [Koo14] KOOB, C.: Strategisches Management: Die Unternehmensentwicklung marktorientiert gestalten. In: Niermann, P. F.-J.; Schmutte, A. M. (Hrsg.): Exzellente Managemententscheidungen – Methoden, Handlungsempfehlungen, Best Practices. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014, S. 103–148
- [KOR+11] KNOBLINGER, C.; OEHMEN, J.; REBENTISCH, E.; SEERING, W.; HELTEN, K.: Requirements for Product Development Self-Assessment Tools. In: Culley, S. J. (Ed.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11). 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), August 15-18 2011, Copenhagen, Design Society, Volume 68, Glasgow, 2011

- [KRH+14] KAGERMANN, H.; RIEMENSCHER, F.; HOKE, D.; HELBIG, J.; STOCKSMEIER, D.; WAHLSTER, W.; SCHEER, A.-W.; SCHWEER, D.; ACATECH - DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIK-WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Berlin, 2014
- [Kri18] KRIEDEL, T. (Betreuer: PIERENKEMPER, C.; DREWEL, M.): Methode zur Entwicklung leistungsstufenbasierter Industrie 4.0-Strategien, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, unveröffentlichte Masterarbeit, 2018
- [KRU19] KÖNIG, U. M.; RÖGLINGER, M.; URBACH, N.: Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen – Welche Potenziale lassen sich mit smarten Geräten in der Produktion heben? HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, (56)6, 2019, S. 1233–1249
- [KT17] KESE, D.; TERSTEGEN, S.: Benchmark Reifegradmodelle – Wie reif ist ein Unternehmen für die Industrie 4.0? IEE Industrie Engineering Effizienz, 10, 2017, S. 30–34
- [KWH13] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin, 2013
- [LBK+18] LIEBRECHT, C.; BÖHN, N.; KIEFER, L.; TEUFEL, M.; LANZA, G.: Einführung von Industrie 4.0 – Ermittlung unternehmensspezifischer Einführungsreihenfolgen für Industrie 4.0-Methoden. Industrie 4.0 Management, 34 (2018) 6, 2018, S. 21–24
- [LBO18] LEYH, C.; BLEY, K.; OTT, M.: Chancen und Risiken der Digitalisierung – Befragungen ausgewählter KMU. In: Hofmann, J. (Hrsg.): Arbeit 4.0 - Digitalisierung, IT und Arbeit – IT als Treiber der digitalen Transformation. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018, S. 29–52
- [LBP+10] VAN LOOY, A.; BACKER, M. DE; POELS, G.; LEUVEN, K. U.: Which Maturity Is Being Measured? A Classification of Business Process Maturity Models. In: van Dongen, B. F.; Reijers, H. A. (Hrsg.): Proceedings of the 5th SIKS/BENAIIS Conference on Enterprise Information Systems (EIS-2010). SIKS/BENAIIS Conference on Enterprise Information Systems (EIS-2010), 16. November 2010, Eindhoven, Band 662, CEUR-WS.org, Aachen, 2010, S. 7–16
- [LC91] LYNCH, R. L.; CROSS, K. F.: Measure up! – Yardsticks for continuous improvement. Blackwell, Cambridge, Massachusetts, 1991
- [LC95] LYNCH, R. L.; CROSS, K. F.: Measure up! – Yardsticks for continuous improvement. 2nd Edition, Blackwell Business, Cambridge, Massachusetts, 1995
- [Lei15] LEIMEISTER, J. M.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 12. Auflage, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2015
- [LG14] LERCH, C.; GOTSCH, M.: Die Rolle der Digitalisierung bei der Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister. Die Unternehmung, 68(4), 2014, S. 250–267
- [Lie96] LIEBL, F.: Strategische Frühaufklärung – Trends, Issues, Stakeholders. Oldenbourg, München, 1996
- [Lin18] LINK, M.: Economy on Demand am Beispiel Crowdfunding. In: Bär, C.; Grädler, T.; Mayr, R. (Hrsg.): Digitalisierung im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Recht. 2. Band: Wissenschaft und Recht, Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 128–137
- [Lip21] LIPSMEIER, A.: Systematik zur Entwicklung von Digitalisierungsstrategien für Industrieunternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, 2021
- [LJ15] LÖWER, T.; JESCHKE, K.: Zukunftsvision: Sind Sie reif für Industrie 4.0? – Finanzquellen ausschöpfen und zukünftige Geschäftsmöglichkeiten schaffen. Köln, 2015
- [LKD+19] LIPSMEIER, A.; KÜHN, A. T.; DUMITRESCU, R.; FLACH, O.: Erfolgsfaktor Digitalisierungsstrategie – Strategisches Management der digitalen Transformation. In: Gausemeier, J.; Bauer, W.; Dumitrescu, R. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 15. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 21. – 22. November 2019, Berlin, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 390, Paderborn, 2019, S. 313–340
- [Luk13] LUKAS, W.-D.: Industrie 4.0. wt Werkstattstechnik online, (103)2, 2013, S. 83

- [Man10] MANNWEILER, C.: Einleitung. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme – Gestaltung und Realisierung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 1–6
- [Mar11] MARX, F.: Entwicklung eines Reifegradmodells zur IT-Unterstützung der Unternehmensführung. Dissertation, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen, 2011
- [MB16] MERTENS, P.; BARBIAN, D.: Digitalisierung und Industrie 4.0 – Trend mit modischer Überhöhung? Informatik-Spektrum, (39)4, 2016, S. 301–309
- [MBB17] MERTENS, P.; BARBIAN, D.; BAIER, S.: Digitalisierung und Industrie 4.0 – Eine Relativierung. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017
- [Mei96] MEIER-SCHERLING, P.: Shareholder Value Analyse vs. Stakeholder Management – Unternehmenspolitische Grundkonzeptionen als Ansätze zur Erweiterung der Theorie der Unternehmung. Dissertation, Universität Freiburg, Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Fakultät, Freiburg in der Schweiz, 1996
- [Mer16] MERZ, S. L.: Industrie 4.0 – Vorgehensmodell für die Einführung. In: Roth, A. (Hrsg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 – Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 83–132
- [MF12] MAAß, F.; FÜHRMANN, B.: Innovationstätigkeit im Mittelstand – Messung und Bewertung. Bonn, 2012
- [MGG+17] MEIBNER, A.; GLASS, R.; GEBAUER, C.; STÜRMER, S.; METTERNICH, J.: Hindernisse der Industrie 4.0 – Umdenken notwendig? ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (112)9, 2017, S. 607–611
- [MHB15] MATT, C.; HESS, T.; BENLIAN, A.: Digital Transformation Strategies. Business & Information Systems Engineering, (57)5, 2015, S. 339–343
- [Min87] MINTZBERG, H.: The Strategy Concept I: Five Ps for Strategy. California Management Review, (30)1, 1987, S. 11–24
- [Min90] MINTZBERG, H.: The design school: Reconsidering the basic premises of strategic management. Strategic Management Journal, (11)3, 1990, S. 171–195
- [MSM+12] MENZ, M.; SCHMID, T.; MÜLLER-STEWENS, G.; LECHNER, C.: Strategische Initiativen und Programme – Unternehmen gezielt transformieren. Gabler Verlag/Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012
- [MU12] MEIER, H.; UHLMANN, E.: Hybride Leistungsbündel – Ein neues Produktverständnis. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 1–22
- [MUR+18] MATT, D. T.; UNTERHOFER, M.; RAUCH, E.; RIEDL, M.; BROZZI, R.: Industrie 4.0 Assessment – Bewertungsmodell zur Identifikation und Priorisierung von Industrie 4.0. In: Matt, D. (Hrsg.): KMU 4.0 - digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation, Gito, Berlin, 2018, S. 93–112
- [Mut10-ol] MUTH, W.: QM-Tools für KMU in der Praxisanwendung. Unter: https://www.dgq.de/dateien/MUTH-DGQ-Tools_17.03.2010.pdf, 27. Mai 2022
- [MW12] MACHARZINA, K.; WOLF, J.: Unternehmensführung – Das internationale Managementwissen Konzepte - Methoden - Praxis. 8. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2012
- [MWL+16] MORLOCK, F.; WIENBRUCH, T.; LEINWEBER, S.; KREIMEIER, D.; KUHNENKÖTTER, B.: Industrie 4.0-Transformation für produzierende Unternehmen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (111)5, 2016, S. 306–309
- [NGP95] NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K.: Performance measurement system design. International Journal of Operations & Production Management, (15)4, 1995, S. 80–116
- [NM67] NEUMANN, J. VON; MORGENSTERN, O.: Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten. 2. Auflage, Physica-Verlag, Würzburg, 1967

- [NMK79] NORA, S.; MINC, A.; KALBHEN, U.: Die Informatisierung der Gesellschaft. Campus Verlag, Frankfurt, New York, 1979
- [NW14] NAGEL, R.; WIMMER, R.: Systemische Strategieentwicklung – Modelle und Instrumente für Berater und Entscheider. 6. Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2014
- [Obe16] OBERMAIER, R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe. In: Obermaier, R. (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 3–35
- [OM18] OLEFF, A.; MALESSA, N.: Strategischer Ansatz zur Industrie 4.0-Transformation. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2018, 2018, S. 173–176
- [OÖ16] OTTO, B.; ÖSTERLE, H.: Corporate Data Quality – Voraussetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle. Springer Gabler, Berlin, 2016
- [Pal17] PALUCH, S.: Smart Services – Analyse von strategischen und operativen Auswirkungen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 – Geschäftsmodelle – Wertschöpfung – Transformation. Band 2, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017, S. 161–184
- [PD17] PÖPPELBUß, J.; DURST, C.: Smart Service Canvas – Ein Werkzeug zur strukturierten Beschreibung und Entwicklung von Smart-Service-Geschäftsmodellen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 – Geschäftsmodelle – Wertschöpfung – Transformation. Band 2, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017, S. 91–112
- [PDG18] PIERENKEMPER, C.; DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.: Zukunftsorientierte Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0. In: Smajic, H. (Hrsg.): Tagungsband AALE 2018 – Das Forum für Fachleute der Automatisierungstechnik aus Hochschulen und Wirtschaft. 15. AALE-Konferenz (Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung), 1.-2. März 2018, Köln, VDE Verlag, Berlin, 2018, S. 19–27
- [Pei15] PEITZ, C.: Systematik zur Entwicklung einer produktlebenszyklusorientierten Geschäftsmodell-Roadmap. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 337, Paderborn, 2015
- [Pet16] PETRY, T. (Hrsg.): Digital Leadership – Erfolgreiches Führen in Zeiten der Digital Economy. Haufe-Lexware, Freiburg, 2016
- [Pet17] PETER, M. K.: KMU-Transformation: Als KMU die Digitale Transformation erfolgreich umsetzen – Forschungsergebnisse und Praxisleitfaden. Olten, 2017
- [Pfe05] PFEIFER-SILBERBACH, U.: Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrades in der Entwicklung eines Produktes. Dissertation, Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, 2005
- [PG20] PIERENKEMPER, C.; GAUSEMEIER, J.: Developing Strategies for Digital Transformation in SMEs with Maturity Models. In: Bitran, I.; Conn, S.; Gernreich, C.; Heber, M.; Huizingh, K.; Kokshagina, O.; Torkkeli, M. (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Connects Bangkok – Partnering for an Innovative Community. ISPIM Connects, March 1 – 4 2020, Bangkok, 2020
- [PG88] PÜMPIN, C.; GEILINGER, U. W.: Strategische Führung – Aufbau strategischer Erfolgspositionen in der Unternehmenspraxis. 2. Auflage, Die Orientierung, Band Nr. 76, Schweizerische Volksbank, Bern, 1988
- [PH14] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: Wie Smarte Produkte den Wettbewerb verändern. Harvard Business Manager, 12/2014, S. 34–60
- [PKS02] POL, M.; KOOMEN, T.; SPILLNER, A.: Management und Optimierung des Testprozesses – Ein praktischer Leitfaden für erfolgreiches Testen von Software mit TPI und TMap. 2. Auflage, dpunkt-Verl.ag, Heidelberg, 2002
- [PMT04] PRECHT, M.; MEIER, N.; TREMEL, D.: EDV-Grundwissen – Eine Einführung in Theorie und Praxis der modernen EDV. 7. Auflage, Addison-Wesley, München, 2004

