

Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU

Entwicklung eines reifegradbasierten Referenzmodells zur Verbesserung der IT-Prozesse

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Arts in Business (MA)

Fachhochschule Vorarlberg
Business Process Management

Betreut von
Prof. (FH) Gunther Rothfuss, MSc

Vorgelegt von
Anita Kiczek, BA

Dornbirn, 07.01.2022

Widmung

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer, Herrn Professor Gunther Rothfuss, für seine Unterstützung auf dem sehr langen Weg von der Konzeption bis hin zur Erstellung meiner Masterarbeit.

Des Weiteren bedanke ich mich für die Zeit, die er sich immer für mich genommen hat, für sein Verständnis und für seine Geduld.

Kurzreferat

Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU. Entwicklung eines reifegradbasierten Referenzmodells zur Verbesserung der IT-Prozesse

Mit Industrie 4.0 kündigte sich in Unternehmen ein großer Wandel.¹ Dieser ist insbesondere im Bereich der Fertigung und Produktion spürbar. Von der vierten industriellen Revolution sollen Unternehmen profitieren, indem Prozesse digitalisiert und automatisiert, neue Technologien implementiert und die Wettbewerbsfähigkeit gesichert wird. Deswegen wird die Industrie 4.0 von vielen Unternehmen als Chance gesehen. Mit dem Einsatz von digitalen Technologien erhoffen sich Unternehmen, ihre Potenziale auszuschöpfen und sich Wettbewerbsvorteile zu sichern.²

Im Hinblick auf die Industrie 4.0 sind jedoch kleine und mittlere Unternehmen vor Herausforderungen gestellt. Die Gründe hierfür sind vielfältig und werden in der vorliegenden Masterarbeit beleuchtet.

Dies führt dazu, dass KMU bei dem technischen, digitalen Fortschritt im Rahmen der Industrie 4.0 hinterherhinken.³ Es fällt ihnen schwer, den eigenen Status quo zu ermitteln und richtige Entscheidungen zu treffen, um die Hürden der Industrie 4.0 erfolgreich zu meistern.⁴ Damit dies gelingt, empfiehlt sich zu analysieren, wo das jeweilige Unternehmen aktuell steht und wie es sich abheben möchte, um seine Entscheidungen gezielt auf die Transformation von Industrie 4.0 ausrichten zu können.⁵

Solche Orientierungshilfen, wie Referenz- oder Reifegradmodelle, die auf die Bedürfnisse der KMU eingehen und explizit auf ihre individuellen Anforderungen ausgerichtet sind, sind ein wichtiger Bestandteil der Masterarbeit.

In der vorliegenden Masterarbeit soll somit folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

Warum sind die IT-Prozesse besonders kritisch für KMU in der Industrie 4.0 und lässt sich ein unterstützendes, reifegradbasiertes Referenzmodell zur Verbesserung der IT-Prozesse entwickeln?

¹ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

² Vgl. Roth 2016b, S. 3.

³ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

⁴ Vgl. Roth 2016b, S. 13.

⁵ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1219.

Abstract

Industrial Internet of Things challenges for SMEs. Development of a maturity-based reference model to improve IT processes

With Industrial Internet of Things (IIoT) a major change has been announced in companies.⁶ This is particularly noticeable in the field of manufacturing and production. Companies should benefit from the fourth industrial revolution by digitizing and automating processes, implementing new technologies and ensuring competitiveness. Therefore, IIoT is seen by many companies as an opportunity. With the use of digital technologies, companies hope to fully exploit their potentials and gain competitive advantages.⁷

With regard to Industry 4.0, however, small and medium-sized companies are faced with challenges. There are multiple reasons for that which are examined in the present master's thesis.

This means that SMEs are lagging behind in terms of technical, digital progress in the context of Industry 4.0.⁸ It is difficult for them to determine their own status quo and to make the right decisions in order to successfully master the hurdles of Industry 4.0.⁹ In order to achieve this, it is advisable to analyze where the respective company currently stands and how it would like to stand out in order to be able to align its decisions specifically to the transformation of Industry 4.0.¹⁰

Orientation aids such as reference or maturity models that address the needs of SMEs and are explicitly geared towards their individual requirements are an important part of the master's thesis.

Therefore, the following research question should be answered in the present master's thesis:

Why are IT processes particularly critical for SMEs in Industry 4.0 and can a supporting, maturity-based reference model be developed to improve IT processes?

⁶ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

⁷ Vgl. Roth 2016b, S. 3.

⁸ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

⁹ Vgl. Roth 2016b, S. 13.

¹⁰ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1219.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Relevanz der Thematik	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
1.3 Forschungsfrage und Zielsetzung	2
1.4 Methodische Vorgehensweise	3
2. Theoretische Hintergründe	5
2.1 Einführung Industrie 4.0 und Internet der Dinge	5
2.2 Bestandteile und Handlungsfelder der Industrie 4.0	9
2.2.1 Digitalisierung	10
2.2.2 Cyber-physisches System (CPS)	11
2.2.3 Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS)	13
2.2.4 Technologieentwicklung	14
2.2.5 Die vertikale und horizontale Integration	15
3. Industrie 4.0 und KMU	19
3.1 Definition und Abgrenzung	19
3.2 Rolle der IT für KMU	23
3.2.1 Anforderungen an die IT und Problemfelder	23
3.2.2 IT-Management in KMU	28
3.3 Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU	31
3.3.1 Hemmnisse und Risiken bei der Einführung von Industrie 4.0	31
3.3.2 Finanzielle Herausforderungen	32
3.3.3 Die soziotechnischen Herausforderungen	33
3.3.4 Komplexität des Themas und Mittelstandsvorbehalt	36
3.3.5 Anforderungen an Datenschutz und IT-Sicherheit	39
3.3.6 Fehlende Fachkräfte	43
3.3.7 Globaler Wettbewerb	46
3.3.8 Mittelstand und Digitalisierung	49
4. Reifegradkonzepte für KMU	53
4.1 Einführung	53
4.2 Problemdefinition und Vorgehen	53
4.3 Anforderungen an ein Industrie-4.0-Reifegradmodell für KMU	55

4.4	Aktuelle Publikationen – Überblick	57
4.5	Analyse und Status quo	59
4.6	Evaluierung der Ergebnisse	79
5.	Zusammenfassung	85
5.1	Fazit	85
5.2	Ausblick	87
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang	99
	Eidesstattliche Erklärung	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der industriellen Produktion.....	7
Abbildung 2: Die vier Phasen der industriellen Revolution.....	9
Abbildung 3: Hype Cycle for Emerging Technologies	14
Abbildung 4: Herausforderungen von Industrie 4.0.....	15
Abbildung 5: Die vertikale und horizontale Integration	18
Abbildung 6: Quantitative Größenklassen nach EKAM.....	19
Abbildung 7: Typologie des Mittelstandes	20
Abbildung 8: Qualitative Abgrenzung von KMU.....	21
Abbildung 9: Qualitative Merkmale von KMU.....	22
Abbildung 10: Anforderungen an IT-Abteilungen in DACH-Unternehmen im Jahr 2021 ..	24
Abbildung 11: Rollen der IT (nach Kienbaum)	26
Abbildung 12: Industrie 4.0 - Umfrage zu Hemmnissen in Deutschland 2021	32
Abbildung 13: Projektzielgrößen - Magisches Dreieck.....	33
Abbildung 14: Industrie 4.0 als soziotechnisches System.....	36
Abbildung 15: Industrie 4.0 braucht qualifizierte Fachkräfte.....	45
Abbildung 16: Hauptergebnisse des DESI 2021	48
Abbildung 17: Ergebnisse des Global Competitiveness Index 4.0 2019	48
Abbildung 18: Hersteller wünschen sich eine neue Industriepolitik.....	49
Abbildung 19: Digitales Reifegradmodell – Attributbaum mit zwei Hauptdimensionen	63
Abbildung 20: Ableitung des digitalen Reifegrades anhand von "Wenn-Dann"-Regeln....	63
Abbildung 21: Aktuelle Reifegradmodelle vs. Anforderungen von KMU.....	68
Abbildung 22: Readiness-Modell zur Integration von IKT und CPS für KMU“	69
Abbildung 23: Das SM ³ E-Reifegradmodell	75
Abbildung 24: Reifegradmodell zur Industrie 4.0 Revolution.....	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aktuelle Publikationen - Überblick.....	58
Tabelle 2: Überblick über Digitalisierungsmaßnahmen.....	70
Tabelle 3: Reifegrade.....	72
Tabelle 4: Abgeleitete Dimensionen und Inhalte für ein Reifegradmodell für KMU	82
Tabelle 5: Zuordnung der Dimensionen und Schlagwörter auf Basis von den Studien ..	100
Tabelle 6: Hauptinhalte der ausgewählten Publikationen	105

Abkürzungsverzeichnis

Bitkom	<i>Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integration</i>
COBIT	<i>Control Objectives for Information and Related Technology</i>
CPPS	<i>Cyber-Physische Produktionssysteme</i>
CPS	<i>Cyber-Physische Systeme</i>
DACH	<i>Deutschland, Österreich, Schweiz</i>
DESI	<i>Digital Economy and Society Index</i>
DEX	<i>Decision Expert</i>
DS-GVO	<i>Datenschutz-Grundverordnung</i>
EDI	<i>Electronic Data Interchange</i>
EFAM	<i>Europäisches Forschungsfeld für Angewandte Mittelstandsforschung</i>
EKAM	<i>Europäisches Kompetenzzentrum für Angewandte Mittelstandsforschung</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EU28	<i>Achtundzwanzig Mitgliedstaaten der Europäischen Union</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
IFF	<i>Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF</i>
IfM	<i>Institut für Mittelstandsforschung</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IKT	<i>Informations- und Kommunikationstechnologien</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoTS	<i>Internet of Things and Services</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IT	<i>Informationstechnologie</i>
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure Library</i>
KI	<i>Künstliche Intelligenz</i>
KMU	<i>Kleine und mittlere Unternehmen</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
KRI	<i>Key Readiness Indicators</i>
M2M	<i>Machine to Machine (Maschine-zu-Maschine)</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
OT	<i>Operational Technology</i>
PSS	<i>Produkt-Service-Systeme</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SLA	<i>Service-Level-Agreement</i>
SM	<i>Smart Manufacturing</i>
SM ³ E	<i>Smart Manufacturing Maturity Model for small and medium-sized Enterprises</i>
SME	<i>Small and medium-sized companies</i>
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure e.V.</i>

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Relevanz der Thematik

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung der realen mit der digitalen Welt verändert das Alltagsleben der Menschen sowie die Märkte, Geschäftsbeziehungen und Wertschöpfungsketten drastisch. Die digitale Transformation – das heißt, die Integration und Implementierung der digitalen Technologien in die bestehende Geschäftswelt – wird einerseits als Chance für einen Wandel bestehender Geschäftsmodelle und die Generierung neuer Geschäftspotenziale angesehen. Andererseits stellt sie für die Unternehmen aber zugleich eine große Herausforderung dar, denn um ihre Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig zu sichern oder auszubauen, müssen sich Organisationen schnell den Zeichen der Zeit anpassen und auf die bevorstehenden Veränderungen reagieren.¹¹

Der Begriff Industrie 4.0 beschreibt die fortschreitende Revolution der Fertigungsindustrie auf der ganzen Welt und ist mit vielen Herausforderungen verbunden. Vor allem Großunternehmen haben diese schnell erkannt und beschäftigen sich intensiv mit der Einführung entsprechender Technologien. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) hinken dieser Thematik hinterher und verfügen oft nicht über ausreichend Mittel, um ihre Potenziale und Risiken bei der Einführung von Industrie 4.0 systematisch zu untersuchen. Da KMU allerdings in den meisten Ländern das Rückgrat der Wirtschaft bilden, ist es von großer Relevanz, die Herausforderungen der Industrie 4.0 speziell für KMU zu prüfen, um dadurch den Weg für die digitale Transformation des traditionellen Mittelstands in intelligente Fabriken ebnen zu können.¹²

Die Komplexität und die Bedeutung der IT innerhalb moderner Unternehmen nimmt immer mehr zu. Dies betrifft nicht nur Großunternehmen oder Konzerne, denn mittlerweile sind auch die Geschäftsprozesse von kleinen und mittelständischen Unternehmen so tief mit der Informatik verzahnt, dass auch diese nicht mehr ohne IT-Unterstützung bestehen können.¹³

Die Unternehmen müssen sich stetig neu erfinden. Dies bedeutet, dass die Informationstechnologie zukünftig der strategische Erfolgsfaktor sein wird. Die IT sorgt dafür, dass Prozesse weiterentwickelt und umgestaltet werden können. Damit dieses Unterfangen gelingt, ist es erforderlich, dass die Unternehmen und insbesondere die IT die Prozesse analysieren und transparent aufarbeiten.¹⁴

Digitalisierung ist ein herausforderndes Thema für den produzierenden Mittelstand. Neben der Verbesserung ihrer technologischen Basis müssen KMU dafür sorgen, ihr Geschäft aufrechtzuerhalten und ihre Produkte attraktiv zu machen, indem sie beispielsweise ihre Produkte mit Smart Services bündeln. Begrenzte Ressourcen und fehlendes Know-how, um die richtigen Technologien auszuwählen und attraktive Services anzubieten, sind nur einige Probleme, die KMU zu bewältigen haben. Wegen den daraus resultierenden hohen

¹¹ Roth 2016b, S. 3.

¹² Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

¹³ Mangiapane; Büchler 2015d, S. 3.

¹⁴ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 3.

Risiken vernachlässigen KMU die Chancen der Digitalisierung und verlieren ihre Wettbewerbsfähigkeit.¹⁵

Deswegen wird oft nach Orientierungshilfen gefragt. KMU benötigen ein Reifegradbewertungsmodell, das ihnen hilft, ihre Bereitschaft zur Umsetzung von Aspekten der Industrie 4.0 zu verstehen.¹⁶

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Masterthesis besteht aus fünf Kapiteln.

Im ersten Kapitel wird die Ausgangslage vorgestellt und auf die Relevanz der Thematik eingegangen.

Im zweiten Kapitel wird auf die theoretischen Hintergründe der Industrie 4.0 eingegangen. Neben den historischen Aspekten werden in diesem Kapitel die relevanten Bestandteile und Handlungsfelder erläutert.

Im Fokus des dritten Kapitels stehen kleine und mittlere Unternehmen im Kontext der Industrie 4.0. Dieses Kapitel geht auf die Definition und Abgrenzung der KMU ein. In diesem Zusammenhang werden hier die wesentlichen Aspekte der Industrie 4.0 und KMU beschrieben sowie die Rolle der IT für KMU hervorgehoben. Den Kern des dritten Kapitels stellen die Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU dar.

Im vierten Kapitel wird auf die aktuellen Reifegradkonzepte eingegangen. In diesem Kapitel wird die Problematik erläutert und ausgewählte, aktuelle, wissenschaftliche Publikationen zum Thema Reifegradmodelle bzw. -konzepte im Hinblick auf KMU näher untersucht. Der Kern dieses Kapitels bezieht sich auf die Ermittlung des Status quo. Die Ergebnisse werden anschließend evaluiert.