- [Por00] PORTER, M. E.: Wettbewerbsvorteile – Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 6. Auflage, Campus Strategie, Campus-Verlag, Frankfurt am Main, 2000
- [Pou20-ol] POUSTTCHI, K.: Digitale Transformation. Unter: <https://wi-lex.de/index.php/lexikon/technologische-und-methodische-grundlagen/informatik-grundlagen/digitalisierung/digitale-transformation/>, 21. August 2022
- [PRD+19] PIERENKEMPER, C.; REINHOLD, J.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Erfolg versprechende Industrie 4.0-Zielposition. *Industrie 4.0 Management*, (35)5, 2019, S. 30–34
- [Pro08] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (Ed.): Organizational project management maturity model (OPM3®) – Knowledge foundation. 2nd Edition, Project Management Institute, Newtown Square, 2008
- [PSM17] PESSL, E.; SORKO, S. R.; MAYER, B.: Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, Vol. 5, No. 6, 2017, S. 193–202
- [Püm83] PÜMPIN, C.: Management strategischer Erfolgspositionen – Das SEP-Konzept als Grundlage wirkungsvoller Unternehmensführung. 2. Auflage, Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmensführung Band 10, Haupt, Bern, 1983
- [Raa03] VAN RAAN, A.: The use of bibliometric analysis in research performance assessment and monitoring of interdisciplinary scientific developments. *Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, (12)1, 2003, S. 20–29
- [Rap22-ol] RAPIDMINER GMBH: RapidMiner Documentation. Unter: <https://docs.rapidminer.com/>, 13. Februar 2022
- [Rau10] RAUCHENBERGER, J.: Reifegradmodelle als Ordnungsrahmen zur systematischen Prozessverbesserung für mechatronische Entwicklungsprozesse. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Hochschule Aachen, 2010
- [RB90] RUMMLER, G. A.; BRACHE, A. P.: Improving performance – How to manage the white space on the organization chart. Jossey-Bass, San Francisco, 1990
- [Rei17] REINHART, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Carl Hanser Verlag, München, 2017
- [RGP+16] RAMMER, C.; GOTTSCHALK, S.; PETERS, B.; BERSCH, J.; ERDSIEK, D.: Die Rolle von KMU für Forschung und Innovation in Deutschland – Studie im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 10/2016, Mannheim, 2016
- [RS15-ol] RAMMER, C.; SPIELKAMP, A.: Hidden Champions - Driven by Innovation – Empirische Befunde auf Basis des Mannheimer Innovationspanels. Unter: <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/docus/dokumentation1503.pdf>, 19. Juni 2022
- [SAD+20] SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; HOMPEL, M. ten (Hrsg.): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten - UPDATE 2020. acatech STUDIE, München, 2020
- [SBB+16] SEITER, M.; BAYRLE, C.; BERLIN, S.; DAVID, U.; RUSCH, M.; TREUSCH, O.: Roadmap Industrie 4.0 – Ihr Weg zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. tredition, Hamburg, 2016
- [SBK+18] SCHUH, G.; BOOS, W.; KELZENBERG, C.; LANGE, J. DE; STRACKE, F.; HELBIG, J.; BOSHOFF, J.; EBBECKE, C.: Industrie 4.0: Implement it! – Ein Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen. Aachen, 2018
- [Sch04] SCHRÖTER, J.: Analog/Digital – Opposition oder Kontinuum? In: Schröter, J.; Böhnke, A. (Hrsg.): Analog/Digital - Opposition oder Kontinuum? – Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung. Medienumbrüche, Band 2, transcript Verlag, Bielefeld, 2004, S. 7–30
- [Sch10] SCHWEITZER, E.: Lebenszyklusmanagement investiver Produkt-Service Systeme. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme – Gestaltung und Realisierung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 7–13

- [Sch15] SCHNECK, O.: Lexikon der Betriebswirtschaft – 3.000 grundlegende und aktuelle Begriffe für Studium und Beruf. 9. Auflage, C.H. Beck, München, 2015
- [Sch16] SCHALLMO, D. R.: Jetzt digital transformieren – So gelingt die erfolgreiche Digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016
- [Sch16-ol] SCHRÖDER, C.: Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Unter: <https://www.fes.de/artikel-in-gute-gesellschaft-17/neue-studie-herausforderungen-von-industrie-4-0-fuer-den-mittelstand>, 19. Juni 2022
- [Sch18] SCHNEIDER, M.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung und Analyse von Wertschöpfungssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 386, Paderborn, 2018
- [SD06] SPATH, D.; DEMÜB, L.: Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, S. 463–502
- [SGK06] SCHEER, A.-W.; GRIEBLE, O.; KLEIN, R.: Modellbasiertes Dienstleistungsmanagement. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, S. 19–51
- [Sim09] SIMON, H.: Hidden Champions of the Twenty-First Century – The Success Strategies of Unknown World Market Leaders. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2009
- [SK16] SIVRI, S. D.; KRALLMANN, H.: Soziotechnische Betrachtung der Digitalisierung. *technologie & management* 03/2016, S. 12–15
- [SK20] SCHREYÖGG, G.; KOCH, J.: Management – Grundlagen der Unternehmensführung. Konzepte - Funktionen - Fallstudien. 8. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2020
- [SKC+17] SCHEBEK, L.; KANNENGIEßER, J.; CAMPITELLI, A.; FISCHER, J.; ABELE, E.; BAUERDICK, C.; ANDERL, R.; HAAG, S.; SAUER, A.; MANDEL, J.; LUCKE, D.; BOGDANOV, I.; NUFFER, A.-K.; STEINHILPER, R.; BÖHNER, J.; LOTHES, G.; SCHOCK, C.; ZÜHLKE, D.; PLOCIENNIK, C.; BERGWEILER, S.: Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin, 2017
- [SMG+05] STEIN, B.; MEYER ZU EISSEN, S.; GRAEFE, G.; WISSBROCK, F.: Automating Market Forecast Summarization from Internet Data. In: Nunes, M. B.; Isaías, P. (Eds.): Proceedings of the 4th IADIS International Conference WWW/Internet. International Conference on the WWW/Internet, October 19 - 22, 2005, Lissabon, 2005, pp. 395–402
- [SNS18] SCHUMACHER, A.; NEMETH, T.; SIHN, W.: Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. In: Teti, R.; D'Adonna, D. M. (Hrsg.): Procedia CIRP – 12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 18-20 July 2018, Gulf of Naples, Vol. 79, Elsevier, 2018, S. 409–414
- [Sof09a] SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE: CMMI® for Services, Version 1.2 – Improving processes for better services. Technical Report. Software Engineering Process Management, Pittsburgh, 2009
- [Sof09b] SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE: People Capability Maturity Model (P-CMM) Version 2.0. Technical Report. Software Engineering Process Management, Pittsburgh, 2009
- [Sof10] SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE: CMMI® for Development, Version 1.3 – Improving processes for developing better products and services. Technical Report. Software Engineering Process Management Program, Pittsburgh, 2010
- [Spa13] SPATH, D. (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2013

- [Spr09] SPROTTE, A.: Performance Measurement auf der Basis von Kennzahlen aus betrieblichen Anwendungssystemen: Entwurf eines kennzahlengestützten Informationssystems für einen Logistikdienstleister. Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, Koblenz, 2009
- [SSJ+17] SCHUH, G.; SALMEN, M.; JUSSEN, P.; RIESENER, M.; ZELLER, V.; HENSEN, T.; BEGOVIC, A.; BIRKMEIER, M.; HOCKEN, C.; JORDAN, F.; KANTELBERG, J.; KELZENBERG, C.; KOLZ, DOMINIK, MAASEM, CHRISTIAN; SIEGERS, J.; STARK, M.; TÖNNES, C.: Geschäftsmodell-Innovation. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Carl Hanser Verlag, München, 2017, S. 3–29
- [ST05] SCHRÖDER, C.; TEUTEBERG, F.: Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement – Grundlagen, Vergleich und Einsatz. ISPRI-Arbeitsbericht Nr. 01/2005. Osnabrück, 2005
- [ST97] SABISCH, H.; TINTELNOT, C.: Integriertes Benchmarking – Für Produkte und Produktentwicklungsprozesse. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997
- [Sta21-ol] STATISTA GMBH: Mittelstand in Deutschland. Unter: <https://de.statista.com/themen/3996/mittelstand-in-deutschland/#dossierKeyfigures>, 14. November 2021
- [Str15] STREIBICH, K.-H.: Softwareindustrie im Umbruch: Das digitale Unternehmen der Zukunft. In: Linnhoff-Popien, C.; Zaddach, M.; Grahl, A. (Hrsg.): Marktplätze im Umbruch – Digitale Strategien für Services im mobilen Internet. Springer Vieweg, Berlin, 2015, S. 15–18
- [Str98] STRUBE, G.: Modelling Motivation and Action Control in Cognitive Systems. In: Schmid, U.; Krems, J. F.; Wysotzki, F. (Eds.): Mind modelling – A cognitive science approach to reasoning, learning and discovery. Pabst, Lengerich, 1998, pp. 111–130
- [Stu00] STURM, A.: Performance Measurement und Environmental Performance Measurement – Entwicklung eines Controllingmodells zur unternehmensinternen Messung der betrieblichen Umweltleistung. Dissertation, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Dresden, Dresden, 2000
- [SU97] STROHM, O.; ULICH, E. (Hrsg.): Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten – Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. Mensch, Technik, Organisation Band 10, vdf Hochschulverlag der ETH Zürich, Zürich, 1997
- [Sza94] SZAKONYI, R.: Measuring R&D Effectiveness - I. Research-Technology Management, (37)2, 1994, S. 27–32
- [Tec15] TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT: Generisches Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen der Serienfertigung – Abschlussbericht des Fachgebietes Datenverarbeitung in der Konstruktion des Projektes CypIFlex, 2015
- [THD+19] TERSTEGEN, S.; HENNEGRUFF, S.; DANDER, H.; ADLER, P.: Vergleichsstudie über Vorgehensmodelle zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten. 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 27. Februar – 1. März 2019, Dresden, GfA-Press, Dortmund, 2019, S. 1–6
- [Tob10] TOBIAS METTLER: Vorschlag zur Wiederauffindung und Wiederverwendung von Reifegradmodellen. Working Paper, Bericht BE IWI/HNE/03. St. Gallen, 2010
- [TP17] TSCHANDL, M.; PEBL, ERNST, BAUMANN, SIEGFRIED: Roadmap Industrie 4.0 – Strukturierte Umsetzung von Smart Production and Services in Unternehmen. WINGbusiness, 1/2017, 2017, S. 20–23
- [Uli11] ULICH, E.: Arbeitspsychologie. 7. Auflage, vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich; Schöffer-Poeschel Verlag, Zürich, Stuttgart, 2011
- [Uli13] ULICH, E.: Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Psychology of Everyday Activity, (6)1, 2013, S. 4–12
- [VDI2206] Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, 2004