Als abrundendes Fazit fungiert das fünfte Kapitel, welches die Ergebnisse der Masterarbeit zusammenfasst, die Forschungsfrage beantwortet und einen Ausblick liefert.

1.3 Forschungsfrage und Zielsetzung

Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde folgende Forschungsfrage formuliert:

Warum sind die IT-Prozesse besonders kritisch für KMU in der Industrie 4.0 und lässt sich ein unterstützendes, reifegradbasiertes Referenzmodell zur Verbesserung der IT-Prozesse entwickeln?

Das Ziel der Masterarbeit besteht somit darin, die Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU herauszuarbeiten, den sich kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) stellen müssen. Es handelt sich dabei um Themen aus dem breiten Spektrum der Industrie 4.0 (die im eng-

¹⁵ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 81.

¹⁶ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 81.

lischen Sprachgebrauch unter Industrial Internet of Things zu finden ist), digitaler Transformation sowie Digitalisierung. Auch die Aspekte, die heutzutage IT für KMU darstellt, werden in diesem Kontext beleuchtet. Dies soll eine Antwort darauf geben, warum die IT-Prozesse besonders kritisch für KMU in der Industrie 4.0 sind.

Des Weiteren werden in dieser Masterarbeit diverse, aktuelle, reifegradbasierte Referenzmodelle bzw. aktuelle Konzepte herangezogen und analysiert, die KMU dabei unterstützen sollen, ihre IT-Prozesse im Kontext der Industrie 4.0, vor allem im Hinblick auf Digitalisierung und digitaler Transformation zu verbessern. Dies soll die Frage beantworten, ob sich ein unterstützendes, reifegradbasiertes Referenzmodell zur Verbesserung der IT-Prozesse entwickeln lässt.

1.4 Methodische Vorgehensweise

Um die Forschungsfrage zu beantworten und die Zielsetzung zu erfüllen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Literatursuche fand online statt. Dabei wurde das Angebot der Bibliothek der Fachhochschule Vorarlberg genutzt. Auf der Website der Fachhochschule Vorarlberg wurde der Zugriff auf E-Ressourcen zur Verfügung gestellt, wie beispielsweise SpringerLink und ScienceDirect Elsevier, welcher für die Literatursuche genutzt wurde. Auch verfügbare Online-Datenbanken von Google Scholar wurden verwendet.

Die Literatur wurde stufenweise analysiert.

Im ersten Schritt wurden die Kernthemen „Industrie 4.0“, sowie „digitale Transformation“ näher beleuchtet.

Im zweiten Schritt beschränkte sich die Literatursuche auf Themenbereiche, die explizit KMU betreffen. Dazu gehören, neben der Definition und Abgrenzung sowie Besonderheiten von KMU, vor allem Themen, die im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 stehen. Auf Grund der Literaturanalyse wurde zudem entschieden, auch auf die Rolle der IT einzugehen und ihren Zusammenhang in Bezug auf KMU zu erläutern.

Dies diene als Basis zur Herausarbeitung der Herausforderungen der Industrie 4.0, die den Kern der Masterarbeit darstellen.

Im dritten Schritt bezog sich die Literaturanalyse auf die Themen, die Reifegradmodelle betreffen. Es wurde zunächst geprüft, welche Standardrahmenwerke es in der Literatur gibt. Das Ziel dieser Recherche war, einen Überblick über diese Thematik zu erhalten. Deswegen werden sie in dieser Masterarbeit nicht behandelt. Die Autorin ist anhand von der Literaturanalyse zur Erkenntnis gekommen, dass Standardrahmenwerke auf Grund der KMU-Spezifika nicht ausreichend sind, um die Forschungsfrage zu beantworten.

Um einen methodischen und inhaltlichen Überblick über digitale Reifegradmodelle zu erhalten, wurden themenrelevante Reifegradmodelle bzw. Konzepte ausgewählt, die aktuell für KMU in der Literatur zu finden sind. Diese sollen dazu dienen, Erkenntnisse zur Bestimmung von Dimensionen, Kriterien und Reifegradstufen explizit für KMU zu evaluieren. Es werden zudem nur aktuelle, wissenschaftliche Publikationen in Betracht gezogen, die ab 2016 veröffentlicht wurden. Die zeitliche Abgrenzung wird damit begründet, dass das

Thema Digitalisierung und Industrie 4.0 einem kontinuierlichen Wandel und somit einer dynamischen Entwicklung unterliegt. Darüber hinaus sind KMU hinsichtlich dieser Thematik besonders. Deswegen wurde der Fokus nur auf aktuelle Erkenntnisse zu diesem Thema gesetzt.

2. Theoretische Hintergründe

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Themen in Bezug auf die Industrie 4.0 erläutert. Dieses Kapitel umfasst somit die theoretischen Hintergründe der Industrie 4.0 und beschreibt die relevanten Bestandteile und Handlungsfelder, die mit dieser Thematik einhergehen.

2.1 Einführung Industrie 4.0 und Internet der Dinge

Was die industrielle Produktion betrifft, unterlag diese immer einem ständigen Wandel und war unterschiedlichen Entwicklungsphasen unterworfen. Der Wandel war enorm stark, so dass man sogar von einer Revolution sprach.¹⁷ Die verschiedenen Stufen der industriellen Revolution werden nachfolgend kurz erläutert.

Die erste industrielle Revolution

Die sogenannte erste industrielle Revolution findet ihren Ursprung in den fünfziger Jahren des 18. Jahrhunderts.¹⁸ Sie geht zum Teil auf das Jahr 1770 zurück und vollzog sich zuerst in den Baumwollspinnereien und Webereien Mittelenglands. Die Vollendung der Dampfmaschine durch James Watt im Jahr 1782 gehörte zu dem größten Durchbruch. Dies führte dazu, dass Energie an beliebigen Orten bereitgestellt wurde, wovon die Menschheit stark profitierte, da sie sich unabhängig von den Kräften der Natur machte. Vereinfacht gesagt, handelt es sich bei der ersten industriellen Revolution um den Übergang von der reinen Handarbeit zur maschinellen Produktion.¹⁹ Sie ermöglichte die erste wirkliche Industrialisierung in der Textil-, Eisen- und Stahlindustrie.²⁰ Die erste industrielle Revolution, die sich durch die Einführung mechanischer Maschinen auszeichnete, gilt als die Voraussetzung für die industrielle Massenproduktion.²¹

Die zweite industrielle Revolution

Die zweite industrielle Revolution zeichnet sich durch die industrielle, arbeitsteilige Massenproduktion aus. Dabei spielte der Einsatz von Fließ- und Förderbändern sowie die elektrische Energie ab dem Jahr 1870 eine entscheidende Rolle.²² Die zweite industrielle Revolution charakterisiert eine starke Mechanisierung und Elektrifizierung kombiniert mit einer ausgeprägten Rationalisierung. Dies ermöglichte ein erhebliches Wachstum und damit die Versorgung der entstehenden Massenmärkte. Wesentliche Merkmale der durch Taylor geprägten Rationalisierung dieser Epoche waren die Arbeitsteilung, die Standardisierung, die Präzisionsfertigung sowie die Fließfertigung; Henry Ford wandte diese neue Methodik auf die Produktion des T-Modells an und erzielte damit einen bahnbrechenden Erfolg in der Automobilherstellung. Die Elektrizität förderte stark die Dezentralisierung der mechanischen Systeme.²³

¹⁷ Vgl. Gausemeier; Plass 2014a, S. 3.

¹⁸ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 19.

¹⁹ Vgl. Gausemeier; Plass 2014a, S. 3.

²⁰ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 19.

²¹ Vgl. Maier; Engels; Steffen 2020, S. 4.

²² Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 19.

²³ Gausemeier; Plass 2014a, S. 4.

Die dritte industrielle Revolution

Die dritte industrielle Revolution war durch das deutsche Wirtschaftswunder, Anfang der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts, getrieben. Diese zeichnete sich durch den Einsatz von Elektronik sowie der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) aus. Das Ziel der dritten industriellen Revolution war, die Produktion zu automatisieren.²⁴

Bei der dritten industriellen Revolution, deren Beginn etwa Anfang der 1970er-Jahre verortet wird, trage vor allem die IT zur Zunahme der Automatisierung in der Produktion bei.²⁵ Die dritte industrielle Revolution wird auch als die erste Informationsrevolution bezeichnet. In dieser Stufe wurden die Entwicklung und Verbreitung des Computers bzw. Mikroprozessors vorangetrieben. Die konventionell automatisierten mechanischen Systeme wurden durch numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen, wie beispielsweise NC-Maschinen oder Industrierobotern, verdrängt. Im Vordergrund standen dabei eine hohe Produktivität und Flexibilität der Systeme, sodass die Automatisierung flexibler gestaltet werden konnte.²⁶

Zweite Informationsrevolution – Industrie 4.0 und Internet der Dinge

Zum ersten Mal wurde der Begriff Industrie 4.0 im Jahr 2011 auf der Hannover-Messe verwendet. Es ist ein Zukunftsprojekt der Bundesregierung. Dieser Begriff umfasst die Ideen und Ansätze einer intelligenten Fabrik, die den Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologie in der Fertigung vorsieht, um die immer weiter ansteigende Komplexität in der Produktion zu vereinfachen bzw. diese beherrschbar zu machen. Auch der Einsatz der sogenannten intelligenten Produkte, die die einzelnen Schritte der Produktionsprozesse kennen, soll zur Selbstoptimierung der Maschinen führen und ihre Störanfälligkeit verringern. Der Kern einer intelligenten Fabrik besteht aus Menschen, Maschine und Ressourcen, die über das Internet der Dinge und Dienste miteinander kommunizieren und interagieren. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf eine Effizienzsteigerung in der Produktion.²⁷

Heutzutage ist ein realwirtschaftlicher Umbruch zu beobachten, welcher vielfach als revolutionär eingestuft wird. Durch den Einfluss der Digitalisierung verändern sich die Geschäftsmodelle, Produkte und Leistungen. Auch die Prozesse in den Unternehmen unterliegen einem großen Wandel. Zu den zentralen Schlagworten gehören in diesem Zusammenhang z.B. autonom fahrende Autos, miteinander kommunizierende Maschinen, sich selbst steuernde cyber-physische Systeme, Smart Factory, Big Data und das Internet der Dinge. Industrie 4.0 hat sich somit als Sammelbegriff hierfür etabliert.²⁸

Die zweite Informationsrevolution ist die aktuelle Phase, in der sich ein Wandel von den nationalen Industriegesellschaften zur globalen Informationsgesellschaft vollzieht. Hier eröffnen sich neue Perspektiven. Es entwickelt sich ein neues Verständnis der Produktion, die als komplexes informationsverarbeitendes System gesehen wird. Hier ist die Informations- und Kommunikationstechnik von großer Relevanz. Die IKT durchdringt inzwischen

²⁴ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 19.

²⁵ Vgl. Maier; Engels; Steffen 2020a, S. 5.

²⁶ Vgl. Gausemeier; Plass 2014a, S. 4.

²⁷ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 20.

²⁸ Vgl. Paul 2019, S. 683.

sämtliche Lebensbereiche und unterstützt bereichs- und unternehmensübergreifende Leistungserstellungsprozesse.²⁹

Vor diesem Hintergrund werden Geräte und Systeme unserer realen Umgebung, die durch eingebettete Software gesteuert werden, zunehmend in das weltumspannende Kommunikationsnetz integriert, wofür der Begriff „Internet der Dinge“ steht.³⁰

Die Industrie 4.0 zeichnet sich somit durch die Integration interner und externer StakeholderInnen in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse aus und trägt zur Entstehung von neuen Geschäftsmodellen bei. Produkte werden mit hochwertigen Dienstleistungen verknüpft und Produktionssysteme über das Internet vernetzt.³¹

Die Abbildung 1 stellt die Entwicklung der industriellen Produktion dar.

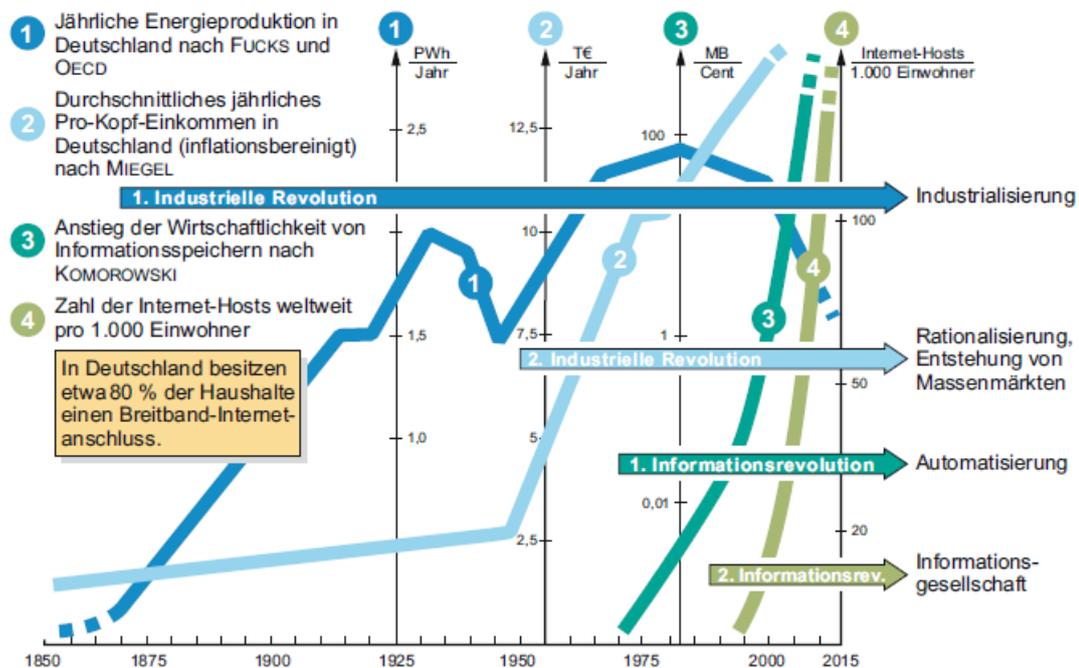


Abbildung 1: Entwicklung der industriellen Produktion³²

Reale Welt und virtuelle Welt wachsen offensichtlich zusammen, was durch den Begriff „Cyber-Physical Systems“ zum Ausdruck kommt.³³ Dies führt dazu, dass neue Produktionsmethoden und -prozesse denkbar sind. Es handelt sich bei diesem neuen Ansatz darum, dass Maschinen und alle Systeme untereinander kommunizieren. Im Rahmen von Industrie 4.0 sind zudem alle Systeme untereinander intelligent vernetzt und sind sogar in der Lage, sich mit den zu fertigenden Produkten Informationen in Echtzeit auszutauschen.³⁴

Die Maschine denkt mit und bemerkt selbständig, wenn bei bestimmten Produktionsgütern Nachschub benötigt wird. Den Bedarf meldet sie selbstständig an weitere Systeme, die dann automatisiert die Bestellung auslösen. Das Prinzip einer zunehmenden intelligenten

²⁹ Vgl. Gausemeier; Plass 2014a, S. 4.