- [VDM15] VDMA (Hrsg.): Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2015
- [Ves12] VESTER, F.: Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. 9. Auflage, Deutscher Taschenbuch-Verlag, München, 2012
- [WA92] WELGE, M.K.; AL-LAHAM, A. (Hrsg.): Planung – Prozesse, Strategien, Maßnahmen. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992
- [WAE17] WELGE, M. K.; AL-LAHAM, A.; EULERICH, M.: Strategisches Management – Grundlagen, Prozess, Implementierung. 7. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [Wah11] WAHRIG-BURFEIND, R. (Hrsg.): Brockhaus – Wahrig, Deutsches Wörterbuch. 9. Auflage, Wissenmedia, Gütersloh, München, 2011
- [WBM14] WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A.: Leading digital – Turning technology into business transformation. Harvard Business Review Press, Boston, Mass., 2014
- [Web17] WEBER, H.: Digitalisierung technisch. In: Weber, H.; Viehmann, J. (Hrsg.): Unternehmens-IT für die Digitalisierung 4.0 – Herausforderungen, Lösungsansätze und Leitfäden. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 15–30
- [Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 375, Paderborn, 2017
- [Wir12] WIRTZ, B. W.: Mergers & acquisitions management – Strategie und Organisation von Unternehmenszusammenschlüssen. 2. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2012
- [Wis99] WISSENSCHAFTLICHER RAT DER DUDENREDAKTION (Hrsg.): Duden – Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in zehn Bänden. 3. Auflage, Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 1999
- [WKK+93] WITTMANN, WALDEMAR, KERN, WERNER; KÖHLER, R.; KÜPPER; WYSOCKI, K. von (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft – Teilband 2 I-Q. 5. Auflage, Poeschel, Stuttgart, 1993
- [WS18] WOLF, T.; STROHSCHEN, J.-H.: Digitalisierung: Definition und Reife. Informatik Spektrum, (41)1, 2018, S. 56–64
- [WWB15] WISCHMANN, S.; WANGLER, L.; BOTTHOF, A.: Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, 2015
- [Zim17] ZIMMERMANN, K.: Digitalisierung der Produktion durch Industrie 4.0 und ihr Einfluss auf das Arbeiten von morgen. In: Spieß, B.; Fabisch, N. (Hrsg.): CSR und neue Arbeitswelten – Perspektivwechsel in Zeiten von Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Industrie 4.0. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 53–72
- [Zim20] ZIMMERMANN, V.: KfW-Innovationsbericht Mittelstand 2019. KfW Research, Frankfurt am Main, 2020

Anhang

A1	Industrielle Wirtschaftszweige	A-1
A2	Reifegradmodelle und deren Anwendungsdomänen	A-3
A3	Unterscheidungskriterien von Strategien	A-5
A4	Identifizierte Industrie 4.0-Reifegradmodelle	A-7
A5	INLUMIA-Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“	A-9
A6	Merkmale u. Ausprägungen zur Unternehmensklassifizierung ...	A-17
A7	Zukunftsszenarien	A-19
A8	Software-Werkzeug	A-23

A1 Industrielle Wirtschaftszweige

Die Definition der unter dem Begriff *Industrie* zusammengefassten Wirtschaftszweige erfolgt in Anlehnung an die Definition der industriellen Hauptgruppen (*MIGS, Main Industrial Groupings*) der EU-Kommission [Eur07]. Sie beruht auf der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft und aggregiert die Wirtschaftszweige in fünf Klassen: Vorleistungsgüter (VG), Energie (E), Investitionsgüter (IG), Gebrauchsgüter (GG) und Verbrauchsgüter (VG). Die Systematik richtet sich in erster Linie an Unternehmen aus den in Tabelle A-1 genannten Wirtschaftszweigen, wenngleich die Zugehörigkeit kein Zwangskriterium darstellt.

Tabelle A-1: Zuordnung der Wirtschaftszweige zu den aggregierten Klassen

Code	NACE-Bezeichnung	Klasse
7	Erzbergbau	VG
8	Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau	VG
9	Erbringung von Dienstleistungen für den Bergbau und für die Gewinnung von Steinen und Erden	VG
10.6	Mahl- und Schälsmühlen, Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	VG
10.9	Herstellung von Futtermitteln	VG
13.1	Spinnstoffaufbereitung und Spinnerei	VG
13.2	Weberei	VG
13.3	Veredlung von Textilien und Bekleidung	VG
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	VG
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	VG
20.1	Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen	VG
20.2	Herstellung von Schädlingsbekämpfungs-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln	VG
20.3	Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitt	VG
20.5	Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen	VG
20.6	Herstellung von Chemiefasern	VG
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	VG
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	VG
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	VG
25.5	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen	VG
25.6	Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.*	VG
25.7	Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen	VG
25.9	Herstellung von sonstigen Metallwaren	VG
26.1	Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten	VG
26.8	Herstellung von magnetischen und optischen Datenträgern	VG
27.1	Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätsverteilungs- und schaltanlagen	VG
27.2	Herstellung von Batterien und Akkumulatoren	VG
27.3	Herstellung von Kabeln und elektrischem Installationsmaterial	VG
27.4	Herstellung von elektrischen Lampen und Leuchten	VG
27.9	Herstellung von sonstigen elektrischen Ausrüstungen und Geräten a. n. g.	VG

Code	NACE-Bezeichnung	Klasse
5	Kohlenbergbau	VG
6	Gewinnung von Erdöl und Erdgas	E
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	E
35	Energieversorgung	E
36	Wasserversorgung	E
25.1	Stahl- und Leichtmetallbau	IG
25.2	Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen	IG
25.3	Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)	IG
25.4	Herstellung von Waffen und Munition	IG
26.2	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten	IG
26.3	Herstellung von Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik	IG
26.5	Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren	IG
26.6	Herstellung von Bestrahlungs- und Elektrotherapiegeräten und elektromedizinischen Geräten	IG
28	Maschinenbau	IG
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	IG
30.1	Schiffs- und Bootsbau	IG
30.2	Schienenfahrzeugbau	IG
30.3	Luft- und Raumfahrzeugbau	IG
30.4	Herstellung von militärischen Kampffahrzeugen	IG
32.5	Herstellung von medizinischen und zahnmedizinischen Apparaten und Materialien	IG
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	IG
26.4	Herstellung von Geräten der Unterhaltungselektronik	GG
26.7	Herstellung von optischen und fotografischen Instrumenten und Geräten	GG
27.5	Herstellung von Haushaltsgeräten	GG
30.9	Herstellung von Fahrzeugen a. n. g.	GG
31	Herstellung von Möbeln	GG
32.1	Herstellung von Münzen, Schmuck und ähnlichen Erzeugnissen	GG
32.2	Herstellung von Musikinstrumenten	GG
10.1	Schlachten und Fleischverarbeitung	VG
10.2	Fischverarbeitung	VG
10.3	Obst- und Gemüseverarbeitung	VG
10.4	Herstellung von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten	VG
10.5	Milchverarbeitung	VG
10.7	Herstellung von Back- und Teigwaren	VG
10.8	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln	VG
11	Getränkeherstellung	VG
12	Tabakverarbeitung	VG
13.9	Herstellung von sonstigen Textilwaren	VG
14	Herstellung von Bekleidung	VG
15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	VG
18	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	VG
20.4	Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen	VG
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	VG
32.3	Herstellung von Sportgeräten	VG
32.4	Herstellung von Spielwaren	VG
32.9	Herstellung von Erzeugnissen a. n. g.	VG

* a. n. g. = anderweitig nicht genannt

A2 Reifegradmodelle und deren Anwendungsdomänen

Die nachfolgende Tabelle A-2 liefert weitere Beispiele für existierende Reifegradmodelle sowie deren Anwendungsdomänen. Aufgrund der enormen Vielfalt an bestehenden Ansätzen kann sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sondern ist als Ergänzung zu den in Abschnitt 2.5.1 aufgeführten Reifegradmodellen zu verstehen⁷⁸. Bei den angegebenen Jahreszahlen handelt es sich um Richtwerte, da die Modelle häufig evolutionär entwickelt wurden und daher in Bezug auf ihr Erscheinungsjahr nicht immer trennscharf voneinander zu unterscheiden sind.

Tabelle A-2: Etablierte Reifegradmodelle und deren Anwendungsdomänen⁷⁹ (Auszug)

Jahr	Bezeichnung des Reifegradmodells	Schwerpunkt	Autoren/Hrsg.
1974	Four Stages of EDP Growth	Datenverarbeitung	GIBSON/NOLAN
1979	Quality Management Maturity Grid (QMMG)	Qualitätsmanagement	CROSBY
1988	EFQM-Modell	Qualitätsmanagement	European Foundation for Quality Management (EFQM)
1991	Capability Maturity Model (CMM)	Software-Entwicklungsprozesse	Software Engineering Institute (SEI)
1992	Trillium	Software-Entwicklungsprozesse	Bell Canada, Northern Telecom and Bell-Northern Research
1995/ 1998	Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)/ ISO/IEC 15504	Software-Entwicklungsprozesse	International Committee on Software Engineering Standards
1999	PM Delta	Projektmanagement	Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (GPM)
2000	Capability Maturity Model Integration (CMMI)	Projekt-/Prozessmanagement	Software Engineering Institute (SEI)
2000	Programme Management Maturity Model (PMMM)	Projektmanagement	KERZNER
2002	Project Management Maturity Model (PMMM)	Projektmanagement	PM Solutions
2002	Projects In Controlled Environments 2/ PRINCE2 Maturity Model (P2MM)	Projektmanagement	Office of Government Commerce UK
2003	PM Delta Compact	Projektmanagement	Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (GPM)
2003	Organizational Project Management Maturity Model (OPM3)	Projektmanagement	Project Management Institute
2003	Enterprise Architecture Maturity Model	Unternehmens- und Geschäftsprozess-Management	National Association of State Chief Information Officers (NASCIO)
2004	Business Process Maturity Model	Geschäftsprozess-Management	FISHER
2004	Business Process Management Maturity	Geschäftsprozess-Management	ROSEMAN ET AL.
2005	Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model (P3M3)	Projektmanagement	Office of Government Commerce (OGC)
2006	Reifegradmodell für industrielle Dienstleistungen	Dienstleistungsentwicklung	SPATH/DEMUS
2006	Reifegradmodell der kundenorientierten Dienstleistungsentwicklung	Dienstleistungsentwicklung	NÄGELE/VOSSEN
2015	Industrie 4.0 Readiness Modell	Digitalisierung/Industrie 4.0	IMPULS-Stiftung
2015	Werkzeugkasten Industrie 4.0	Digitalisierung/Industrie 4.0	ANDERL ET AL.
2017	Industrie 4.0 Maturity Index	Digitalisierung/Industrie 4.0	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

⁷⁸ Weitere Sammlungen von Reifegradmodellen befinden sich bspw. in [ST05], [BRF+05], [BKP10], [KT17], [PG20].