³⁰ Gausemeier; Plass 2014, S. 4.

³¹ Vgl. Siepman; Graef 2016, S. 20.

³² Gausemeier; Plass 2014a, S. 3.

³³ Gausemeier; Plass 2014, S. 4.

³⁴ Vgl. Soder 2017, S. 15.

Vernetzung bringt erhebliche Kosten-, Zeit und Effizienzvorteile für die Unternehmen, die diesen Weg konsequent verfolgen.³⁵

Die Grundidee, die Produktion IT-technisch zu vernetzen ist nicht neu, denn die ersten Ansätze gab es bereits in den 80er-Jahren mit dem Gedanken des Computer Integrated Manufacturing (CIM), zu Deutsch „computerintegrierte Produktion“ bzw. „computerintegrierte Fertigung“.³⁶ Über die Einführung der sogenannten „Lean Production“ in den neunziger Jahren entwickelte sich das CIM hin zur heutigen Idee der Industrie 4.0. Der CIM-Ansatz sah eine menschenarme, automatisierte und computerintegrierte Produktion vor, in welcher der Faktor Mensch schlichtweg ausgegrenzt wurde.³⁷

Trotzdem ist dieser Ansatz gescheitert, denn der technologische Fortschritt war zu dem Zeitpunkt einfach nicht vorhanden. Das Cloud Computing, Big Data, das Internet der Dinge und Dienste sowie Standards zur herstellerübergreifenden Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M-Kommunikation) waren noch unbekannt. Geeignete IT-Infrastrukturen, Datensysteme und Datenübertragungstechniken konnten nicht bereitgestellt werden.³⁸

Der weitere, ausschlaggebende Grund besteht darin, dass das CIM nicht in der Lage war, die Komplexität der Systeme zum damaligen Zeitpunkt zu bewältigen und konnte es somit nicht umgesetzt werden. Außerdem war die Sensorik, die für die Kommunikation sowie zur Datenerhebung und -verarbeitung benötigt wurde, auf dem Markt zum Teil zwar vorhanden, aber nicht zu rentablen Preisen zu erwerben.³⁹

Zwei Trends waren ursprünglich zu beobachten, wenn es sich um das Thema Industrie 4.0 handelt. Einerseits ging es um die herausragende Bedeutung der industriellen Produktion für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Andererseits gab es einen Trend der fortschreitenden Miniaturisierung und Integration von Computerchips.⁴⁰

Das Internet der Dinge und Dienste schließt den Medienbruch zwischen dinglicher und virtueller Welt und ermöglicht das Anbieten von Mehrwertdiensten auf der Basis eines aktuellen und umfassenden Abbilds der Realität. Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 wird zum Aufruf an die deutsche Wirtschaft, kreativ auf die Suche nach Ansätzen zu gehen und die sich eröffnenden Möglichkeiten als Standortvorteil für die Produktion in Deutschland zu nutzen.⁴¹

Die Metapher „Internet of Things“ erweitert das klassische Internet, das auf die rein virtuelle Welt beschränkt ist, um die Vernetzung von und mit Alltagsgegenständen. Diese können ihre physischen Kontextinformationen, wie z. B. Ort, Zustand, Historie, etc. als Information im Internet zur Verfügung stellen, womit die Trennung von dinglicher und virtueller Welt weitgehend aufgehoben wird.⁴² Kernidee ist dabei, die dingliche Welt und deren digitaler Modelle in Rechnern zu verschmelzen. Physische Gegenstände sind mit Sensoren und

³⁵ Soder 2017, S. 15.

³⁶ Vgl. Soder 2017, S. 4.

³⁷ Siepmann; Graef 2016, S. 20.

³⁸ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 21.

³⁹ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 21.

⁴⁰ Vgl. Schlick u.a. 2017, S. 3.

⁴¹ Schlick u.a. 2017, S. 4.

⁴² Schlick u.a. 2017, S. 4.

Rechenkernen ausgestattet. Sie können somit zum bestimmten Zeitpunkt die Informationen über sich selbst und ihre Umgebung an andere IT-Systeme weitergeben.⁴³

Die Abbildung 2 stellt die vier Phasen der industriellen Revolution dar.

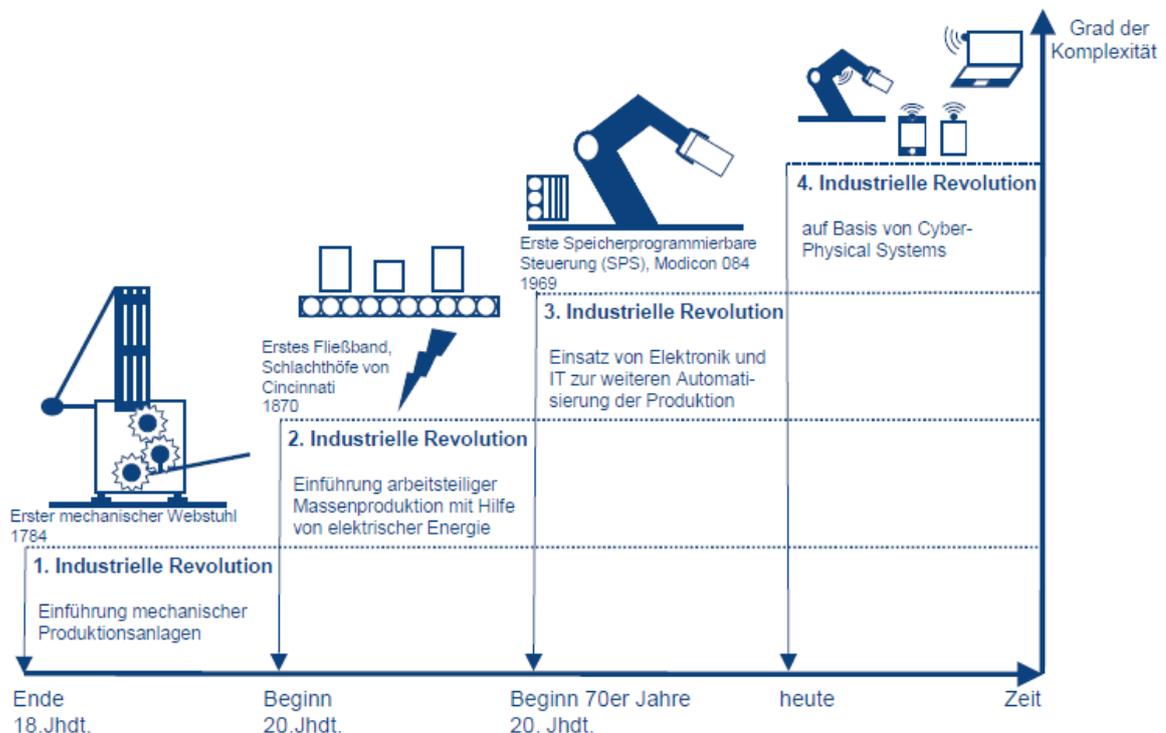


Abbildung 2: Die vier Phasen der industriellen Revolution⁴⁴

2.2 Bestandteile und Handlungsfelder der Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird auf die grundlegenden Komponenten der Industrie 4.0 eingegangen. Das Thema der vierten industriellen Revolution, besser bekannt als „Industrie 4.0“, erweckt vor allem in Deutschland aktuell sehr großes öffentliches Interesse. Es finden regelmäßig Tagungen dazu statt und es werden Projektgruppen und Kooperationen gebildet, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzen. Es wird eine Vielzahl an Artikeln, Fachberichten und Interviews zu diesem Thema veröffentlicht.⁴⁵

Trotz intensiver Forschungsarbeiten gibt es noch immer keine einheitlichen Standards oder konkrete Konzepte zur Umsetzung und Einführung von Industrie 4.0. Deshalb beschäftigt sich aktuell eine Großzahl deutscher Unternehmen noch nicht intensiv mit der Thematik und den vorhandenen Problemstellungen.⁴⁶

⁴³ Vgl. Schlick u.a. 2017, S. 4.

⁴⁴ Becker; Ulrich; Botzkowski 2017b, S. 8.

⁴⁵ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 19.

⁴⁶ Siepmann; Graef 2016, S. 19.

2.2.1 Digitalisierung

Die Herausforderungen der vierten industriellen Revolution sind groß und haben es mit Veränderungen zu tun, wenn Produkte und Produktionsanlagen künftig über das Internet und andere Netze miteinander kommunizieren. Dabei gehört die Digitalisierung aller industriellen Prozesse zu der wichtigsten Veränderung und Voraussetzung für dieses „Internet der Dinge und Dienste“: von der Produktentwicklung über Produktionsplanung, das Engineering der Produktionsanlagen und der Produktion, über Fertigung und Montage bis hin zu den Services.⁴⁷

Die Digitalisierung basiert dabei auf drei wesentlichen Treibern. Während die Fähigkeit physische Informationen und Daten in Form von Binärzeichen bzw. -codes auszudrücken die erste Grundlage der Digitalisierung darstellt, ist der sich weiterentwickelnde technologische Fortschritt die zweite Basis der Digitalisierung. Des Weiteren wird durch die dritte Basis – der IKT – im Zuge der Digitalisierung eine Verknüpfung der technischen und wirtschaftlichen Ebene hergestellt.⁴⁸

Industrie 4.0 bezeichnet 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. Damit rückt für Unternehmen die betriebliche Leistungserstellung wieder verstärkt in den Mittelpunkt betriebswirtschaftlicher Betrachtungen. Die Gestaltungsoptionen für Unternehmen lassen sich grundsätzlich in zwei Richtungen hin unterscheiden.⁴⁹

Einerseits können Unternehmen im Rahmen von Industrie 4.0 versuchen, die sich aus den technischen Möglichkeiten von Automatisierung, Digitalisierung und einer intelligenten Vernetzung industrieller Infrastruktur ergebenden Potenziale betriebswirtschaftlich zu nutzen und durch eine Steigerung der Prozesseffizienz an Wettbewerbsfähigkeit zuzulegen. Andererseits können Unternehmen im Kontext der Industrie 4.0 versuchen, intelligente und vernetzte Produkte und damit verbundene Dienstleistungen bis hin zu innovativen Geschäftsmodellen zu entwickeln.⁵⁰

Die Kernidee dieses Vorgehens beruht auf dem Konzept digitaler Ubiquität, d. h. der grenzenlosen Möglichkeit zur digitalen Vernetzung von Objekten (Internet of Things). Das damit verbundene wettbewerbsrelevante Paradigma ist nicht primär die Verdrängung bestehender Lösungen, sondern die Digitalisierung, Vernetzung und Neukonfiguration bestehender Produkte und Dienste. Hybride Ansätze, die sowohl auf digital vernetzten Wertschöpfungsprozessen als auch digital vernetzten Produkten basieren, können hingegen auch disruptives Potenzial entwickeln.⁵¹

Industrie 4.0 hat sich in den letzten Jahren zum Dauerthema in Wirtschaft und Politik entwickelt. Die Digitalisierung der Produktion soll unter Einsatz modernster Informations- und

⁴⁷ Vgl. Wegener 2017, S. 394.

⁴⁸ Becker; Ulrich; Botzkowski 2017a, S. 12.

⁴⁹ Vgl. Obermaier 2019a, S. 42.

⁵⁰ Vgl. Obermaier 2019, S. 43.

⁵¹ Obermaier 2019, S. 43.

Kommunikationstechnik dazu beitragen, Wertschöpfungsprozesse flexibler und effizienter zu gestalten.⁵²

Die Digitalisierung ist nahezu in allen Bereichen zu finden, sei es bei der Datenverwaltung auf der Managementebene, bei der Gestaltung von Prozessen auf der Steuerungsebene oder bei der Fertigung von Produkten auf der Feldebene.⁵³ Die Vernetzung sämtlicher Objekte innerhalb einer Fabrik lässt eine zunehmende Entwicklung erkennen – weg von der klassischen hierarchischen Automatisierungs-Pyramide – hin zu einer deutlich offeneren Systemwelt. Die digitale Transformation ist als Struktur- wie auch Kulturwandel in der gesamten Organisation zu verstehen.⁵⁴

2.2.2 Cyber-physisches System (CPS)

Die sogenannten cyber-physischen Systeme, die mittels Sensoren ihre Umgebung erfassen, mit Aktoren auf sie einwirken und untereinander vernetzt sind, sind fester Bestandteil der Vision „Industrie 4.0“.⁵⁵

CPS sind Basis und kennzeichnend für Smart Factories (intelligente Fabriken), die in Form von vernetzten, physikalischen Systemen durch eine vorrangig durch Software geprägte, weitläufige und verteilte Rechner- und Netzinfrastruktur die automatisierte Steuerung und Kontrolle verschiedenster Prozesse übernehmen.⁵⁶ Den zur Steuerung und Kontrolle notwendigen Endgeräten kommt dabei im Rahmen der Interaktionen zwischen real-weltlichen Entitäten, wie z. B. Maschinen, IT-Diensten oder Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, eine besondere Bedeutung zu.⁵⁷

CPS werden auch als vernetzte Produkte und Entscheidungsprozesse bezeichnet. Sie sind in der Lage, Wertschöpfungsnetzwerke nahezu in Echtzeit zu steuern. Mit Kommunikationstechnik kann prinzipiell alles ausgestattet und über das „Internet der Dinge“ (IoT: Internet of Things) vernetzt werden. Die Vernetzung und Kommunikation tragen dazu bei, dass bereits seit vielen Jahren riesige Datenmengen im Netz entstehen, mit denen ganz neue Dienste erbracht werden können.⁵⁸

Die Einführung von Cyber-physischen Systemen bringt ein breites Spektrum an Chancen mit sich. Der hohe Grad der Vernetzung sowie die große Menge relevanter Informationen erhöhen die Transparenz aller Abläufe in Echtzeit und ermöglichen es dem Management, bessere und schnellere Entscheidungen zu treffen. Vorgänge lassen sich mittels integrierter Komponenten genauestens steuern und sorgen für eine gesteigerte Prozesseffizienz und -qualität über das gesamte Netzwerk hinweg.⁵⁹ CPS ermöglichen es, die durch Änderungen im Umfeld steigende Komplexität in der Fertigung zu beherrschen, indem Prozesse hinreichend strukturiert und dokumentiert werden.⁶⁰

⁵² Pistorius 2020a, S. 1.

⁵³ Vgl. Pistorius 2020c, S. 75.

⁵⁴ Pistorius 2020c, S. 75.

⁵⁵ Seibold; Furmans 2017, S. 3.

⁵⁶ Vgl. Engels; Teetz 2020, S. 226.

⁵⁷ Engels; Teetz 2020, S. 226.

⁵⁸ Vgl. Plass 2020, S. 60.

⁵⁹ Pistorius 2020b, S. 11.

⁶⁰ Pistorius 2020b, S. 11.

CPS umfassen drei wesentliche Bereiche, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M)

Dieser Begriff bezeichnet den automatisierten Informationsaustausch von Endgeräten (z.B. Maschinen, Fahrzeuge, Workstations etc.) mit jeweils anderen Endgeräten eines Systems oder mit einer zentralen Applikation bzw. Leitstelle mittels innovativer Informationstechnologien. Dabei wird neben lokalen (Firmen-)Netzwerken auch vermehrt auf das Internet als Kommunikationsnetzwerk zum Informationsaustausch gesetzt. Wichtig ist hier die Möglichkeit des bilateralen Informationsaustausches, sodass M2M über reine Statusüberwachung von Maschinen durch eine Leitstelle hinausgehen kann.⁶¹

Internet of Things (IoT)

Dieser Begriff steht für eine Verlängerung des Internets in die reale (physische) Welt mit dem Ziel, dass nicht mehr der Computer bzw. das Internet selbst aktiv vom Menschen genutzt werden, sondern vielmehr der Mensch unmerklich in seinen Tätigkeiten durch Computer bzw. das Internet unterstützt wird und so einen Mehrwert erhält. Bei solchen Computern handelt es sich oftmals um sog. eingebettete Systeme, welche die üblichen Funktionen von Objekten (things) mit dem Internet verbinden und ein Abbild des Objekts im Internet erschafft. Die Objekte werden somit zu sog. Smart Devices und selbst ein Teil des Internets. Eine zentrale Rolle solcher Smart Devices spielen dabei auch Sensoren und Aktoren, welche laufend Daten aufzeichnen und Befehle ausführen. Eine wichtige Technologie hierfür sind Radio Frequency Identification (RFID) Chips, welche der eindeutigen Identifikation und Lokalisierung von Objekten dienen.⁶²

Internet of Things (Internet der Dinge) bedeutet die allgemeine Vernetzung von Gegenständen des Alltags mit dem Internet. Die Gegenstände sind in der Lage, selbstständig über das Internet zu kommunizieren und so verschiedene Aufgaben für den Besitzer (teil-)automatisiert zu erledigen. Was den Anwendungsbereich betrifft, erstreckt er sich dabei von einer allgemeinen Informationsversorgung über autonome Bestellungen bis hin zu Warn- und Notfallfunktionen. IoT ist ein immer stärker werdender Trend zur Konnektivität von Alltagsgegenständen.⁶³

Hervorzuheben ist dabei die Tatsache, dass aktuell der Umgang mit der anfallenden Masse an Daten zu der größten Herausforderung des Internets der Dinge gehört. Wenn IoT zielgerichtet eingesetzt wird, indem neue Analyseverfahren für große Datenmengen zum Einsatz kommen, werden schnellere und bessere geschäftliche Entscheidungen ermöglicht. Hierzu müssen interne und externe Daten in Echtzeit miteinander kombiniert und fehlende, falsche oder doppeldeutige Daten neutralisiert werden.⁶⁴

Dafür werden Data-Science-Spezialisten benötigt, die aus großen Datenmengen die benötigten Informationen generieren und Handlungsempfehlungen ableiten. Mit den Daten lassen sich Abweichungen analysieren und Wege finden, wie Unternehmen ihre wirtschaftli-

⁶¹ Kollmann 2020, S. 152.

⁶² Kollmann 2020, S. 152.

⁶³ Vgl. Kollmann; Schmidt 2020, S. 965.

⁶⁴ Vgl. Foth 2016a, S. 42.

chen Ziele schneller und kostengünstiger erreichen oder ihre Wettbewerbsposition verbessern können. Sie helfen, Kunden besser zu verstehen und Produkte und Services schneller an aktuelle Trends anzupassen.⁶⁵

Cloud Computing

Die dezentrale Nutzung von M2M und IoT, oftmals über physische Distanzen hinweg, wird erst durch innovative Informationstechnologie zum Datenaustausch und zur Datenspeicherung ermöglicht. Neben lokalen Netzwerken und Speichern liefert im Zusammenhang mit diesen Entwicklungen das Cloud Computing eine innovative Möglichkeit, die Maschinen und Objekte zu verbinden, deren Daten zu speichern und ohne lokale oder physische Beschränkungen zugänglich zu machen.⁶⁶ Anstelle IT-Infrastrukturen auf lokalen Rechnern zu installieren und Daten und Programme lokal zu speichern, werden diese in der sogenannten „Cloud“ bereitgestellt, ausgeführt und gespeichert. Der Zugriff auf die benötigten Systeme und Daten erfolgt über das Internet.⁶⁷

Dank Cloud Computing werden ortsunabhängige Zugriffe auf benötigte Daten ermöglicht. Weitere Vorteile der Cloud sind die bedarfsorientierte, dynamische Anpassung der Rechenleistung und eine Abrechnung auf Basis der tatsächlich verbrauchten Ressourcen (Rechenleistung, Speicherplatz und Datentransfer). Zudem lässt sich die Effizienz übergreifender Tätigkeiten zwischen verschiedenen Unternehmen steigern, indem gemeinsam auf Daten und Algorithmen aus der Cloud zugegriffen wird.⁶⁸

Die cyber-physischen Systeme spielen eine zentrale Rolle. Diese ermöglichen eine dezentrale, intelligente Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure. Das verwendete Adjektiv „intelligent“ deutet an, dass der Einsatz und die Kombination der Technologien primär dem Zweck besserer Entscheidungen dienen. Hierbei spielen Analyse- und Entscheidungsunterstützungssysteme, die auf sog. Big-Data-Analytics und Künstlicher Intelligenz beruhen, eine besonders herausgehobene Rolle.⁶⁹

2.2.3 Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS)

Ein cyber-physisches Produktionssystem beschreibt die Gesamtheit einer Produktionsanlage im Industrie-4.0-Ansatz. Es besteht zum einen aus Produktionssystemen, die über Sensoren und Aktoren Daten an Steuerungssysteme weiterleiten, die diese auswerten und an die Produktion zurückgeben. Zum anderen beinhaltet ein CPPS intelligente Produktionsmittel, welche Informationen zu ihrem individuellen Produktionsprozess besitzen. Die Einbindung des Menschen in den Steuerungsprozess wird durch eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht. Daten und Dienste sind über das Internet der Dinge und Dienste sowie Cloud-Dienste weltweit nutzbar.⁷⁰

⁶⁵ Foth 2016a, S. 42.

⁶⁶ Kollmann 2020, S. 152–153.

⁶⁷ Hofmann 2020a, S. 142.

⁶⁸ Hofmann 2020a, S. 142.

⁶⁹ Obermaier 2019a, S. 22.

⁷⁰ Siepman; Graef 2016, S. 42.

Im Industrie-4.0-Ansatz erhalten alle Objekte eines Produktionsverbundes über das Internet zukünftig eine neue Identität. Sämtliche produktionsrelevante Systeme werden über herstellerunabhängige Schnittstellen miteinander verschaltet, damit diese integriert, virtuell optimiert und getestet werden können.⁷¹

Die Umsetzung eines cyber-physischen Produktionssystems in einem Unternehmen benötigt neben den technologischen Grundkomponenten auch visionäre Denkweisen auf Managementebene. Industrie 4.0 ist nicht nur die technologische Entwicklung der Produktion, sondern vielmehr eine Zukunftsvision für das gesamte Unternehmen, für deren Erreichung Strategieberichtigungen vorgenommen sowie neue Geschäftsmodelle und -prozesse entwickelt werden müssen.⁷²

2.2.4 Technologieentwicklung

Im Kontext von Industrie 4.0 ist besonders der „Hype Cycle for Emerging Technologies“ von Interesse, da dort nahezu alle für Industrie 4.0 relevanten Technologien behandelt werden. Um eine Einschätzung darüber zu erhalten, wann eine Industrie 4.0-relevante Technologie das „Plateau der Produktivität“ erreichen wird, wurden jeweils der aktuelle Grad der Aufmerksamkeit anhand des Hype Cycle von Juni 2014 analysiert und entsprechende Aussagen getroffen.⁷³ Die Abbildung 3 stellt den Hype Cycle dar.



Abbildung 3: Hype Cycle for Emerging Technologies⁷⁴

⁷¹ Siepmann; Graef 2016, S. 42.

⁷² Siepmann; Graef 2016, S. 24.

⁷³ Roth; Siepmann 2016, S. 252.

⁷⁴ Roth; Siepmann 2016, S. 252.

Technologien, wie Cloud Computing, Virtual Reality und Enterprise 3D-Printing, welche zwar für die Umsetzung von Industrie 4.0 notwendig, aber auch anderweitig einsetzbar sind, werden nach Gartner's Hype Cycle innerhalb der nächsten Jahre auf dem „Plateau der Produktivität“ erwartet. Andere Industrie 4.0-relevante Lösungen wie Big Data, Augmented Reality, das Internet of Things sowie Machine-to-Machine Communication Services, welche weniger für sich selbst stehen, werden erst einige Jahre später in der produktiven Phase gesehen.⁷⁵

Die Abbildung 4 veranschaulicht die grundlegenden Herausforderungen, die mit der Industrie 4.0 einhergehen.

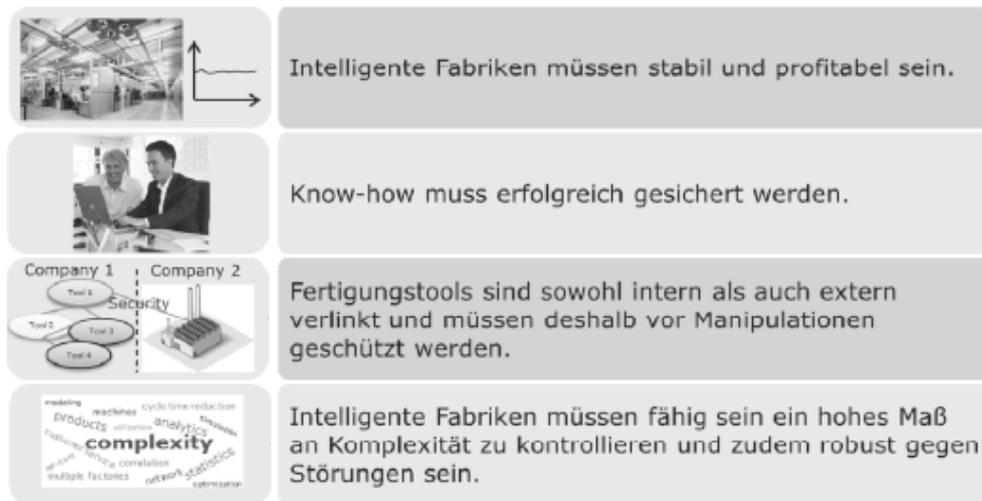


Abbildung 4: Herausforderungen von Industrie 4.0⁷⁶

Eine der größten Herausforderung ist es, sichere und robuste Produktionsnetzwerke zu gewährleisten. Dabei spielt nicht nur die Beherrschung von komplexen IT-Systemen und Prozessen eine erhebliche Rolle, sondern auch der Schutz firmeninterner Daten. Das Produktionsnetzwerk vor Sabotage und Hackerangriffen zu schützen, sind wichtige Aspekte, um das Know-how erfolgreich zu sichern und um die Stabilität der Fabrik zu gewährleisten. Nur wenn dies gelingt, können die Potenziale von Industrie 4.0 erfolgreich genutzt werden.⁷⁷

2.2.5 Die vertikale und horizontale Integration

Im Rahmen von Industrie 4.0 spricht man von einer vertikalen und horizontalen Verknüpfung der CPS zu einer dynamischen, kostenoptimierten und flexiblen Produktion.⁷⁸

Die vertikale Integration der Produktion zielt auf die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen zu einer durchgängigen Lösung in der Produktions- und Automatisierungstechnik ab. Die horizontale Integration hingegen bedeutet die Integration verschiedener Prozessschritte zwischen denen ein Material-, Energie- und

⁷⁵ Roth; Siepmann 2016, S. 254.

⁷⁶ Kaufmann; Forstner 2017, S. 132.

⁷⁷ Kaufmann; Forstner 2017, S. 132.

⁷⁸ Pistorius 2020c, S. 10.

Informationsfluss verläuft. Dies gilt sowohl innerhalb eines Unternehmens, als auch über mehrere Unternehmen hinweg.⁷⁹

Jedes Unternehmen kann, bevor es die Einführung einer vernetzten Produktion im Sinne von Industrie 4.0 in Angriff nimmt, die Produktion auf den Stand von Industrie 3.x vorantreiben, indem eine IT-Durchdringung geschaffen und der Automatisierungsgrad erhöht wird. Dies steigert die Produktivität und stellt die operative Exzellenz der Prozesse im Unternehmen sicher.⁸⁰

Nach Plass ist das Ziel von Industrie 4.0, die Produktions- bzw. Wertschöpfungsketten/-netzwerke zu vernetzen. Dabei sollen individualisierte Produkte zu den ökonomischen Konditionen eines Massenherstellers realisiert werden können. Plass vertritt die Ansicht, dass dadurch die Produktion hochflexibel, hochproduktiv, ressourcenschonend und urbanverträglich wird. Zudem sollen Wertschöpfungsprozesse bedarfsorientiert in Echtzeit optimiert werden sollen. Außerdem sollen laut Plass Kunden und Lieferanten durch den Einsatz von Internettechnologien und die dadurch entstehende Vernetzung in die Wertschöpfungsprozesse eingebunden werden können. Um die Vernetzung der Produktion zu erreichen und dadurch wichtige Wettbewerbsvorteile zu sichern, müssen in den Unternehmen spezielle Strukturen geschaffen werden.⁸¹

Eine effiziente Datenerhebung und -verarbeitung durch ein cyber-physisches Produktionssystem (CPPS) kann nur durch eine erfolgreiche vertikale Integration Industrie 4.0-relevanter Systeme in die Systemlandschaft eines Unternehmens gewährleistet werden. Vertikale Integration bedeutet hierbei, dass alle unternehmensinternen Systeme in eine Hierarchie eingeordnet und Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen den entstehenden Hierarchieebenen aufgebaut werden. Dadurch entsteht ein einheitliches und durchgängiges System, in welchem sich die Richtung von Datenflüssen an der Hierarchieordnung orientiert. Explizit wird dieses Verfahren durch das Modell der Automatisierungspyramide beschrieben.⁸²

Unter vertikaler Integration versteht man in der Produktions- und Automatisierungstechnik sowie IT die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen (beispielsweise die Aktor- und Sensorebene, Steuerungsebene, Produktionsleitebene, Manufacturing and Execution Ebene, Unternehmensplanungsebene) zu einer durchgängigen Lösung.⁸³ Die vertikale Integration fokussiert den unmittelbaren Zugriff auf Feld- und Planungsinformationen innerhalb eines Unternehmens und thematisiert damit die Auflösung der Automatisierungspyramide.⁸⁴

Das IoTS ermöglicht zudem einen unmittelbaren Zugriff auf IT- und Produktionssysteme. So sollen über eine vertikale Integration Daten und Informationen direkt aus der Feldebene erhoben, über die Steuerungs-, Leit-, Betriebs- und Unternehmensebene verarbeitet und

⁷⁹ Kaufmann; Forstner 2017, S. 128.

⁸⁰ Plass 2020, S. 64.

⁸¹ Vgl. Plass 2020, S. 65.

⁸² Siepmann; Graef 2016, S. 37.

⁸³ Kletti 2015, S. 53.