⁷⁹ Um Doppelungen zu vermeiden, werden im Bereich „Digitalisierung/Industrie 4.0“ nur wenige repräsentative Modelle genannt. Eine ausführlichere Übersicht liefert Abschnitt 4.1.2.

A3 Unterscheidungskriterien von Strategien

Das Konzept der Strategieebenen aus Abschnitt 2.4.2 fokussiert den organisatorischen Geltungsbereich als Unterscheidungskriterium für Strategien. Darüber hinaus existieren weitere Unterscheidungskriterien, die weitere Strategiearten beinhalten. Tabelle A-3 liefert hierzu eine Übersicht, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle A-3: Unterscheidungskriterien von Strategien [Sch15, S. 881]

Unterscheidungskriterium (ggf. Vertreter)	Strategie-Bezeichnung (Auszug)
Organisatorischer Geltungsbereich (Hofer-Schedel)	Unternehmensstrategien Geschäftsstrategien Funktionsbereichsstrategien
Funktionsbereiche von Unternehmen	F&E-Strategien Produktionsstrategien Marketingstrategien Personalstrategien Finanzierungs-/Investitionsstrategien
Entwicklungsstrategien	Wachstumsstrategien Stabilisierungsstrategien Schrumpfungsstrategien
Marktverhalten	Angriffsstrategien Verteidigungsstrategien
Produkte/Märkte (Ansoff)	Marktdurchdringungsstrategien Marktentwicklungsstrategien Produktentwicklungsstrategien Diversifikationsstrategien
Wettbewerbsvorteile/Marktabdeckung (Porter)	Strategien der Kostenführerschaft (KF) Differenzierungsstrategien (DS) Konzentrationsstrategien (auf FS/DS)
Regionaler Geltungsbereich	Lokale Strategien Multinationale Strategien Globale Strategien

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass durchaus Abhängigkeiten zwischen den Strategiearten bestehen bzw. Kombinationen aus verschiedenen Strategiearten möglich sind. Beispielsweise können Wachstumsstrategien Bestandteile von Geschäftsbereichsstrategien sein. Darüber hinaus existieren „Querschnittsstrategien“ die die gesamte Unternehmung betreffen und nicht auf einen einzelnen Bereich reduziert werden können. Ein Beispiel hierfür bilden Personal- oder Investitionsstrategien, die über Bereichsgrenzen hinweg Anwendung finden. Hierdurch wird die Komplexität der Strategie-Interdependenzen deutlich.

A4 Identifizierte Industrie 4.0-Reifegradmodelle

Tabelle A-4 liefert einen Überblick über die in 4.1.3 identifizierten Industrie 4.0-Reifegradmodelle sowie deren Herausgeber. Die Sammlung stellt eine eigene Auswahl besterhender Industrie 4.0-Reifegradmodelle dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle A-4: Liste identifizierter Industrie 4.0-Reifegradmodelle

Nr.	Bezeichnung	Herausgeber
1	System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0)	LEYH ET AL.
2	Werkzeugkasten Industrie 4.0	ANDERL ET AL.
3	Industry 4.0 Readiness and Maturity Model	SCHUMACHER ET AL.
4	Industrie 4.0-Readiness-Check	IMPULS (VDMA), FIR e.V., IW Consult
5	Industry 4.0/Digital Operations Self Assessment	PricewaterhouseCoopers (PwC)
6	Reifegradmodell „Doku 4.0“	SOLLE/SCHUHMANN
7	Industry 4.0 Maturity Model	AKDIL ET AL.
8	INLUMIA Quick-Check Industrie 4.0	GAUSEMEIER ET AL.
9	Digitalisierungsindex Mittelstand Self-Check	Deutsche Telekom
10	Leitfaden Industrie 4.0	IHK München und Oberbayern
11	Quick Check Industrie 4.0 Reifegrad	Kompetenzzentrum Mittelstand NRW/ Fraunhofer IEM
12	Reifegradmodell Industrie 4.0	Business Upper Austria – Mechatronik-Cluster/ FH Oberösterreich
13	Industrie 4.0 Maturity Index	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech)
14	„4i“-Reifegradmodell	WZL (RWTH Aachen)
15	Festo Industrie 4.0 Quick Check	Festo Didactic
16	Quick-Check-Sammlung Industrie 4.0	Fraunhofer IML
17	Online-Fragebögen zur Bewertung des Industrie 4.0-Reifegrads	Kompetenzzentrum Mittelstand NRW/ Fraunhofer IEM
18	Industrie 4.0 Quick Check	Gesellschaft zur Prüfung von Software (GPS)
19	Industrie 4.0 Reifegrad-Test	Vision Lasertechnik et al.
20	Digital Maturity Model	Institut für Wirtschaftsinformatik (IWI-HSG) der Universität St. Gallen
21	Industry 4 readiness assessment tool	University of Warwick
22	Digital Maturity Model	WirtschaftsWoche & Neuland
23	Readiness-Check Digitalisierung	Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.
24	Readiness Digitale Transformation (Free)	KPMG
25	Digital Readiness Survey	Bain & Company
26	Digitaler Reifegrad von Schweizer KMU	Hochschule Luzern
27	Industrie 4.0-Reifegradmodell	TSCHANDL ET AL.

Die aufgeführten Reifegradmodelle werden mit Hilfe einer Clusteranalyse zu Reifegradmodellklassen zusammengefasst (vgl. Abschnitt 4.1.3). Eine Klasse verfügt über Reifegradmodelle mit ähnlichen Eigenschaften. Die Klassen untereinander unterscheiden sich hingegen möglichst trennscharf. Zur Klassifizierung werden Merkmale und Merkmalsausprägungen genutzt, mit denen jedes Reifegradmodell eindeutig beschrieben werden kann. Bild A-1 zeigt die genutzten Merkmale und verdeutlicht anhand des Reifegradmodells „INLUMIA Quick-Check Industrie 4.0“ eine eindeutige Beschreibung des Reifegradmodells über zugeordnete Merkmalsausprägungen.

Reifegradmodell: „Quick-Check Industrie 4.0“ (INLUMIA)				
Merkmale	Merkmalsausprägungen			
Betrachtungsbereich	Produktion	Produkt		Dienstleistungen
Betrachtungsweise	Technisch	Organisatorisch	Sozial	Soziotechnisch
KMU-Fokussierung	Ja		Nein	
Herausgeber	Wissenschaft	Politik	Verband	Unternehmensberatung
Erhebungsformat	Einzelbefragung	Gruppenbefragung		Workshop
Bewertungsperspektive	Selbstbewertung	Fremdbewertung		Kollektivbewertung
Erhebungsform	Online		Offline	
Anwendungsaufwand	Weniger als ein halber Tag	Bis zu einem Tag		Größer als ein Tag
Schulungsaufwand für Anwender	Niedrig	Mittel		Hoch
Bewertungssystematik	Scoring-Verfahren		Stufenbasierte Reifegrade	
Art der Reifegrade	Einheitlich standardisiert		Kriterien- bzw. Handlungselement-spezifisch	
Defintion eines Soll-Zustands	Nicht vorgesehen	Intuitiv		Analytisch/methodisch
Benchmarking	Ja		Nein	
Ergebnisvisualisierung	Ja		Nein	
Handlungsempfehlungen	Ja		Nein	

Bild A-1: Merkmale und Merkmalsausprägungen zur Klassifizierung von Industrie 4.0-Reifegradmodellen

A5 INLUMIA-Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“

Nachfolgend wird das INLUMIA-Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ präsentiert, das zur Entwicklung der Industrie 4.0-Strategie im Validierungsprojekt (Kapitel 4) ausgewählt wurde. Wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, gliedert es sich in die Dimensionen Technik (blau), Business (grün) und Mensch (rot). Es verfügt über 59 Handlungselemente (Kriterien), die wiederum in verschiedene Handlungsbereiche zusammengefasst sind (z. B. Technikorganisation). Einen detaillierten Überblick über die Inhalte verschaffen Bild A-2 bis Bild A-8.

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Technik (1/3)



Technikorganisation	T1 Horizontale Integration: Wie vernetzt sind die Prozesse/Ressourcen der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette?	T2 Vertikale Integration: Wie stark vernetzt sind die verschiedenen Unternehmensebenen miteinander?	T3 IT-Prozessunterstützung: Wie hoch ist der Anteil der digitalen Prozessunterstützung in der Entwicklung?
	1 Keine horizontale Integration 2 Partielle horizontale Integration 3 Umfangreiche horizontale Integration 4 Durchgängige horizontale Integration	1 Keine vertikale Integration 2 Partielle vertikale Integration 3 Umfangreiche vertikale Integration 4 Durchgängige vertikale Integration	1 Rudimentäre IT-Unterstützung 2 Umfangreiche IT-Unterstützung 3 Durchgehende IT-Unterstützung 4 Unternehmensübergreifende Unterstützung
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Engineering	T4 Tool-Landschaft: Wie homogen ist der Informationsfluss zwischen den an der Entwicklung beteiligten Fachdisziplinen und über die Phasen des Produktlebenszyklus hinweg?	T5 Systems Engineering (SE): Inwieweit wird im Rahmen des Engineerings der Ansatz des Systems Engineerings eingesetzt?	T6 Sensorik (Produktionssystem): In welchem Grad werden Signale vom Produktionssystem erfasst und ausgewertet?
	1 Heterogene Tool-Landschaft 2 Partiiell homogene Tool-Landschaft 3 Durchgängiger Informationsfluss entlang des Produktlebenszyklus 4 Homogene, hoch integrierte Tool-Landschaft	1 Engineering in Fachdisziplinen 2 Fachdisziplin-übergreifende Ansätze 3 Systems Engineering 4 Advanced/Model Based SE	1 Keine Sensorik 2 Rudimentärer Einsatz von Sensorik 3 Umfangreicher Einsatz von Sensorik 4 Durchgängiger Einsatz von Sensorik
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktion	T7 Aktorik (Produktionssystem): Besitzt das Produktionssystem Aktorik, um physikalische Prozesse zu beeinflussen?	T8 Art der Informationsverarbeitung (Produktionssystem): Wozu werden die gesammelten Daten genutzt?	T9 Human Machine Interface (HMI) (Produktionssystem): Wie ist die Schnittstelle zum Menschen gestaltet?
	1 Keine Aktorik 2 Rudimentärer Einsatz von Aktorik 3 Umfangreicher Einsatz von Aktorik 4 Durchgängiger Einsatz von Aktorik	1 Keine Nutzung 2 Grundlegende Steuerung der Aktorik 3 Identifizieren und Adaptieren 4 Optimieren	1 Einfache HMI 2 Integrierte, lokale HMI 3 Lokale, drahtlose HMI 4 Ortsungebundene HMI
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produktion	T10 Datenspeicherung (Produktionssystem): Inwieweit werden in der Produktion digitale Daten gespeichert?	T11 Nutzung von Daten des Produktionssystems: Inwieweit werden die Prozesse in der Produktion durch Daten unterstützt?	
	1 Keine digitale Datenspeicherung 2 Partielle digitale Datenspeicherung 3 Umfassende digitale Datenspeicherung 4 Globale digitale Datenspeicherung	1 Einfache Visualisierung 2 Zustandserkennung 3 Fehlerdiagnose und -vorhersage 4 Kontrolle und Lernfähigkeit	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bild A-2: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Technik (1/3)

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Technik (2/3)



		T12 Nutzung externer Daten (Produktionssystem): Werden externe Daten (innerhalb oder außerhalb des Betriebs) in der Produktion zur effizienten Prozessgestaltung genutzt?			
Produktion		1 Keine Nutzung externer Daten	2 Festgelegte Nutzung externer Daten	3 Veränderung externer Daten	4 Situationsspezifische Nutzung externer Daten
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	T13 Digitalisierung der Produktionsprozesse: Sind die Informationen in der Produktion digitalisiert oder papierbasiert verfügbar?				
		1 Keine Digitalisierung	2 Partielle Digitalisierung	3 Umfassende Digitalisierung	4 Durchgängige Digitalisierung
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	T14 Konnektivität (Produktionssystem): Welche Art von Schnittstellen werden in der Produktion genutzt, um die Produktion zu vernetzen?				
		1 Keine Verbindung	2 Direkte Kabelverbindung	3 Netzwerkkabelverbindung	4 Drahtlose Verbindung
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T15 Intralogistik: Inwieweit laufen die internen Transportprozesse automatisiert oder autonom ab?					
	1 Manuell	2 Teilautomatisiert	3 Automatisiert	4 Autonom	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T16 Organisation der Fertigungsplanung und -steuerung (PPS): Wie sind die Planungs- und Steuerungsprozesse in der Produktion organisiert?					
	1 Manuell	2 Systemgestützt	3 Teilweise selbststeuernd	4 Vollständig selbststeuernd	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T17 Fertigungsflexibilität: Wie flexibel können unterschiedliche Produkte / Varianten in der Fertigung hergestellt werden?					
	1 Starre Produktionsmittel	2 Teilflexible Produktionsmittel	3 Flexible Produktionsmittel	4 Flexible Produktionsnetzwerke	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T18 Assistenzsysteme in der Montage: Inwieweit werden die Werkmitarbeiter am Montagearbeitsplatz durch Assistenzsysteme unterstützt?					
	1 Keine Assistenzsysteme	2 Starre Assistenzsysteme	3 Flexible Assistenzsysteme	4 Mobile Assistenzsysteme	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T19 Sensorik (Produkt): In welchem Grad werden Signale über Sensorik vom Produkt erfasst und ausgewertet?					
	1 Kein Signal	2 Grenzwerte/ Diskrete Werte	3 Echtzeiterfassung	4 Virtuelle Sensorik	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T20 Aktorik (Produkt): Besitzt das Produkt Aktorik, um physikalische Prozesse zu beeinflussen?					
	1 keine Aktorik	2 Rudimentärer Einsatz von Aktorik	3 Umfangreicher Einsatz von Aktorik	4 Durchgängiger Einsatz von Aktorik	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T21 Art der Informationsverarbeitung (Produkt): Wie ist die Art der Informationsverarbeitung ausgestaltet, d.h. wozu werden die gesammelten Daten genutzt?					
	1 Keine Nutzung	2 Grundlegende Steuerung der Aktorik	3 Identifizieren und Adaptieren	4 Optimieren	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T22 Human Machine Interface (HMI) (Produkt): Wie ist die Schnittstelle zum Menschen gestaltet?					
	1 Einfache HMI	2 Integrierte, lokale HMI	3 Lokale, drahtlose HMI	4 Ortsungebundene HMI	
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bild A-3: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Technik (2/3)

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Technik (3/3)




		T23 Datenspeicherung (Produkt): In welchem Maß ist das Produkt in der Lage, Daten zu speichern?			
Produkt		1 Keine Datenspeicherung	2 Partielle digitale Datenspeicherung	3 Umfangreiche digitale Datenspeicherung	4 Durchgängige digitale Datenspeicherung
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		T24 Datenverarbeitung (Produkt): Inwieweit werden gespeicherte Daten für Anpassungen des Produktes genutzt (Selbstoptimierung)?			
		1 Keine Verarbeitung von Daten	2 Datenabruf zur Dokumentation	3 Auswertung zur Prozessüberwachung	4 Automat. Anpassung
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		T25 Nutzung externer Daten (Produkt): Wie werden externe Daten, z.B. Daten anderer Produkte, von dem Produkt genutzt?			
		1 Keine Nutzung externer Daten	2 Festgelegte Nutzung externer Daten	3 Veränderung externer Daten	4 Situationsspezifische Nutzung externer Daten
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		T26 Konnektivität: Welche Art von Schnittstellen werden vom Produkt genutzt, um das Produkt mit weiteren Systemen zu vernetzen?			
		1 Keine Verbindung	2 Direkte Kabelverbindung	3 Netzwirkabelverbindung	4 Drahtlose Verbindung
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild A-4: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Technik (3/3)

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Business (1/2)




INDUSTRIE 4.0

	Strategie			
	B1 Industrie 4.0-Strategie: Inwiefern wurden die unternehmensspezifischen Möglichkeiten von Industrie 4.0 analysiert und Maßnahmen zur Zielerreichung abgeleitet?			
	1 Keine Berücksichtigung	2 Berücksichtigung, aber noch keine Strategie	3 Strategie formuliert, aber noch nicht umgesetzt	4 Strategie umgesetzt
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B2 Überprüfung der Strategie: In welcher Weise werden die in der Strategieentwicklung getroffenen Annahmen sowie die Erreichung der strategischen Ziele kontrolliert?			
	1 Keine Überprüfung	2 Unregelmäßiges Umsetzungscontrolling	3 Regelmäßiges Umsetzungscontrolling	4 Kontinuierliches Umsetzungs- und Prämissencontrolling
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B3 IT-Sicherheitskonzept: Inwiefern wurden die unternehmensspezifischen IT-Sicherheitsrisiken analysiert und Maßnahmen zur Risikominimierung abgeleitet?			
	1 Keine unternehmensindividuellen Maßnahmen	2 Vereinzelte Maßnahmen	3 Sicherheitsrichtlinie	4 Umfassendes Sicherheitskonzept
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B4 Wertschöpfungsk Kooperation: Wie erfolgen die Kooperationen mit Wertschöpfungspartnern?			
	1 Starre „1 zu 1“-Beziehungen	2 Flexible „1 zu 1“-Beziehungen	3 Flexible Allianzen	4 Ad-hoc-Allianzen
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B5 Kapitalverfügbarkeit: In welchem Umfang steht Kapital (insbesondere auch Wagniskapital) für Industrie 4.0-Vorhaben bzw. -Aktivitäten zur Verfügung?			
	1 Gar kein Kapital	2 Kein Wagniskapital	3 Eingeschränktes Wagniskapital	4 Umfangreiches Wagniskapital
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B6 Herangehensweise bei Neuentwicklungen: Wo liegt der Ansatzpunkt bei der Neuentwicklung von Marktleistungen?			
	1 Ausschließliche Produktorientierung	2 Dominierende Produktorientierung	3 Überwiegende Nutzenorientierung	4 Ausschließliche Nutzenorientierung
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B7 Kundeneinbindung: Wie stark wird der Kunde in den Produktentstehungsprozess integriert?			
	1 Keine Kundeneinbindung	2 Passive Mitwirkung des Kunden	3 Aktive Mitwirkung des Kunden	4 Co-Creation
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B8 Pioniergeist: Wie wird der Pioniergeist innerhalb des Unternehmens gefördert?			
	1 Keine Anreizsysteme	2 Klassische Anreizsysteme	3 Anreizsysteme mit regelmäßigen Coachings	4 Gelebter Pioniergeist
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B9 Technologietransfer: Wie erfolgt die Technologienutzbarmachung und Technologieverbreitung?			
	1 Nicht vorhanden	2 Innerhalb ausgewählter Pilotprojekte kollaborativ	3 Vorrangig kollaborativ	4 Durchgehend kollaborativ
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B10 Partizipation in Innovationsnetzwerken: Wie erfolgt die Partizipation in Innovationsnetzwerken?			
	1 Keine Partizipation	2 Passive Teilnahme	3 Aktive Teilnahme	4 Proaktive Teilnahme
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>
	B11 Innovationsorganisation: Wie effizient und flexibel ist die Innovationsorganisation?			
	1 Ineffizient und unflexibel	2 Effizient aber unflexibel	3 Effizient und teilweise flexibel	4 Effizient und flexibel
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	Heutige Position: <input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>

Bild A-5: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Business (1/2)

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Business (2/2)










		1	2	3	4	
Geschäftsmodell		B12 Geschäftsmodellentwicklung: Wie erfolgt die Entwicklung von Geschäftsmodellen?				
		1 Unstrukturiert	2 Rückgriff auf Strukturierungshilfen	3 Rückgriff auf Strukturierungshilfen und Methoden	4 Situative Auswahl aus Methodenpool	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Daten		B13 Produkt-Service-Angebot: Werden physische Produkte durch sinnvolle optionale Services über die gesamte Lebensdauer hinweg ergänzt?				
		1 Keine Services	2 Serviceangebot mit allgemeinen Add-Ons	3 Serviceangebot mit produktspez. Add-Ons	4 Anbieten von Produkt-Service-Systemen	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Daten		B14 Durchdringung digitaler Services: Werden bestehende und neue Produkte um digitale Services ergänzt?				
		1 Keine Durchdringung	2 Innerhalb ausgewählter Pilotprodukte	3 Innerhalb ausgewählter Produktgruppen	4 Innerhalb der kompletten Produktpalette	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Daten		B15 Datenerfassung und -analyse: Wie werden anfallende Daten (z.B. Betriebsdaten, Zuliefererdaten, Kundendaten etc.) erfasst und analysiert?				
		1 Keine systematische Datenerfassung und -analyse	2 Umfassende, aber unsystematische Datenerfassung, keine Datenübergreifende Analyse	3 Umfassende Datenerfassung und -analyse (Big Data)	4 Gezielte Datenerfassung und -analyse wertvoller Inhalte (Smart Data)	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Daten		B16 Datenverwertung: In welchem Umfang werden Daten unternehmensintern und -extern verwertet?				
		1 Keine Verwertung	2 Sehr vereinzelte Verwertung	3 Vereinzelte Verwertung	4 Umfassende Verwertung	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Daten		B17 Digitaler Kundenzugang: Kann der Kunde mithilfe der bestehenden technischen Lösungen auf digitalem Weg erreicht werden?				
		1 Kein digitaler Kundenzugang	2 Erfassung von historischen Nutzungsdaten	3 Erfassung von Nutzungsdaten in Echtzeit	4 Interaktion mit dem Kunden über das Produkt	
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bild A-6: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Business (2/2)


Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Mensch (1/2)