⁸⁴ Schlick u.a. 2017, S. 5.

als Ergebnis entsprechende Steuerungsinformationen an die Produktionsanlagen zurückgeliefert werden.⁸⁵

Die horizontale Integration bezieht sich auf die Einbindung von Systemen von Kunden, Lieferanten, verteilten Unternehmensstandorten sowie externen Dienstleistern und Produzenten, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft, in die eigene vertikale Systemlandschaft. Ein Indiz für eine erfolgreiche horizontale Integration ist ein in Echtzeit synchronisierbarer Datenaustausch. Dies betrifft sowohl den Austausch von unternehmensinternen als auch unternehmensexternen Daten. Dadurch wird ein durchgängiges und dynamisches Wertschöpfungsnetzwerk über die Unternehmensgrenzen hinweg geschaffen.⁸⁶

Über die Integration vernetzter IT- und Produktionssysteme soll ein Daten- und Informationsaustausch zwischen dem Unternehmen, geografisch fern angesiedelten verteilten Standorten und sämtlichen Stakeholdern über die gesamte Wertschöpfungskette erfolgen.⁸⁷ Die Produktionsanlagen der Zukunft sind auf Grund der horizontalen Integration zu globalen Wertschöpfungsnetzwerken unternehmensübergreifend in Form von CPS verbunden.⁸⁸

Wenn der aktuelle Stand der sogenannten Automatisierungspyramide näher analysiert wird, ist sie in den meisten Unternehmen immer noch durch streng hierarchische Kommunikationsstrukturen und abgegrenzte Ebenen gekennzeichnet. Der Aufwand, die durchgängige Vernetzung von der Unternehmensleitebene bis hin zur Feldebene herzustellen, ist mit einem großen Aufwand verbunden und weist kaum Standardisierung auf.⁸⁹

Die horizontale und vertikale Integration ist zwar einerseits die Basis für den MES-Gedanken an sich, andererseits aber auch eine wichtige Voraussetzung für die Rolle als zentrale Informations- und Datendrehscheibe. Die vollständige Vernetzung von allen an der Fertigung beteiligten Ressourcen und Systemen erfordert einen standardisierten und möglichst schnittstellenfreien Umgang mit den Daten.⁹⁰

Die Abbildung 5 stellt graphisch die vertikale und horizontale Integration dar.

⁸⁵ Roth 2016a, S. 29.

⁸⁶ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 38.

⁸⁷ Siepmann; Graef 2016, S. 29.

⁸⁸ Vgl. Gerking; Bodden; Schäfer 2020, S. 141.

⁸⁹ Vgl. Plass 2020, S. 65.

⁹⁰ Kletti 2015, S. 276.

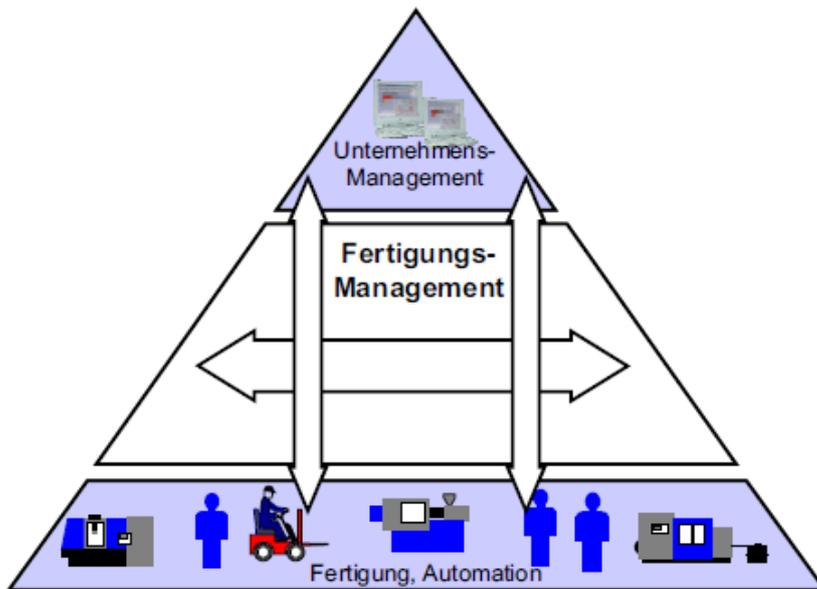


Abbildung 5: Die vertikale und horizontale Integration⁹¹

Damit Industrie 4.0 zum Erfolg wird, muss allerdings dafür gesorgt werden, dass alle beteiligten Menschen verstehen, wo die Reise hin gehen soll und auch den Nutzen darin erkennen. Dieser soll im Fokus stehen. Die Aufgabe der MES-AnbieterInnen besteht dabei darin, die neuen Technologien zu erforschen und sukzessive zur Verbesserung der bestehenden Lösungen einzusetzen.⁹²

Durch das Zusammenspiel der vertikalen und horizontalen Integration im Kontext von Industrie 4.0 ergeben sich enorme Vorteile in der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens.⁹³ Mit geringeren Rüstzeiten und -kosten kann flexibel auf KundInnenwünsche eingegangen werden. CPS sind selbständig in der Lage, Produktionsvorgänge auch in kurzen Zeitabständen anforderungsgerecht anzupassen und Leerlaufzeiten sowie Produktionsausfälle zu vermeiden.⁹⁴

⁹¹ Kletti 2007, S. 40.

⁹² Vgl. Kletti 2015, S. 277.

⁹³ Siepmann; Graef 2016, S. 38.

⁹⁴ Vgl. Siepmann; Graef 2016, S. 38.

3. Industrie 4.0 und KMU

Im Fokus des Kapitels 3 stehen kleine und mittlere Unternehmen (KMU). In diesem Kapitel wird auf die wesentlichen Aspekte von Industrie 4.0 für KMU eingegangen, mit dem Ziel, die Herausforderungen von Industrie 4.0 für KMU herauszuarbeiten.

3.1 Definition und Abgrenzung

Mittelständische Unternehmen sind Vorreiter für die Wertschöpfung der deutschen Volkswirtschaft und sind ein zentrales Thema in breiter Öffentlichkeit und Wissenschaft.⁹⁵ Der Mittelstand in Deutschland wird generell drei Kategorien zugeordnet. Die erste Definition sieht eine rein quantitative Einteilung vor, entsprechend dem Mittelstandsbezug der EU-Kommission. Die Definition des Mittelstandsbeugs des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM) Bonn unterscheidet wiederum sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte.⁹⁶

Die Definition des Europäischen Forschungsfeldes für Angewandte Mittelstandsforschung (EFAM), ehemaliges Europäisches Kompetenzzentrum für Angewandte Mittelstandsforschung (EKAM), berücksichtigt neben quantitativen auch folgende qualitative Merkmale:⁹⁷

- alle eigentümergeführten Unternehmen und Familienunternehmen;
- managementgeführte Unternehmen bis zu einer Mitarbeiterzahl von ca. 3000 Mitarbeitenden und/oder bis zu einer Umsatzgröße von ca. 600 Mio. Euro und
- Unternehmen, die beide Definitionsmerkmale aufweisen.⁹⁸

Die quantitativen Größenklassen nach EKAM stellt die Abbildung 6 dar.

Mittelstandsdefinition des EKAM		
Unternehmensgröße	Beschäftigte	Jahresumsatz
Kleinstunternehmen	bis ca. 30	bis ca. 6 Mio. EUR
Kleinunternehmen	bis ca. 300	bis ca. 60 Mio. EUR
Mittlere Unternehmen	bis ca. 3.000	bis ca. 600 Mio. EUR
Große Unternehmen	über 3.000	über 600 Mio. EUR

Abbildung 6: Quantitative Größenklassen nach EKAM⁹⁹

Das Mittelstandsverständnis des EKAM bietet im Vergleich mit anderen Definitionen folgende Vorteile:¹⁰⁰

- Integration quantitativer und qualitativer Kriterien,

⁹⁵ Obermaier 2016, S. 103.

⁹⁶ Vgl. Becker; Ulrich; Botzkowski 2017a, S. 17.

⁹⁷ Vgl. Becker u.a. 2016, S. 103.

⁹⁸ Becker u.a. 2016, S. 103.

⁹⁹ Becker u.a. 2016, S. 104.

¹⁰⁰ Vgl. Becker u.a. 2016, S. 103.

- Verwendung quantitativer Grenzen nur als Näherungsgrößen zur Klassifizierung von Unternehmen,
- Vorrang qualitativer vor quantitativen Kriterien,
- deutliche Anhebung der quantitativen Größenklassen nach oben und somit bessere Eignung für den im internationalen Vergleich größeren gehobenen deutschen Mittelstand.¹⁰¹

Das Mittelstandsverständnis wird oft um die beiden Aspekte Leitung und Besitz ergänzt und als Grundlage einer Typologie mittelständischer Unternehmen verwendet.¹⁰²

Diese Typologie stellt die Abbildung 7 dar.

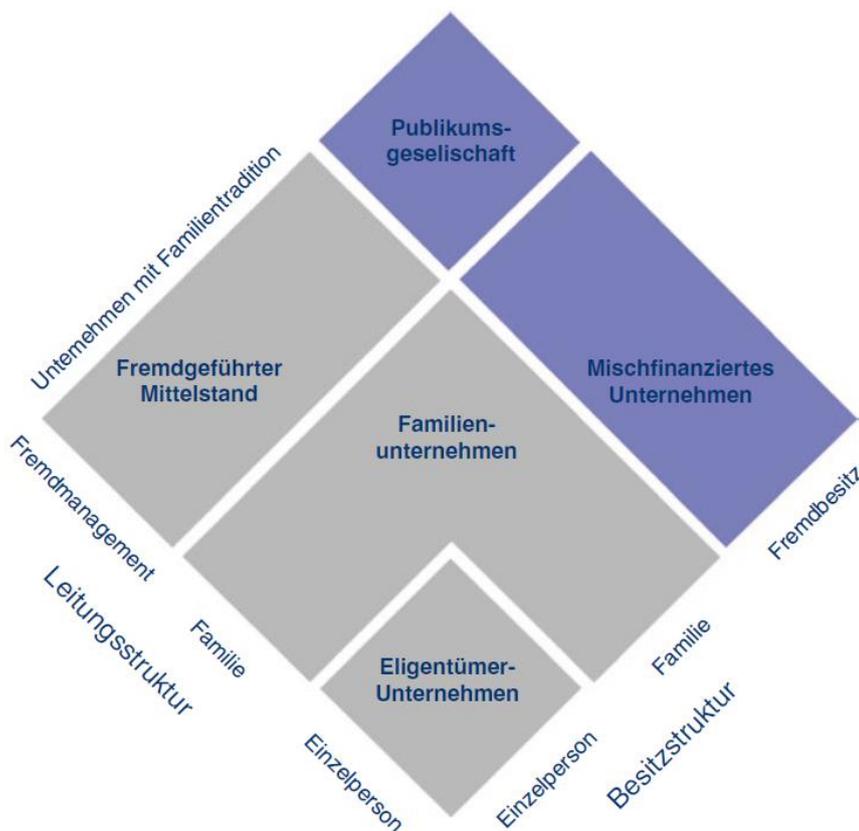


Abbildung 7: Typologie des Mittelstandes¹⁰³

Insbesondere die qualitative Abgrenzung soll die Basis legen, um die Besonderheiten des soziotechnischen Systems von KMU zu verstehen und daraus spezifische Gestaltungsempfehlungen für das KMU 4.0 in Divergenz zu Großunternehmen abzuleiten.¹⁰⁴

Im Folgenden soll daher neben der quantitativen noch eine qualitative Abgrenzung der KMU von Großunternehmen erfolgen. Kritisch anzumerken ist, dass eine klare qualitative Ab-

¹⁰¹ Becker u.a. 2016, S. 103.

¹⁰² Becker u.a. 2016, S. 103.

¹⁰³ Becker u.a. 2020, S. 19.

¹⁰⁴ Vgl. Dombrowski; Karl; Richter 2018, S. 43.

grenzung von kleinen und mittleren Unternehmen grundsätzlich nicht möglich ist. Es existieren jedoch Erfahrungswerte, die ausreichend Anhaltspunkte für eine grobe Abgrenzung von KMU zu Großunternehmen liefern.¹⁰⁵

KMU werden demzufolge anhand von sechs Klassifizierungsbereichen voneinander abgegrenzt. Diese stellt die Abbildung 8 dar.

Klassifizierung	Großunternehmen	KMU
① Führung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Professionelles Management 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inhabergeführt ▪ Management im Tagesgeschäft involviert
② Organisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausgeprägte Hierarchien ▪ Hohe Standardisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flache Hierarchien ▪ Geringe Standardisierung
③ Strategie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variierend 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spezialisiert ▪ Kernkompetenz im Nischenbereich
④ Mitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gemischte Aufgabenverteilung ▪ Viele Experten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenige Akademiker ▪ Probleme bei Akquise neuer Fachkräfte
⑤ Forschung & Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Langfristig orientiert ▪ Dauerhaft institutionalisierte Abteilungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kurzfristig orientiert ▪ Nicht dauerhaft institutionalisierte Abteilungen
⑥ Finanzierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Große finanzielle Ressourcen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Begrenzte finanzielle Ressourcen ▪ Begrenzte Finanzierungsmöglichkeiten

Abbildung 8: Qualitative Abgrenzung von KMU¹⁰⁶

Eine andere Klassifizierung der qualitativen Merkmale von KMU stellt die Abbildung 9 dar. Diese setzt sich aus den Merkmalen Geschäftsmodell, Eigner, Finanzierung sowie Informationen zusammen.¹⁰⁷

¹⁰⁵ Vgl. Dombrowski; Karl; Richter 2018, S. 44.

¹⁰⁶ Vgl. Dombrowski; Karl; Richter 2018, S. 45.

¹⁰⁷ Vgl. Ihlau; Duscha; Gödecke 2013, S. 6.