		1 Fast kein Spielraum	2 Etwas Spielraum	3 Viel Spielraum	4 Sehr viel Spielraum
Arbeitsgestaltung	M1 Tätigkeitsspielraum und Autonomie: Wieviel Spielraum haben die Mitarbeiter bei der Planung und Gestaltung des Arbeitsablauf und arbeitsbezogenen Entscheidungen?	1 Fast kein Spielraum	2 Etwas Spielraum	3 Viel Spielraum	4 Sehr viel Spielraum
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M2 Anforderungsvielfalt: Wieviel Abwechslung bieten die Anforderungen der zu leistenden Tätigkeiten?	1 Fast keine Abwechslung	2 Etwas Abwechslung	3 Viel Abwechslung	4 Sehr viel Abwechslung
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M3 Flexibilität der Arbeitszeiten: Wie flexibel sind Arbeits- und Pausenzeiten gestaltbar?	1 Feste Arbeitszeiten	2 Gleitende Arbeitszeit	3 Bedarfsgeregelte, geplante Arbeitszeiten	4 Systemgesteuerte Koordination der Arbeitszeiten
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Qualifikation	M4 Kooperationsenge: Wie stark sind die Mitarbeiter für einen guten Arbeitsfluss aufeinander angewiesen? Wie leicht stören Fehler den Arbeitsfluss?	1 Starke Abhängigkeit	2 Mäßige Abhängigkeit	3 Geringe Abhängigkeit	4 Fast keine Abhängigk.
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M5 Leistungsfeedback: Wie erhalten die Mitarbeiter Feedback zu ihrer geleisteten Arbeit?	1 Fast kein Feedback	2 Gelegentliches Feedback	3 Regelmäßiges Feedback zur Leistung	4 Systemgestütztes Feedback in Echtzeit
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M6 Zusammenarbeit und Soziale Interaktion: Wie häufig ist direkte Zusammenarbeit der Mitarbeiter/innen erfordert?	1 Fast keine Zusammenarbeit	2 Gelegentliche Zusammenarbeit	3 Häufige Zusammenarbeit	4 Sehr häufige Zusammenarbeit
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Qualifikation	M7 Ergonomie: Wie gut sind ergonomische Standards umgesetzt? Sind individuelle Einstellungsmöglichkeiten verfügbar?	1 Grundlegende ergonomische Gestaltung mit fast keinen Anpassungsmöglichkeiten	2 Ergonomische Gestaltung mit wenigen Anpassungsmöglichkeiten	3 Ergonomische Gestaltung mit umfassenden Anpassungsmöglichkeiten	4 Ergonomische Gestaltung und instruierte oder automatische Anpassungsmöglichkeiten
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M8 Weiterbildungsangebote: In welcher Form und Regelmäßigkeit werden Weiterbildungsangebote für die Mitarbeiter angeboten?	1 Nur vereinzelte Schulungen bei Bedarf	2 Unregelmäßige Weiterbildungsangebote	3 Systematisch konzipierte, regelmäßige Weiterbildungsangebote	4 Zusätzliche digitale Weiterbildungsangebote
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M9 Dokumentation von Erfahrungswissen: Gibt es die Möglichkeit und Gelegenheit Erfahrungswissen zu dokumentieren und darauf zuzugreifen?	1 Keine systematische Dokumentation	2 Wissensmanagement in einzelnen Dokumenten	3 Zentrale Datenbank (analog oder digital)	4 Dezentrale, digitale Wissensplattform
Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Qualifikation	M10 Verfügbarkeit von Unterstützung: Wie ist die Verfügbarkeit und Ansprechbarkeit von Experten / Ansprechpartnern organisiert?	1 Fast keine Verfügbarkeit	2 Ungeregelte Verfügbarkeit	3 Organisierte Verfügbarkeit	4 Systemgestützte, organisierte Unterstützung
	Heutige Position:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild A-7: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Mensch (1/2)



Inlumia
INDUSTRIE 4.0

Quick-Check Industrie 4.0

Dimension Mensch (2/2)

	M11 Führungstransparenz: Wie gut ist die Kommunikation der Führungsebene mit den Mitarbeitern?			
	1 Geringe Transparenz	2 Grundlegende Transparenz	3 Hohe Transparenz	4 Systemgestützte Transparenz
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M12 Mitarbeiterpartizipation: Haben Mitarbeiter die Möglichkeit Feedback bezüglich der Arbeitsgestaltung und innerbetrieblicher Prozessabläufe zu kommunizieren?			
	1 Keine Partizipationskultur	2 "Kummerkasten" und Ansprechpersonen	3 Systematische Partizipationskultur	4 Systemgestützte Partizipationskultur
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M13 Veränderungsstrategie: Wie systematisch wird das Change Management bei der Einführung von Innovationen geplant?			
	1 Keine systematische Planung	2 Unsystematischer Einsatz von Erfahrungen	3 Systematischer Einsatz von Strategien	4 Integrierte Strategien
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M14 Software-Usability: Ist die Bediensoftware benutzerfreundlich gestaltet und individuell an den Benutzer und die Tätigkeiten anpassbar?			
	1 Umständliche Bedienbarkeit und geringe Anpassungsmöglichkeiten	2 Gute Bedienbarkeit und einige Anpassungsmöglichkeiten	3 Sehr gute Bedienbarkeit und umfassende Anpassungsmöglichkeiten	4 Hervorragende Bedienbarkeit und umfassende, systemgestützte Anpassungsmöglichkeiten
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M15 Unterstützung durch Assistenzsysteme: In welcher Form bietet das System / die Maschine Hilfestellung bei der Behebung von Problemen?			
	1 Einfache Störungsmeldung	2 Verweis auf „Hilfe“-Datenbank	3 Vorschlag konkreter Lösungsansätze	4 Unmittelbare, detaillierte Handlungsanweisungen
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M16 Mensch-Technik-Abhängigkeit: Wie stark sind die Mitarbeiter für einen guten Arbeitsfluss auf das System / die Maschinen angewiesen?			
	1 Starke Abhängigkeit, wenige Anpassungsmöglichkeiten	2 Mäßige Abhängigkeit durch kleinere Anpassungsmöglichkeiten	3 Geringe Abhängigkeit durch Anpassungsmöglichkeiten	4 Minimale Abhängigkeit durch autonome Anpassung der Technik
	Heutige Position: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Zielposition (im Jahr 2025): <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild A-8: Reifegradmodell „Quick-Check Industrie 4.0“ – Dimension Mensch (2/2)

A6 Merkmale und Ausprägungen zur Unternehmensklassifizierung

Im Rahmen des Benchmarking erfolgt die Verifizierung der eigenen Industrie 4.0-Zielposition mit der Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit ähnlicher Unternehmen (vgl. Abschnitt 4.3.3). Hierzu werden Unternehmensklassen gebildet, denen Unternehmen mit ähnlichen Eigenschaften zu Vergleichszwecken zugeordnet werden. Die Klassifizierung erfolgt analog zur Reifegradmodellklassifizierung mit Hilfe einer Clusteranalyse unter Verwendung von Merkmalen und Merkmalsausprägungen. Bild A-9 verschafft einen Überblick über die verwendeten Merkmale und zeigt eine eindeutige Zuordnung von Merkmalsausprägungen für die Unternehmensklasse 1 „Kleine innovative Dienstleistungsspezialisten für Produkt und Produktion“.

Klasse 1: Kleine innovative Dienstleistungsspezialisten für Produkt und Produktion				
Merkmale	Merkmalsausprägungen			
Unternehmensgröße	Klein	Mittel	Groß	Sehr groß
Kostentreiber	Energiekosten	Anlagenkosten	Personalkosten	Materialkosten
Erzeugnisspektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation		Modularisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	
Produktkomplexität	Einfaches Produkt		Komplexes Produkt	
Produktionskomplexität	Einfaches System		Komplexes System	
Position in der Wertschöpfungskette	Primär Rohstoff-/Werkstoffherzeugung	Komponentenzulieferung	Erstellung des Endproduktes	Nachgelagerte Dienstleistungen
Fertigungstiefe	Eher geringe Fertigungstiefe		Eher hohe Fertigungstiefe	
Automatisierungsgrad	Überwiegend		Teilautomatisiert	Überwiegend vollautomatisiert
Kompetenzbreite	Eher Generalisten		Eher Spezialisten	
Dominierende Tätigkeitsart	Mechanisch-Motorisch		Kombinativ-Reaktiv	Kreativ
Veränderungstypen	Bewahrer dominieren		Erschaffer dominieren	
Entscheidungsstruktur	Zentral		Kollektiv	
Fokus Industrie 4.0	Produktion		Produkt	

Ausprägung enthalten: ☒Ausprägung nicht enthalten: ☐

Bild A-9: Beschreibung einer Unternehmensklasse anhand definierter Merkmale und Merkmalsausprägungen

A7 Zukunftsszenarien

Die im Rahmen der Methode entwickelten und zur Ermittlung der langfristigen Zielposition herangezogenen Szenarien können auszugsweise Bild A-10 bis Bild A-12 entnommen werden.

Szenario 1 – Die Digitalisierung ist allgegenwärtig

Die rapide Durchdringung der Gesellschaft mit Informations- und Kommunikationstechnik hat stark zugenommen. Jeder ist fasziniert von den neuen Möglichkeiten und hat stets Zugriff auf Informationen und Dienste. Nur Einzelne hinterfragen diese Entwicklung kritisch und vertreten die Auffassung, dass sich sog. „Informationseliten“ bilden und nur diese einen wirklichen Nutzen aus den Daten ziehen [...]. Nach anfänglichen Durchsetzungsschwierigkeiten boomen auch Assistenzsysteme im produzierenden Gewerbe. Seit klar ist, wie solche Systeme wirtschaftlich eingesetzt werden können, wird die Arbeit an nahezu allen Arbeitsplätzen durch entsprechende Assistenzsysteme unterstützt [...]. Unternehmen haben die Vorzüge der flexiblen Produktion erkannt und sehen in ihr einen wichtigen Wettbewerbsvorteil. Die Produktionssysteme sind mittlerweile so ausgelegt, dass sie sich schnell an geänderte Rahmenbedingungen anpassen können. So kann auch kurzfristig auf kundenindividuelle Änderungswünsche eingegangen werden. Einige wenige Unternehmen stoßen jedoch auf Probleme und bemängeln die fehlende Synchronisierbarkeit der einzelnen Produktionsmittel. Diese Unternehmen erachten eine flexible Produktion als zu aufwändig und favorisieren daher weiter den Einsatz von starren Produktionssystemen [...]. Allgemein kann aber festgehalten werden, dass ein Paradigmenwechsel stattgefunden hat. Smart Factories etablieren sich am Markt, da der Fokus der industriellen Wertschöpfung immer mehr auf den individuellen Wünschen der Konsumenten liegt. Zudem wird die Forschung in diesem Bereich immer stärker gefördert [...]. Neben dem Staat, investieren auch die Kunden immer häufiger. Nur vereinzelt sind Kunden aufgrund von Krisenerfahrungen zurückhaltend [...]. Der Elektronikmarkt profitiert von der positiven volkswirtschaftlichen Entwicklung und ist weiterhin im Aufschwung. Die Nachfrage nach elektrischen Geräten reißt nicht ab, da durch die Digitalisierung elektronische Komponenten Einzug in neue Bereiche erhalten. Trotz vieler Anstrengungen von Politik und Unternehmen zur Ausweitung des Arbeitsangebots ist allerdings die Zahl der verfügbaren Arbeitskräfte stark zurückgegangen. Diese Entwicklung sehen die Unternehmen als Chance zur digitalen Transformation. Das hat auch zur Folge, dass der tertiäre Sektor immer stärker boomt. Die umfassende Automatisierung im produzierenden Gewerbe verschiebt den Arbeitskräftebedarf in Richtung dienstleistungsnaher Marktleistungen. Auch in Privathaushalten lässt sich die Zunahme der Digitalisierung beobachten, da zunehmend Smart Home-Konzepte dafür sorgen, dass immer mehr Vorgänge auch im Haushalt automatisiert ablaufen und verschiedene Geräteklassen in einem Haushalt miteinander vernetzt sind.

Bild A-10: Auszug des Zukunftsszenarios 1 „Die Digitalisierung ist allgegenwärtig“

Szenario 2 – Ernüchterung nach Digitalisierungshype

Der IKT-Hype der Freizeitwelt hat keinen Einzug in die Produktion erhalten. Auch im Privatleben nimmt die Skepsis gegenüber der Digitalisierung stark zu. In der Produktion wird dies u.a. dadurch deutlich, dass Assistenzsysteme die hohen Erwartungen der Unternehmen weitgehend nicht erfüllen konnten. Es hat sich herausgestellt, dass diese Systeme auf lange Sicht wirtschaftlich nicht tragbar sind. Viele Unternehmen sehen Investitionen in solche Systeme daher skeptisch und der Einsatz von Assistenzsystemen ist die Ausnahme. Die Unternehmen haben aber die Vorzüge und Relevanz der Flexibilität sowie der kundenindividuellen Produktion erkannt. Sie bemühen sich, die Flexibilität ihrer Produktionssysteme auszuweiten, stoßen dabei jedoch immer wieder auf Probleme. Die Produktionssysteme können zwar auf geänderte Rahmenbedingungen reagieren, jedoch nur unter hohem Aufwand und nicht mit der erhofften Schnelligkeit. Aufgrund der fehlenden Synchronisierbarkeit wird eine flexible Produktion häufig als zu kostspielig erachtet [...]. Trotz allem ist zu beobachten, dass Unternehmen sich der Tragweite von Smart Factories bewusst sind und der Wille für den Wandel vorhanden ist. Doch es hapert bei der Umsetzung. Kompatibilitätsprobleme von alten und neuen Maschinen, verschiedene Schnittstellen und fehlende Standards bremsen den Wandel aus. Mit Blick auf die Forschung droht Deutschland der Verlust des Rufs als ingenieurswissenschaftliches Aushängeschild. Die heimische Forschungskultur ist im internationalen Wettbewerb nicht mehr konkurrenzfähig. Flaute herrscht auch in der Konjunktur, was anhand des rückläufigen BIP und an der geringen Bereitschaft der Kunden zu Investition sichtbar wird [...]. Ansprüche an die Produktqualität gibt es kaum [...]. Insgesamt entsteht der Eindruck, dass die Menschen der Elektrifizierung und Digitalisierung mittlerweile überdrüssig sind. Sie sehnen sich nach weniger Elektronik im Alltag und es entsteht eine „Back to the Roots“-Bewegung. Hinzu kommt, dass die Zahl der Erwerbstätigen merklich gesunken ist [...]. Fachkräfte in der Produktion, z. B. zur Steuerung komplexer Fertigungsanlagen, sind Mangelware. Das produzierende Gewerbe nutzt vermehrt Dienstleistungen als alternative Form der Wertegenerierung. So entstehen ergänzende Marktleistungen für bereits etablierte Formen der Wertschöpfung. Jene geschilderten Beobachtungen sind auch in Privathaushalten erkennbar: Von der Automatisierung durch Smart Home wurde zwar vollmündig geschwärmt, doch die Hersteller haben die Entwicklung eines einheitlichen Standards versäumt. Smart Home konnte sich nicht etablieren, da Kunden keinen echten Nutzen im Verhältnis zum Preis erkennen. Ausschlaggebend ist, dass jeder Hersteller ein eigenes Vernetzungskonzept verfolgt hat und sich Insellösungen gebildet haben.

Bild A-11: Auszug des Zukunftsszenarios 2 „Ernüchterung nach Digitalisierungshype“

Szenario 3 – Fokussierter Industrie 4.0-Einsatz

Die täglich produzierte Datenmenge hat neue Ausmaße erlangt. Die freie Verfügbarkeit von Daten ist allerdings trügerisch. Nur wenigen gelingt es, aus Daten Informationen und Wissen zu generieren: Es bilden sich Informationseliten. Das wird daran deutlich, dass sich in Unternehmen nur vereinzelt Assistenzsysteme durchsetzen konnten [...]. Zu groß sind die Sorgen vor gesundheitlichen Auswirkungen oder Angst vor Überwachung der Mitarbeiter. Außerdem konnten sich flexible Produktionssysteme nicht durchsetzen. Die fehlende Synchronisierbarkeit der einzelnen Produktionsmittel macht die Implementierung zu kostspielig [...]. Insgesamt wurde das Potential von Smart Factories aber erkannt, es sind jedoch nur wenige Unternehmen in der Lage, eigene Smart Factories aufzubauen. Mangels umfangreicher Vernetzung bleiben die volkswirtschaftlichen Auswirkungen daher überschaubar. Im Hinblick auf staatliche Wirtschaftsförderprogramme erhalten nur die Forschungsfelder Unterstützung, bei denen mit geringem Risiko von einer hohen Rendite ausgegangen werden kann. Forschungsfelder mit großer Konkurrenz werden hingegen oft von staatlichen Fördermitteln ausgeschlossen. Hier ist die Gefahr zu groß, dass die knappen Mittel für die Förderung im Sand verlaufen. Gesamtwirtschaftlich gibt die Konjunktur allerdings keinen Anlass für ein zurückhaltendes Investitionsverhalten. Die Kunden sind aber durch Krisenerfahrungen vorsichtig geworden. Sie streben nach Sicherheit und tätigen momentan nur wenige Investitionen. Die deutschen Produzenten reagieren auf das Kundenverhalten und rationalisieren ihre Prozessketten zu Lasten der Qualität. Für Kunden spielt die Produktqualität zwar nach wie vor eine große Rolle, das entscheidende Kaufargument ist jedoch der Preis. Einige Produzenten beharren jedoch auf ihrem hohen Leistungsniveau und produzieren an einem Großteil der inländischen Kundschaft vorbei, denn nur für wenige Kunden ist die Qualität eines der entscheidenden Kaufargumente [...]. Insgesamt lässt sich zudem beobachten, dass der Elektronikmarkt gesättigt zu sein scheint. Die Möglichkeiten der Elektronik sind nahezu ausgeschöpft [...]. Auf dem Arbeitsmarkt ist ferner die Zahl der Erwerbstätigen merklich gesunken. Die wenigen verfügbaren Fachkräfte träumen von einer Karriere als Führungskraft. Qualifiziertes Personal für die Produktion ist absolute Mangelware. Es ist ein Wandel vom produzierenden zum Dienstleistungsgewerbe zu beobachten. Deshalb werden Dienstleistungen vermehrt als alternative Form der Wertegenerierung wahrgenommen [...]. Auch in Privathaushalten erfolgt die Automatisierung mehr oder minder erfolgreich. Hersteller von Smart Home-Anwendungen verfolgen zwar ein eigenes Vernetzungskonzept und im Verbund mit den eigenen Geräten funktioniert die Vernetzung einwandfrei. Mangels einheitlicher Schnittstellen lassen sich Insellösungen aber nicht mit der Hausautomatisierung verknüpfen.

Bild A-12: Auszug des Zukunftsszenarios 3 „Fokussierter Industrie 4.0-Einsatz“

A8 Software-Werkzeug

Im Rahmen des Forschungsprojekt „INLUMIA –Instrumentarium zur Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0“ ist eine prototypische Web-App entstanden, die die Systematik stellenweise unterstützt. Zu den wesentlichen Funktionen zählen beispielsweise eine Industrie 4.0-Standortbestimmung mit Hilfe des Reifegradmodells „Quick-Check Industrie 4.0“ (vgl. Abschnitt A5), eine Zieldefinition unter Berücksichtigung von Industrie 4.0-Trends (vgl. Abschnitt 4.3.1) sowie Handlungsempfehlungen zur Erreichung der ermittelten Zielposition. Die Bewertungsergebnisse werden anonym in einer Datenbank gespeichert und können zu Benchmarking-Zwecken herangezogen werden (vgl. Abschnitt 4.3.3). Zur einfachen Anwendbarkeit wird der Nutzer mit Hilfe eines webbasierten Workflows entlang der Analyseschritte durch die App geleitet. Im Folgenden werden der konzeptionelle Aufbau sowie die Funktionsweise der Web-App erläutert.

Konzeptioneller Aufbau

Der konzeptionelle Aufbau der Web-App ist in Bild A-13 dargestellt. Sie besteht aus drei Teilen: der Wissensbasis (I, Mitte), dem Input (II, links) sowie dem generierten Output (III, rechts).

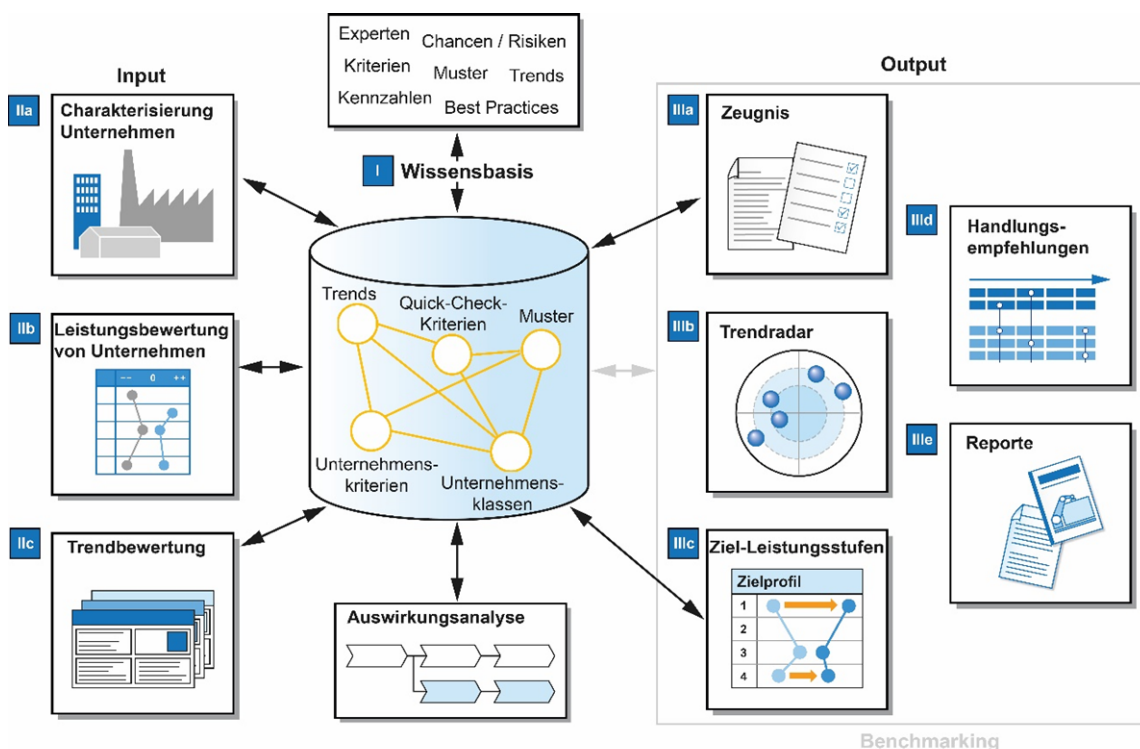


Bild A-13: Konzeptioneller Aufbau der Web-App

Wissensbasis

Die Wissensbasis besteht im Kern aus einem Informationsnetz, welches die Anwender-eingaben miteinander verknüpft. Sie enthält alle generierten Informationen, wie z. B. die

Kriterien und Leistungsstufen des Quick-Checks, Trends und Umsetzungsmuster. Sie überführt jedes dieser Informationsobjekte in ein vernetztes Datenobjekt. Gleichzeitig werden die notwendigen Verbindungen im Zusammenhangsgraphen des Informationsnetzes etabliert (Beispiel: „Welche Trends wirken sich besonders aus für bestimmte Kriterien?“).