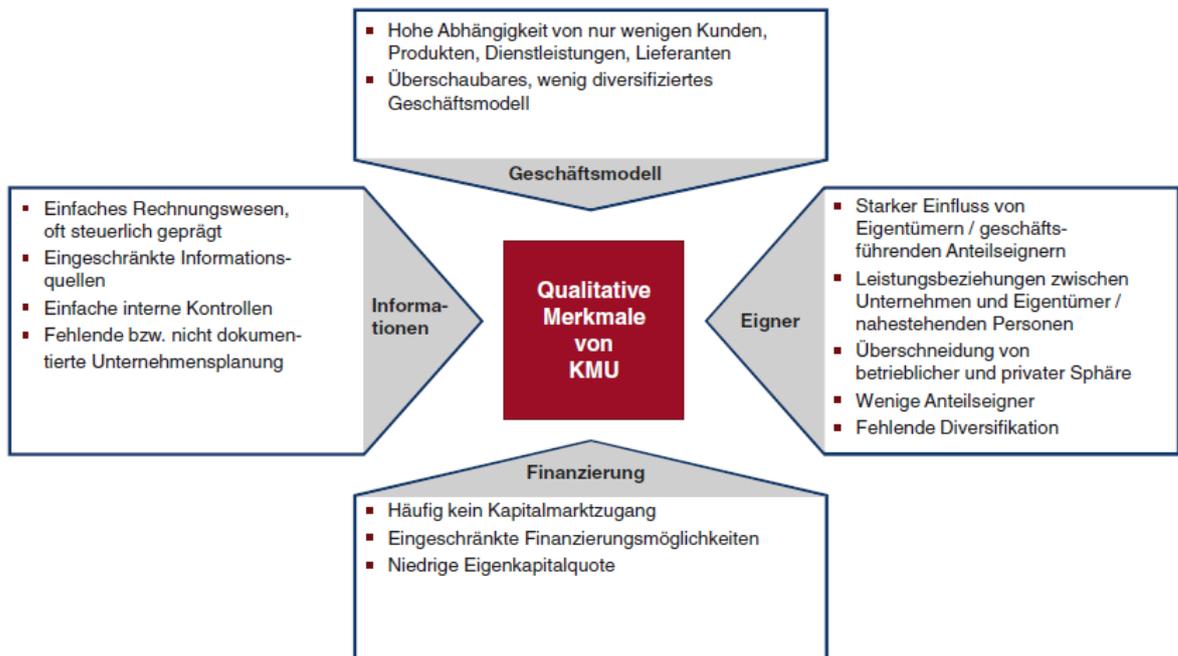


Abbildung 9: Qualitative Merkmale von KMU¹⁰⁸

Nach Lindner besitzt kein anderes Land so viele heimliche Weltmarktführer wie Deutschland. Viele KMU zeichnen sich dadurch aus, dass sie Nischenexpertise besitzen. Zudem orientieren sie sich an einem nachhaltigen Wachstum sowie einer langfristigen Strategie. Der Autor betont die Tatsache, dass für den langjährigen Erfolg fast immer einige wenige langjährige MitarbeiterInnen verantwortlich sind. Des Weiteren gehört das geringere Budget im Vergleich zu Großunternehmen zu einem weiteren Merkmal von KMU.¹⁰⁹

Fast alle Unternehmen in Deutschland gehören zu den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Gut die Hälfte der in Unternehmen Beschäftigten arbeiteten 2019 in kleinen und mittleren Unternehmen. In Bezug auf den Umsatz dominieren jedoch die Großunternehmen. So waren kleine und mittlere Unternehmen 2019 nur für 29 % des Umsatzes verantwortlich.¹¹⁰

Die Größenklassen der KMU Statistik werden in Anlehnung an die Empfehlung der Europäischen Kommission (2003/361/EG) aus einer Kreuzkombination von Umsatz und der Zahl tätiger Personen gebildet. Bei KMU wird zwischen Kleinstunternehmen (bis 9 Beschäftigte und bis 2 Millionen Euro Umsatz), kleinen Unternehmen (bis 49 Beschäftigte und bis 10 Millionen Euro Umsatz und kein Kleinstunternehmen) und mittleren Unternehmen (bis 249 Beschäftigte und bis 50 Millionen Euro Umsatz und kein kleines Unternehmen) unterschieden. Großunternehmen haben über 249 Beschäftigte oder über 50 Millionen Euro Umsatz.¹¹¹

¹⁰⁸ Ihlau; Duscha; Gödecke 2013, S. 6.

¹⁰⁹ Vgl. Lindner 2019, S. 6.

¹¹⁰ „Statistisches Bundesamt (Destatis)“ 2021.

¹¹¹ „Statistisches Bundesamt (Destatis)“ 2021.

3.2 Rolle der IT für KMU

In diesem Kapitel wird auf die wesentlichen Aspekte im Hinblick auf die Rolle der Informationstechnologie für kleinere und mittlere Unternehmen eingegangen.

3.2.1 Anforderungen an die IT und Problemfelder

Informationstechnik hat sich zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor entwickelt, sei es sowohl zur Unterstützung der internen Prozesse als auch zur effizienten Vernetzung mit Geschäftspartnern und Kunden. Im Vergleich zu großen Unternehmen besitzen KMU in der Regel limitierte Humanressourcen mit hinreichenden IT-Kenntnissen. Gerade vor dem Hintergrund der Diversität der KMU können Standardangebote der IT-Dienstleister das Prozessmanagement nur ansatzweise hinreichend unterstützen. Gleichzeitig nimmt der Bedarf des Managements bei KMU zu, die Transparenz zu bestehenden Aufträgen und Fähigkeiten gerade vor dem Hintergrund komplexerer Prozesse zu verbessern.¹¹²

Kleine und mittlere Unternehmen zeichnen sich dadurch aus, dass sie organisatorisch oft anders aufgestellt sind als Großunternehmen. Sie zögern, Veränderungen im IT-Bereich vorzunehmen. Diese beschränken sich hauptsächlich auf den technischen Bereich. Zudem fehlt in KMU oft eine langfristige Perspektive, denn eine IT-Strategie ist in KMU seltener vorhanden als in Großunternehmen. KMU setzen lieber den Fokus auf kurzfristige Investitionen in IT, um auf Markttrends zu reagieren und folgen dabei dem Rat von IT-Anbietern. Die Rolle der IT für KMU beschränkt sich hauptsächlich auf die Kernapplikationen und deren Produktion. Als problematisch stellt sich zudem heraus, dass KMU oft ihre Kennzahlen nicht bekannt sind, sodass sie ihnen der Überblick in Bezug auf die Gesamthöhe der IT-Kosten fehlt.¹¹³

Die Unternehmen, die über ausreichend finanzielle Mittel verfügen, beauftragen die IT, damit sie IT-Systeme einführt, ohne zu überlegen, ob die Lösung zur Gesamtstrategie passt und welche Auswirkungen sie mit sich bringt. Auch die Kosten und Aufwände sind dabei oft nicht bekannt. Dadurch werden oft neue Insellösungen geschaffen, was noch mehr Aufwand für die IT-Abteilung bedeutet und viele Ressourcen bindet. Die IT ist somit nur das ausführende Organ und nimmt keine beratende Rolle ein.¹¹⁴

Die Abbildung 10 zeigt das Ergebnis einer Umfrage von Capgemini unter Unternehmen in Deutschland, Österreich und der Schweiz zu den wichtigsten Anforderungen der Geschäftsleitung an die IT-Abteilungen im Jahr 2021. Rund 22,2 Prozent der befragten Unternehmen gaben an, dass die Erhöhung der Datensicherheit eine wichtige Anforderung sei. Der Ausbau der Digitalisierung mit knapp 71% nahm den ersten Platz an.

¹¹² Knothe; Gering; Oertwig 2020, S. 44.

¹¹³ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1690.

¹¹⁴ Vgl. Groß; Pfennig 2019, S. 46.

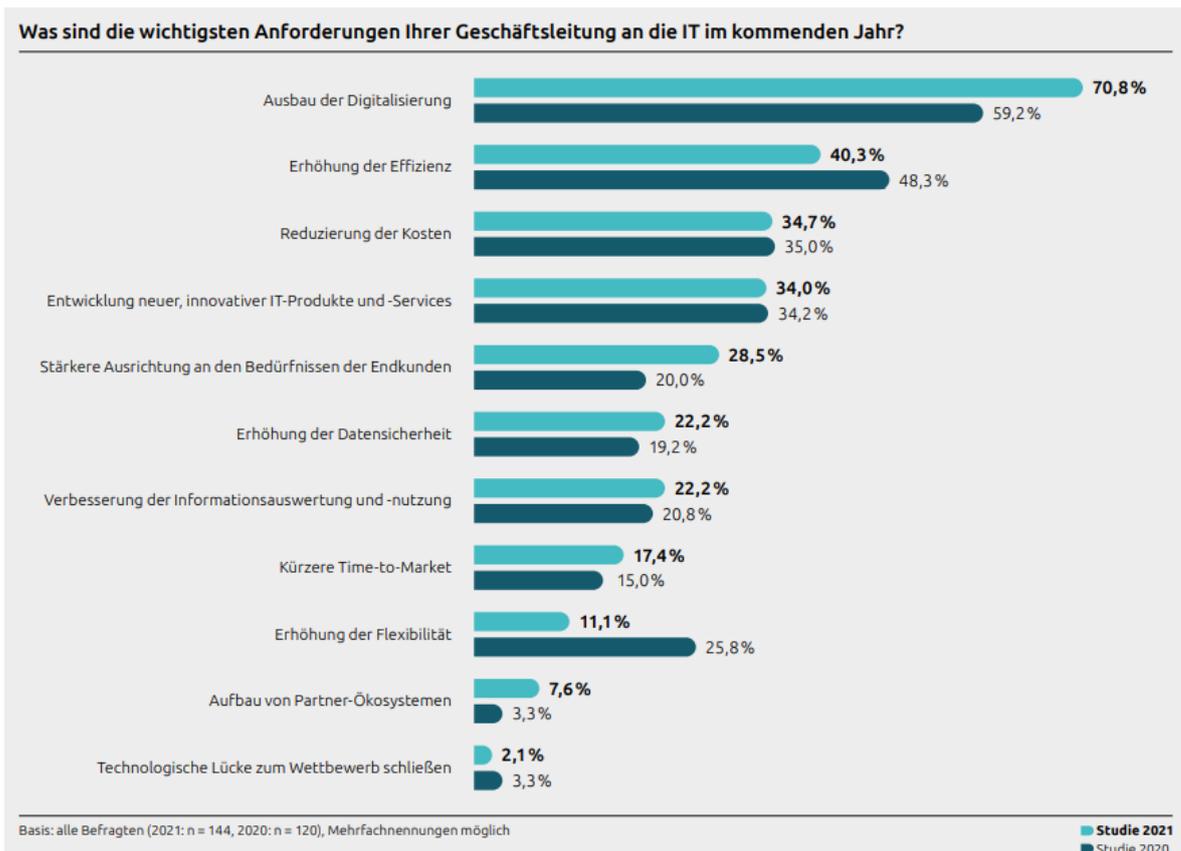


Abbildung 10: Anforderungen an IT-Abteilungen in DACH-Unternehmen im Jahr 2021¹¹⁵

IT-Infrastruktur wird einmalig angeschafft, aber nur sehr sporadisch gepflegt. IT wird primär als Kostenfaktor wahrgenommen¹¹⁶ IT stellt allerdings nicht nur einen Kostenfaktor dar, obwohl dieser Bereich den Kennzahlen nach zu urteilen ausschließlich Kosten verursacht. Nach Leeser ist IT ein Bereich, welcher wichtig für den Betriebserfolg ist. IT ist der Motor, der Unternehmen antreibt. IT ist nicht mehr wegzudenken und somit ebenfalls eine Abteilung, ohne die das Unternehmen keinen Erfolg haben wird. IT soll Unternehmen optimal unterstützen und die Arbeit erleichtern. Der Autor vertritt die Ansicht, dass Unternehmen ohne IT von der Konkurrenz überholt werden.¹¹⁷

Von Großunternehmen und Konzernen unterscheiden sich mittelständische Unternehmen hauptsächlich dadurch, dass sie zum einen im Bereich der Umsetzung von IT-Projekten geringere Möglichkeiten besitzen und zum anderen eine schlechtere Positionierung der IT innerhalb des Unternehmens aufweisen, da diese in der Regel nicht auf Geschäftsführungsebene angesiedelt ist. Die finanziellen Bedingungen führen zudem oft dazu, dass kaum in innovative Technologien investiert und kein erfahrenes und hoch qualifiziertes IT-Fachpersonal beschäftigt werden kann.¹¹⁸

In den letzten Jahren unterliegt die IT in Unternehmen durch die fortschreitende „Technisierung“ der Geschäftsmodelle einem großen, stetigen Wandel. Sie hat sich zudem auf Grund aufgrund des immer schneller werdenden Technologielebenszyklus in den letzten

¹¹⁵ Dr. Roth; Heimann 2021, S. 11.

¹¹⁶ Vgl. Leeser 2020b, S. 14.

¹¹⁷ Vgl. Leeser 2020b, S. 17.

¹¹⁸ Mangiapane; Büchler 2015c, S. 14.

Jahren sehr stark verändert. Dies ist zum Teil mit immer neuen Technik-Hypes begründet. Diese sorgen dafür, dass Unternehmen noch effizienter arbeiten können. Auch die Prozesse können noch stärker automatisiert und Informationen noch besser ausgewertet werden.¹¹⁹

Die IT kann folgende Rollen einnehmen:

- Die Rolle der IT entweder als
 - Dienstleister,
 - Partner/Enabler oder
 - Business-Treiber.
- Das Verhältnis zwischen Fachbereich und IT
 - business-dominiert,
 - ausgewogen,
 - IT-dominiert.¹²⁰

Entsprechend einer Studie von Kienbaum muss die IT verschiedene Rollen im Alltag spielen. Kienbaum unterscheidet fünf Rollen, die die IT in ihrer Entwicklungsphase einnehmen muss: vom Dienstleister, der dafür sorgt, dass das Tagesgeschäft in Unternehmen sichergestellt wird, bis zum Technologie- bzw. Business Innovator, der als Treiber hinsichtlich technischer Innovationen fungiert und das Unternehmen voranbringt. Aktuell beschränkt sich die Rolle der IT auf die Umsetzung von Business Anforderungen in IT-Lösungen, um die Fachbereiche zu unterstützen.¹²¹

Die Abbildung 11 stellt die Rollen der IT nach Kienbaum graphisch dar.

¹¹⁹ Vgl. Johanning 2020b, S. 135.

¹²⁰ Johanning 2020b, S. 135.

¹²¹ Vgl. Johanning 2019c, S. 214.

Rolle der IT

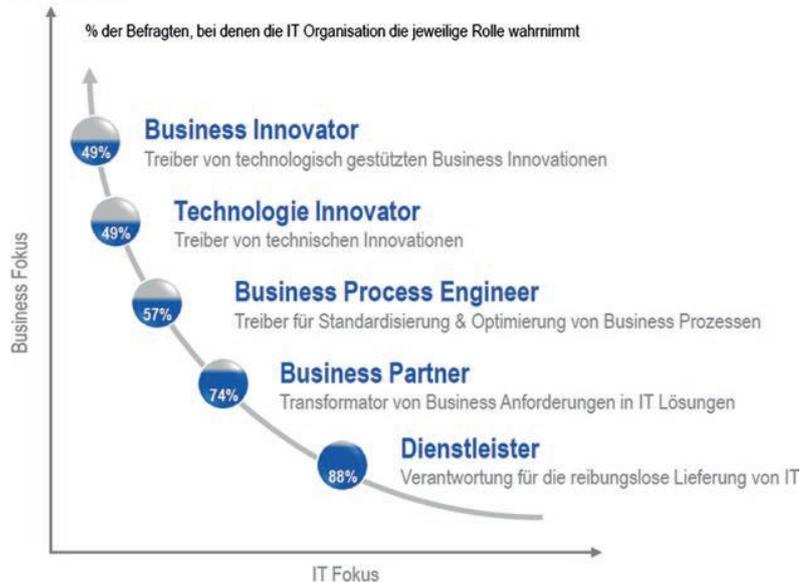


Abbildung 11: Rollen der IT (nach Kienbaum) ¹²²

In der heutigen Zeit begegnet die IT-Organisation vielen Herausforderungen. Dazu gehören sowohl die externen Einflüsse, wie beispielsweise der Marktdruck, als auch die internen Faktoren, die von den Fachbereichen und der Geschäftsleitung kommen. Deswegen muss die IT-Rolle in Unternehmen klar definiert sein.¹²³ In den 2020er-Jahren sind die folgenden fünf Herausforderungen hervorzuheben:

- Digitalisierung und neue digitale Geschäftsmodelle,
- Agilität, Dynamik und kollaboratives Arbeiten,
- Consumerization der IT und IT-Security,
- Künstliche Intelligenz, IoT und Cloud Computing,
- Talente und ExpertInnen finden und halten.¹²⁴

In vielen mittelständischen Unternehmen ist oft die klassische IT-Organisation mit meistens zwei Abteilungen oder Teams vorhanden: eine eher softwarebasierte Abteilung und eine eher hardwareorientierte Abteilung. Oft gibt es auch eine weitere Abteilung, die den Fokus auf die Steuerung und Koordination der beiden Software- und Hardwareabteilungen setzt. Zu den Kernthemen dieser Abteilung gehört das Prozessmanagement, der Organisationsaufbau sowie die Betreuung sonstiger Dienstleistungen. Sie soll die IT koordinieren und steuern, deswegen finden sich dort aktuell solche Themen, wie beispielsweise das Projektmanagement, IT-Controlling, IT-Governance oder Architektur wieder.¹²⁵

Die Trennung von Software und Hardware, die in der klassischen Organisation der KMU oft zu finden ist, kann sich allerdings auch als Vorteil erweisen. Beides kann besser koordiniert werden. Zudem wird der reibungslose Betrieb der IT durch eine eigene Abteilung, oft „IT-Infrastruktur und Betrieb“ genannt, sichergestellt. In Zeiten, in denen der Betrieb noch zu

¹²² Johanning 2019c, S. 214.

¹²³ Vgl. Johanning 2020, S. 125.

¹²⁴ Johanning 2020, S. 125.

¹²⁵ Vgl. Johanning 2020a, S. 21.

mehr als 90 % intern im eigenen Rechenzentrum erfolgte, waren dies die wesentlichen Kriterien, um Stabilität und Sicherheit gewährleisten zu können.¹²⁶

Durch Cloud Computing werden neue Ziele für die IT in den Blickpunkt des Unternehmens gesetzt. In Zeiten der Digitalisierung und Big Data müssen neue Lösungen für Industrie 4.0 gefunden werden. Es wird nach neuen Geschäftsmöglichkeiten gesucht. Dies bedeutet eine Neuausrichtung der IT, die agil und stets nah am Kunden arbeiten muss. Das klassische Modell der IT-Organisation wird durch neuartige Ansätze abgelöst.¹²⁷

Die operativen IT-Aufgaben in KMU werden oft an lokale IT-Dienstleister verlagert. Nach Albayrak und Gadatsch wird die IT-Leistung nur in größeren KMU und Großunternehmen durch professionelle Dienstleister erbracht. Generell betrachtet, wird das IT-Outsourcing in KMU kaum wahrgenommen.¹²⁸

Nach Panagos und Hammer spielt die Unternehmens-IT in den Transformationsprozessen, insbesondere in der digitalen Transformation eine Schlüsselrolle. Traditionell beschränkt sich diese Rolle auf eine Servicefunktion für die Fachbereiche. Zwischen der IT und den Fachbereichen treffen verschiedene Denkweisen aufeinander. Umso wichtiger ist es, die Barrieren zu überwinden und die Denk- und Prozess-Silos, die in Unternehmen entstanden sind, mit den Zielen der Transformation des Unternehmens zu vereinbaren.¹²⁹

Der digitale Wandel und die Start-up-Welt haben dazu beigetragen, dass auch die IT-Organisationen sich einem großen Wandel unterziehen. Insbesondere agile Methoden, der systemische Denkansatz und Netzwerkstrukturen sind die Effizienztreiber einer modernen IT-Organisation.¹³⁰ Damit die IT-Organisation wirklich lieferfähig ist, muss die Schnittstelle zu den Fachbereichen klar geregelt sein. Dies geschieht idealerweise auf der Ebene der Prozesse und damit im Rahmen einer Prozessorganisation.¹³¹

Um Prozesse in der Organisation verbessern zu können, ist es wichtig, dass die IT-Organisation den Fokus nicht nur auf ihre eigenen internen IT-Themen setzt. Vielmehr geht es darum, eine Business-Perspektive einzunehmen und die Prioritäten zu setzen. Das Unternehmen selbst gibt vor, welche Anforderungen umgesetzt werden sollen und wie der Taktfahrplan für die Umsetzung auszusehen hat. Über die Reihenfolge, welche Themen und Prozesse zuerst umgesetzt werden sollen, entscheiden die Bereiche, die aus Sicht des Business das größte Nutzenpotential erweisen. Darüber hinaus sind auch die sogenannten Quick Wins entscheidend und für den Start besonders hilfreich.¹³²

Die Notwendigkeit zur Prozessoptimierung stellt eine Schlüsselrolle im Erhalt der Wettbewerbs- oder gar Überlebensfähigkeit vieler Unternehmen dar. Je nach Unternehmenstyp kann dies ggf. genauso wichtig sein wie neue Produktions- oder Fertigungsprozesse zu

¹²⁶ Vgl. Johanning 2020a, S. 21.

¹²⁷ Vgl. Johanning 2020a, S. 21.

¹²⁸ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1684.

¹²⁹ Vgl. Panagos; Hammer 2019, S. 139.

¹³⁰ Johanning 2020a, S. 39.

¹³¹ Johanning 2020a, S. 55.

¹³² Vgl. Andenmatten 2014, S. 312.

entwickeln. Leider scheint es oft so, dass gerade Unternehmen im Mittelstand diese Notwendigkeit noch nicht erkannt haben.¹³³ Laut Groß und Pfennig besitzen viele dieser Unternehmen noch die altbekannten IT-Abteilungen mit den dafür verantwortlichen IT-LeiterInnen, eine Position, die sich vornehmlich mit der technischen Umsetzung organisatorischer Anforderungen im Unternehmen auseinandersetzt.¹³⁴

Nach Gausemeier und Plass wird eine IT-Organisation permanent mit neuen Möglichkeiten zur Prozessunterstützung, Kommunikation bzw. Interaktion konfrontiert, was dazu führt, dass Fachbereiche bzw. KundInnen die entsprechenden Möglichkeiten aufgreifen und in ihr Tagesgeschäft integrieren.¹³⁵

Die IT-Organisation muss das frühzeitig erkennen und das in adäquate Leistungen umsetzen, um das Geschäft zu unterstützen. Setzt sich die IT-Organisation mit den Trends nicht kontinuierlich auseinander, verliert sie mehr und mehr an Gestaltungskraft im Unternehmen.¹³⁶

3.2.2 IT-Management in KMU

Der Erfolg einer IT-Organisation ist im Wesentlichen von der einschlägigen Managementkompetenz abhängig. Hier ist mehr oder weniger das gesamte Management eines Unternehmens gefragt.¹³⁷ IT-Management muss also in der Unternehmensführung verankert sein. In zahlreichen IT-Organisationen ist noch eine Verhaltensänderung zum strategisch begründeten IT-Management notwendig.¹³⁸

Damit sich die IT-Organisation auf die zukünftigen Anforderungen einstellen kann, muss sie ihre Prozesse auf die strategischen Ziele ausrichten. Dazu bedient sie sich der gängigen Modelle des IT-Managements. Für die Priorisierung der wichtigsten Handlungsschwerpunkte können die Resultate der Reifegradanalyse beigezogen werden.¹³⁹

Das IT-Management darf nicht für den Bereich der Informatik isoliert betrachtet werden. Die Informatik stellt unter anderem Services bzw. eine IT-Infrastruktur für das Business zur Verfügung, stimmt die Strategien und das Risikomanagement mit der Unternehmensführung ab und verwaltet sowohl die internen als auch die externen Ressourcen.¹⁴⁰

Die Führung von KMU folgt meist anderen Regeln als die in Großunternehmen, weshalb sich auch Art und Weise von IT-Management und IT-Governance bei KMU und bei großen Unternehmen signifikant voneinander unterscheiden. IT-Management ist ein in der Praxis gerne verwendeter unscharfer Begriff, der in einer weiten Fassung die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Bereitstellung einer adäquaten Informationsversorgung umfasst. Das IT Governance Institute definiert als Hauptziel von IT-Governance, die Anforderungen an die

¹³³ Groß; Pfennig 2019, S. 46.

¹³⁴ Vgl. Groß; Pfennig 2019, S. 46.

¹³⁵ Vgl. Gausemeier; Plass 2014b, S. 390.

¹³⁶ Gausemeier; Plass 2014b, S. 390.

¹³⁷ Gausemeier; Plass 2014b, S. 395.

¹³⁸ Gausemeier; Plass 2014b, S. 396.

¹³⁹ Mangiapane; Büchler 2015a, S. 153.

¹⁴⁰ Mangiapane; Büchler 2015c, S. 67.

IT sowie die strategische Bedeutung von IT zu verstehen, um den optimalen Betrieb der Unternehmensziele sicherzustellen.¹⁴¹

Das Wissen und die Fähigkeiten zur strategischen und taktischen Unternehmensführung sind in der Regel eher unterdurchschnittlich repräsentiert, da der Fokus auf tangilen Aspekten des Tagesgeschäftes, wie z.B. der Produkt- und Servicebereitstellung, liegt. Da die Prozessorientierung generell ein Umdenken aus der Funktionsbetrachtung heraus erfordert, ist oft auch die Motivation gerade im Management sehr limitiert. In KMU besitzt das Management jedoch in der Regel die uneingeschränkte Umsetzungsmacht, sodass das Prozessdenken nur sehr langsam systematisch realisiert wird.¹⁴²

Typische Rollenkonzepte, wie z.B. die der Prozessowner und -verantwortlichen mit klaren Abgrenzungen, wie in Großunternehmen der Fall ist, können in KMU nur eingeschränkt angewendet werden. Prozessmanagementrollen werden oft den Mitarbeitenden einfach zusätzlich übertragen. Dies hat einerseits mit kurzen Abstimmungswegen zu tun. Andererseits geraten die Arbeiten am Prozessmanagement dann oft aufgrund der höheren Priorität der Aufgaben im Tagesgeschäft in den Hintergrund.¹⁴³

Die Nähe zu den AnwenderInnen ist ein großer Vorteil der IT von KMU. Allerdings findet das strategische IT-Management in KMU trotz großer Relevanz zu wenig Anwendung. Des Weiteren sind KMU eher kurz- und mittelfristig orientiert.¹⁴⁴ Deswegen spielt die strategische Führung eine wichtige Rolle. Diese ist inzwischen nicht nur in Großunternehmen, sondern auch in KMU ein wichtiger Erfolgsfaktor und ermöglicht eine Orientierung an langfristigen Zielen.¹⁴⁵

Ein unternehmensweites IT-Management kommt in KMU trotzdem nur in Ausnahmefällen zum Einsatz. Auch Mangiapane und Büchler erkennen die Gründe hierfür: eine fehlende Sensibilisierung seitens der IT- oder Geschäftsleitung für diese Themen, fehlendes Know-how sowie fehlende oder falsch eingesetzten Ressourcen.¹⁴⁶

Darüber hinaus betonen die Autoren, dass die derzeit verfügbaren IT-Managementmodelle bzw. -Frameworks für KMU meist überdimensioniert sind, denn die Wirtschaft des 21. Jahrhunderts fordert von den Unternehmen agile und leidenschaftliche Aktivitäten. Die Autoren nennen folgende Leitsätze, damit die Unternehmen erfolgreich am Markt agieren:¹⁴⁷

- Sei agil und arbeite mit Leidenschaft.
- Verlerne Hierarchie und Abteilungsdenken.
- Biete Lösungen und Services statt Produkte.
- Teile Informationen und baue Tätigkeiten aufeinander auf.
- Belohne Risikobereitschaft auch bei Misserfolg.¹⁴⁸

¹⁴¹ Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1684.

¹⁴² Knothe; Gering; Oertwig 2020, S. 44.

¹⁴³ Vgl. Knothe; Gering; Oertwig 2020, S. 44.

¹⁴⁴ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 14.

¹⁴⁵ Vgl. Johannig 2019a, S. 10–11.

¹⁴⁶ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 2.

¹⁴⁷ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 2.

¹⁴⁸ Mangiapane; Büchler 2015d, S. 2.

Die junge, neue Generation Online, die sogenannten Digital Natives, die in die Wirtschaft eintritt, bringt diese neuen Werte und entsprechende Talente in die Unternehmen. Die Autoren berufen sich auf die Ergebnisse des Forrester Research. Demzufolge priorisiert die neue Generation flexible Arbeitsbedingungen und -zeiten, die eine ausgeglichene Work-Life-Balance ermöglichen. Des Weiteren bevorzugen sie eine barrierefreie, auch virtuelle Teamarbeit sowie eine kooperative Unternehmenskultur. Sie setzen zudem schlanke Arbeitsprozesse voraus, die mit modernsten Technologien und digitalisierten Informationen einhergehen. Diese sollen orts-, zeit- und geräteunabhängig verfügbar sein. Der Arbeitsplatz erhält demnach eine hohe Priorität in Unternehmens- und Informatikstrategien. Es gilt, Networking-Plattformen, Diskussionsforen, Blogs, Wikis und gemeinsame Datenablagen für virtuelle Teams in die strategische Betrachtung mit einzubeziehen.¹⁴⁹

Die Digital Natives werden also die Wirtschaft langfristig verändern. Neue Anforderungen und neue IT-Trends müssen deshalb in IT-Strategien berücksichtigt werden, unter der Bedingung, dass sich sowohl ein Unternehmen sowie interne und externe IT-Dienstleister auf diese Revolution einstellen.¹⁵⁰

Dies bedeutet, dass sich Unternehmen stetig neu erfinden und ihre sämtlichen Abläufe überprüfen müssen, denn die IT wird zukünftig der strategische Erfolgsfaktor sein. Sie sorgt dafür, dass Prozesse weiterentwickelt und umgestaltet werden können. Insbesondere die IT-Prozesse müssen analysiert und transparent aufgearbeitet werden. Dies führt dazu, dass das Unternehmen seine Kernprozesse kennt und Synergien und Abhängigkeiten erfährt.¹⁵¹

Als Konsequenz dieser Maßnahmen werden Optimierungspotenziale abgeleitet. Mangiapane und Büchler betonen zudem, dass immer kürzere Veränderungszyklen flexible, schlanke, auf wenig Anwendungen beschränkte IT-Architekturen bedingen, um sich den Veränderungen schnell anpassen zu können.¹⁵²

¹⁴⁹ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 2.

¹⁵⁰ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 2.

¹⁵¹ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 3.

¹⁵² Vgl. Mangiapane; Büchler 2015d, S. 3.

3.3 Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU

Nachdem die wesentlichen Aspekte und die Rolle der IT im Hinblick auf kleine und mittlere Unternehmen in Kapitel 3.2 separat untersucht wurden, wird in Kapitel 3.3 auf die Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU eingegangen.