Input

Mit diesem Informationsnetz als Basis können nun mit Hilfe der von den Unternehmen bereitgestellten Daten Einordnungen und Bewertungen vorgenommen werden. Hier dienen drei Bereiche als Inputgeber:

- **Charakterisierung Unternehmen (IIa):** Die Unternehmen geben zu Beginn des Quick-Checks Unternehmensdaten ein, die eine Unternehmensklassifizierung ermöglichen.
- **Leistungsbewertung Unternehmen (IIb):** Direkt im Anschluss werden im Quick-Check die unterschiedlichen Leistungskriterien für das Unternehmen in den Bereichen Technik, Business und Mensch bewertet.
- **Trendbewertung (IIc):** In der Trendbewertung werden ausgewählte Industrie 4.0-Trends unternehmensindividuell bewertet. Die Bewertung dient als Grundlage für die spätere Berechnung der Ziel-Leistungsstufen des Unternehmens.

Output

Das System bietet dem Anwender eine Reihe von Ausgabemöglichkeiten.

- **Zeugnis (IIIa):** Nach der Unternehmensklassifizierung und Leistungsbewertung kann der Anwender im ersten Schritt ein Zeugnis abrufen, mit dem die heutige Leistungsfähigkeit (Ist-Position) des Unternehmens sowohl allgemein als auch aufgeschlüsselt auf die Dimensionen Technik, Business und Mensch dokumentiert wird. Gleichzeitig wird die Positionierung des Unternehmens in einem Diagramm gegen den allgemeinen Durchschnitt sowie gegen die Referenzklasse des Unternehmens gespiegelt.
- **Trendradar (IIIb):** Ausgehend von der zuvor ermittelten heutigen Industrie 4.0-Leistungsfähigkeit besteht nun die Möglichkeit, eine Erfolg versprechende Zielposition für das Unternehmen zu ermitteln. Die Grundlage dafür bildet eine Trendanalyse zur Abschätzung zukünftiger Industrie 4.0-Entwicklungen mit einem Zeithorizont von circa 5 Jahren. Das System stellt den Anwendern eine Reihe vordefinierter Trends zur individuellen Bewertung zur Verfügung. Hier gilt es, neben der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Trends auch dessen Auswirkungsstärke für das Unternehmen zu bewerten. Jeder Trend ist mit ausführlichen Beschreibungen im System hinterlegt.

- **Ziel-Leistungsstufen (IIIc):** Die Definition der Ziel-Leistungsstufen basiert auf der Bewertung der Relevanz und Eintrittswahrscheinlichkeit von Trends sowie deren Bedeutung für die einzelnen Kriterien. Diese werden in die aus der Leistungsbewertung der Unternehmen bekannten Diagramme integriert und dargestellt.
- **Handlungsempfehlungen (IIId):** Der finale Analyseschritt der App berechnet Handlungsempfehlungen in Form von bewährten Umsetzungsmustern für Industrie 4.0, die aus ausgewählten Handlungsfeldern zusammengestellt werden.
- **Reports (IIIe):** Die Betreiber der Web-App können über ein Administrationsinterface verschiedene Reports aus dem System generieren und so jederzeit den Nutzungsgrad und den aktuellen Stand der Datenbasis des Systems überprüfen. Neben vordefinierten Reports (wie z. B. Ausgabe der durchschnittlichen Leistungsstufen über alle Datensätze) können über die Query-Engine der unterliegenden Datenbank sehr einfach beliebige weitere Reports abgerufen werden.

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut acht Professoren mit insgesamt 130 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Pro Jahr promovieren hier etwa 15 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the Paderborn University. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the Paderborn University. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrows economy.


Today eight Professors and 130 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. Per year approximately 15 young researchers receive a doctorate.

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 399 KOLDEWEY, C.: Systematik zur Entwicklung von Smart Service-Strategien im produzierenden Gewerbe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 399, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-18-7
- Bd. 400 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 2. und 3. Dezember 2021, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 400, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-19-4
- Bd. 401 BRETZ, L.: Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 401, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-20-0
- Bd. 402 WU, L.: Ultrabreitbandige Sampler in SiGe-BiCMOS-Technologie für Analog-Digital-Wandler mit zeitversetzter Abtastung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 402, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-21-7
- Bd. 403 HILLEBRAND, M.: Entwicklungssystematik zur Integration von Eigenschaften der Selbstheilung in Intelligente Technische Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 403, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-22-4
- Bd. 404 OLMA, S.: Systemtheorie von Hardware-in-the-Loop-Simulationen mit Anwendung auf einem Fahrzeugachsprüfstand mit parallelkinematischem Lastsimulator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 404, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-23-1
- Bd. 405 FECHTELPETER, C.: Rahmenwerk zur Gestaltung des Technologietransfers in mittelständisch geprägten Innovationsclustern. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 405, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-24-8
- Bd. 406 OLEFF, C.: Proaktives Management von Anforderungsänderungen in der Entwicklung komplexer technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 406, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-25-5
- Bd. 407 JAVED, A. R.: Mixed-Signal Baseband Circuit Design for High Data Rate Wireless Communication in Bulk CMOS and SiGe BiCMOS Technologies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 407, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-26-2
- Bd. 408 DUMITRESCU, R., KOLDEWEY, C.: Daten-gestützte Projektplanung. Fachbuch. Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-27-9
- Bd. 409 PÖHLER, A.: Automatisierte dezentrale Produktionssteuerung für cyber-physische Produktionssysteme mit digitaler Repräsentation der Beschäftigten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 409, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-28-6
- Bd. 410 RÜDDENKLAU, N.: Hardware-in-the-Loop-Simulation von HD-Scheinwerfer-Steuergeräten zur Entwicklung von Lichtfunktionen in virtuellen Nachtfahrten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 410, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-29-3

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 411 BIEMELT, P.: Entwurf und Analyse modellprädiktiver Regelungsansätze zur Steigerung des Immersionsempfindens in interaktiven Fahrsimulationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 411, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-30-9
- Bd. 412 HAAKE, C.-J., MEYER AUF DER HEIDE, F., PLATZNER, M., WACHSMUTH, H., WEHRHEIM, H. (Eds.): On-The-Fly Computing - Individualized IT-Services in dynamic markets, Collaborative Research Centre 901 (2011 - 2023), Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 412, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-31-6
- Bd. 413 DUMITRESCU, R.; HÖLZLE, K. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 14./15. September 2023, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 413, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-32-3
- Bd. 414 ABUGHANNAM, S.: Low-power Direct-detection Wake-up Receiver at 2.44 GHz for Wireless Sensor Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 414, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-33-0
- Bd. 415 REINHOLD, J.: Systematik zur musterbasierten Transformation von Wertschöpfungssystemen für Smart Services. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 415, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-34-7
- Bd. 416 YANG, X.: Eine Methode zur Unterstützung von Entscheidungen bei der Entwicklung modularer Leichtbauprodukte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 416, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-35-4
- Bd. 417 GRÄLER, M.: Entwicklung adaptiver Einrichtungssysteme für Produktionsprozesse. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 417, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-36-1
- Bd. 418 RÖSMANN, D.: Menschenzentrierte Montageplanung und -steuerung durch fähigkeitsorientierte Aufgabenzuordnung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 418, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-37-8
- Bd. 419 BAHMANIAN, M.: Optoelectronic Phase-Locked Loop, Theory and Implementation. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 419, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-38-5
- Bd. 420 HEIHOFF-SCHWEDE, J.: Spezifikationstechnik zur Analyse, Gestaltung und Bewertung von Engineering-IT-Architekturen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 420, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-39-2
- Bd. 421 MEYER, M.: Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 421, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-40-8
- Bd. 422 MALENA, K.: Konzipierung, Analyse und Realumsetzung eines mehrstufigen modellprädiktiven Lichtsignalanlagenregelungssystems. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 422, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-41-5
- Bd. 423 GÖTTE, R.-S.: Online-Schätzung von Modellungenauigkeiten zur automatischen Modelladaption unter Beibehaltung einer physikalisch-technischen Interpretierbarkeit. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 423, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-42-2



Die Digitalisierung ist allgegenwärtig und führt zu einem fundamentalen Wandel in Gesellschaft und Industrie. Im industriellen Umfeld werden die damit verbundenen Veränderungen unter dem Schlagwort Industrie 4.0 (kurz: I4.0) zusammengefasst. Sie spiegeln sich sowohl in technischen als auch organisatorischen und sozialen Veränderungen wider. Unternehmen sind gezwungen, sich diesem Wandel zu stellen, ihn zu gestalten und vorteilhaft für das zukünftige Geschäft zu nutzen. Besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wird die „digitale Transformation“ aufgrund begrenzter Ressourcen zur Mammutaufgabe. Sie stehen vor der Frage, wie sie diese Aufgabe im Sinne eines evolutionären Wandels effizient planen und vollziehen sollen. Besonders die Formulierung eines Zielbildes sowie die Erarbeitung zeitlich abgestufter zielgerichteter Maßnahmen zur Erreichung der Zielposition bilden große Herausforderungen. Ziel der Arbeit ist daher eine Systematik zur Leistungsstufen-basierten Entwicklung von I4.0-Strategien. Hierzu wird zunächst eine I4.0-Vision formuliert. Mit Hilfe eines Reifegradmodells wird daraufhin die heutige Leistungsfähigkeit des Unternehmens im Kontext von I4.0 ermittelt. Mit Methoden der Vorausschau werden anschließend denkbare zukünftige Entwicklungen der Digitalisierung antizipiert. Daraus werden mittel- und langfristige Zielpositionen abgeleitet. Zur Erreichung der Zielpositionen wird eine I4.0-Strategie formuliert, die eine stufenweise Umsetzung ermöglicht.

Christoph Pierenkemper studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Maschinenbau an der Universität Paderborn. Von November 2016 bis November 2020 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Heinz Nixdorf Institut zunächst bei Prof. Gausemeier in der Fachgruppe Strategische Produktplanung und Systems Engineering und später in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering bei Prof. Dumitrescu tätig. In dieser Zeit leitete er zahlreiche Forschungs- und Industrieprojekte in der strategischen Produkt- und Unternehmensplanung sowie dem Innovationsmanagement. Seit Februar 2021 ist er bei der CP contech electronic GmbH, bei der er verschiedene Führungspositionen durchlaufen hat und heute als Leiter Supply Chain Management tätig ist.