3.3.1 Hemmnisse und Risiken bei der Einführung von Industrie 4.0

Der Mittelstand verhält sich (noch) eher vorsichtig bis reserviert, wenn es um die praktische Übernahme von Anregungen der Industrie 4.0 geht.¹⁵³ Industrie 4.0 bringt für den deutschen Mittelstand zahlreiche Herausforderungen mit sich. Folgendes gehört laut einer Umfrage zu den größten Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU:

- Qualifizierung der MitarbeiterInnen (53 Prozent),
- Datensicherheit (48 Prozent),
- Definition von Industriestandards (47 Prozent),
- vollständige Digitalisierung der Wertschöpfungsprozesse (38 Prozent),
- Identifizierung von Industrie 4.0-Projekten (35 Prozent),
- Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten (35 Prozent),
- Datenschutz (32 Prozent),
- Change Management (25 Prozent),
- Digitalisierung des Produkt- und Serviceangebots (21 Prozent),
- Einführung neuer Geschäftsmodelle (19 Prozent)
- Wertbeitrag ermitteln (18 Prozent)
- sonstige Herausforderungen (3 Prozent).¹⁵⁴

Roth nennt zudem finanzielle Aspekte als der Grund, warum sich KMU gegen eine Investition in grundlegende Technologien der Industrie 4.0 entscheiden. Er betont eine vermeintlich schlechte Kosten-Nutzen-Relation bzw. langfristige Pay-Back-Zyklen. Des Weiteren unterstreicht er den Innovations- bzw. Wettbewerbsdruck, dem KMU auch im Hinblick auf die voranschreitende Internationalisierung unterliegen. Zudem fällt es KMU schwer, einzuschätzen, wie sich die Industrie 4.0 zukünftig auf sie auswirkt, da ihnen oft der Status quo nicht klar ist. Dementsprechend sind sie nicht in der Lage, Entscheidungen hinsichtlich der aktuellen Situation zu treffen, was in Bezug auf eine Einführung von Industrie 4.0 zu Unsicherheiten und Bedenken führt. Der Autor beruft sich diesbezüglich auf eine Studie des VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2013).¹⁵⁵

¹⁵³ Henke; Hegmanns 2017, S. 338.

¹⁵⁴ Vgl. Becker; Ulrich; Botzkowski 2017c, S. 119.

¹⁵⁵ Vgl. Roth 2016b, S. 13.

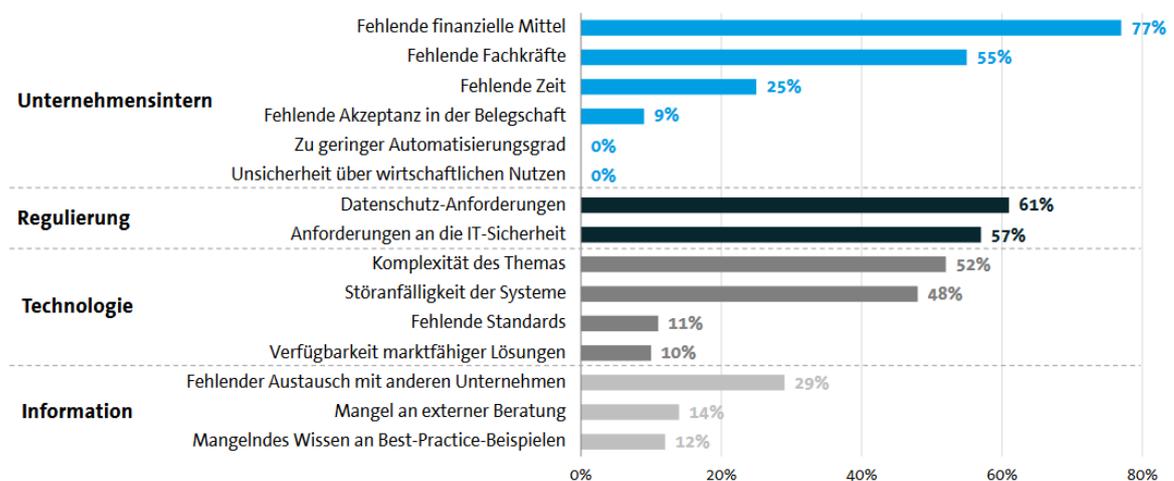
Die oben genannten Herausforderungen bestätigen zudem die Ergebnisse einer im Jahr 2021 in Deutschland durchgeführten Umfrage von Bitkom. Diese wurden in vier Blöcke aufgeteilt: Unternehmensintern, Regulierung, Technologie sowie Information.

Fehlende finanzielle Mittel gehören hierbei mit 77 Prozent zu den größten Hemmnissen beim Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen. Auf dem zweiten Platz mit 61 Prozent befinden sich Datenschutz-Anforderungen gefolgt von Anforderungen an die IT-Sicherheit (57 Prozent) und fehlenden Fachkräften (55 Prozent).

Die Ergebnisse veranschaulicht die Abbildung 12.

Zu wenig Geld und Datenschutz bremsen Industrie 4.0

Was sind die größten Hemmnisse für den Industrie 4.0-Einsatz in Ihrem Unternehmen?



¹¹ Basis: 551 Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern in Deutschland | Mehrfachnennungen möglich | Quelle: Bitkom Research 2021

bitkom

Abbildung 12: Industrie 4.0 - Umfrage zu Hemmnissen in Deutschland 2021¹⁵⁶

3.3.2 Finanzielle Herausforderungen

Das Budget für die IT wird hauptsächlich von der Geschäftsleitung zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig muss die Geschäftsleitung sicherstellen, dass IT einen möglichst hohen Wertbeitrag für das Gesamtunternehmen leistet. In der Regel soll dieser Beitrag bei möglichst niedrigen IT-Kosten erreicht werden. Die Tatsache, dass diese Entscheidung mit enger Abstimmung der Strategien und Ziele von Unternehmen zusammenhängt und dass IT dabei eine Hauptrolle spielen soll, wird oft nicht beachtet. Das ist ein wesentlicher Punkt, der in KMU verbessert werden kann.¹⁵⁷

Die finanziellen Aspekte sind immer wieder ein Grund dafür, dass Projekte nicht erfolgreich abgeschlossen werden. Hierzu kommt nicht nur die Nichteinhaltung von Budget, sondern auch der Faktor Zeit. Davon sind nicht nur Großunternehmen betroffen, sondern auch KMU sehen dies als Herausforderung. Neben dem Aspekt Geld und Zeit muss auch der dritte

¹⁵⁶ Dr. Rohleder 2021, S. 11.

¹⁵⁷ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015b, S. 61.

Faktor, Qualität, berücksichtigt werden. Diese drei Ebenen stehen in Abhängigkeit zueinander. Um diese drei Faktoren zu verdeutlichen, wird das sogenannte „Magische Dreieck“ verwendet, welches eine verdichtete, übersichtliche Darstellung der Gesamtheit aller Projektziele darstellen soll. Dazu gehören die Projektgrößen Ergebnis (Leistung bzw. Qualität), Zeit (Dauer, Termine), sowie der Aufwand (Kosten, Stunden).¹⁵⁸

Das „Magische Dreieck“ stellt die Abbildung 13 dar.

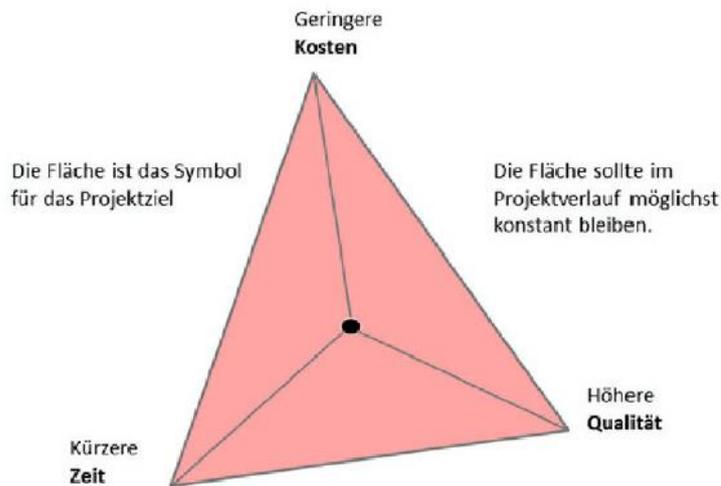


Abbildung 13: Projektzielgrößen - Magisches Dreieck¹⁵⁹

Die Einführung von Industrie 4.0 im Unternehmen bedarf weitreichender Investitionen. Obwohl Investitionen in Industrie 4.0 notwendig sind, fallen diese im Mittelstand trotz der hohen Relevanz geringer als in Großunternehmen aus.¹⁶⁰

3.3.3 Die soziotechnischen Herausforderungen

Bei einer Umsetzung von Industrie 4.0 wird sich die Arbeitslandschaft langfristig verändern. Der Wandel eines Unternehmens in Richtung Industrie 4.0 wird als Summe einzelner Transformationsprojekte dargestellt. Demzufolge müssen alle sozio-technischen Dimensionen (Technik, Organisation und Personal) gleichermaßen berücksichtigt werden.¹⁶¹

Als ein Beispiel in diesem Kontext dient hier die Einführung eines neuen Softwaresystems z.B. eines Manufacturing Execution Systems (MES), welches als ein Element der soziotechnischen Dimension Technik zu fassen ist. Um dabei eine reibungslose Einführung zu gewährleisten und die Möglichkeiten, welche die Nutzung einer solchen Software mit sich bringt auszuschöpfen, sind jedoch über die Installation sowie die Bereitstellung der notwendigen Daten hinaus weitere Maßnahmen erforderlich. Insbesondere das Personal, welches

¹⁵⁸ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015b, S. 61.

¹⁵⁹ Mangiapane; Büchler 2015b, S. 61.

¹⁶⁰ Vgl. Becker; Ulrich; Botzkowski 2019, S. 105.

¹⁶¹ Vgl. Leineweber; Wienbruch; Kuhlenkötter 2018, S. 24.

mit dieser Software arbeiten wird, muss beteiligt und entsprechend im Umgang mit der Software qualifiziert werden. Hier ist also eine Veränderung von Elementen der Dimension Personal notwendig.¹⁶²

Durch die Einführung von Industrie 4.0 in die Produktions-IT besteht insbesondere für die KMU, vor allem für diejenigen, bei denen die 3. Industrielle Revolution noch nicht so richtig angekommen ist, eine große Chance. Für diese Unternehmen ergibt sich mit der gezielten Einführung von Industrie 4.0-Technologien und -Konzepten ein großes Potenzial, maßgeschneiderte Produktions-IT-Funktionalität zu erhalten, ohne die Automatisierungspyramide dabei komplett abbilden zu müssen.¹⁶³

Insbesondere bei Industrie 4.0-Technologien, wie beispielsweise cyber-physischen Systemen (CPS), muss geprüft werden, inwiefern eine Integration in die Automatisierungspyramide nötig ist und wie die Kommunikation der CPS untereinander und mit übergeordneten Systemen entlang der Automatisierungspyramide durchgeführt werden soll. Der starre Aufbau der Automatisierungspyramide wird nämlich durch Industrie 4.0 in Zukunft aufgebrochen.¹⁶⁴

Bei der Anbindung der Produktionssysteme auf dem Shopfloor an die Welt der IT-Systeme auf den höheren Ebenen der Automatisierungspyramide treffen verschiedene Welten aufeinander. Auf der einen Seite stehen die Maschinen und Anlagen der Produktion, deren Herz die Produktionsautomatisierung mit Hilfe von Steuerungssystemen ist, die auf industrielle Bussysteme zurückgreifen, das sogenannte Equipment. Auf der anderen Seite stehen die IT-Systeme, die über Ethernet und Internet Protocol (IP) kommunizieren, die klassische Informationstechnologie.¹⁶⁵

Nicht zuletzt aufgrund der aufwändigen Einführung dieser Produktions-IT-Systeme und der ebenso aufwändigen Integration der Systeme untereinander, gehören diese Systeme bei KMU nicht unbedingt zur Standardausstattung. Diejenigen Unternehmen, die diese Systeme dennoch erfolgreich im Einsatz haben, scheuen allerdings häufig davor zurück, Änderungen an den laufenden Produktions-IT-Systemen vorzunehmen, wenn neue Anforderungen an sie herangetragen werden.¹⁶⁶

Des Weiteren müssen im Zuge der Einführung eines solchen Softwaresystems auch neue Mitarbeiterrollen mit entsprechenden Rechten und Verantwortlichkeiten definiert werden und somit Veränderungen auf einer organisationalen Ebene erfolgen. Für die Maximierung des Nutzens sowie einer schnellen und reibungslosen Einführung eines solchen Softwaresystems, ist also eine Berücksichtigung von Elementen aus den drei soziotechnischen Systemen essenziell erforderlich.¹⁶⁷

Aus wissenschaftlicher und praktischer Sicht evoziert die Vision der Industrie 4.0 deshalb nicht nur technische, sondern auch arbeitswissenschaftliche, organisationssoziologische,

¹⁶² Leineweber; Wienbruch; Kuhlenkötter 2018, S. 24.

¹⁶³ Bildstein; Seidelmann 2017, S. 231.

¹⁶⁴ Bildstein; Seidelmann 2017, S. 232.

¹⁶⁵ Bildstein; Seidelmann 2017, S. 231.

¹⁶⁶ Bildstein; Seidelmann 2017, S. 239.

¹⁶⁷ Leineweber; Wienbruch; Kuhlenkötter 2018, S. 24.

wirtschafts- und rechtswissenschaftliche Fragestellungen. Ohne eine frühzeitige und angemessene Untersuchung der Akzeptanzfragen innerhalb und außerhalb von Unternehmen laufen diese Gefahr, durch einen zu starken Fokus auf die technischen Prozesse ihre Beschäftigten, ihre KundInnen und ihre KooperationspartnerInnen nicht „mitzunehmen“.¹⁶⁸

Nach Wienzek werden KMU in der Debatte um Industrie-4.0-Lösungen vielfach ausgeblendet, obwohl es gerade diejenigen Betriebe sind, die eine Vielzahl der in Deutschland zu findenden Unternehmen ausmachen. Umso wichtiger ist es, aus der unübersichtlichen Menge von möglichen Lösungen die jeweils passende für das eigene Unternehmen auswählen zu können. Zudem muss auch der Status quo aufgenommen und darauf aufbauend eine Digitalisierungsstrategie angestoßen werden. Wienzek schlägt eine Typologie vor, die u.a. KMU der Einführung von Industrie-4.0-Lösungen unterstützen soll und ihnen zudem mögliche Wege zur Umsetzung aufzeigt. Sie ermöglicht zudem die Aufnahme des Ausgangszustandes über die Einordnung des eigenen Unternehmens.¹⁶⁹

Die im Zuge der vierten Industriellen Revolution entwickelten Technologien können von KMU nur unzureichend genutzt werden. Eine soziotechnische Integration von CPPS-Lösungen in bestehende Produktionssysteme ist jedoch erforderlich, um diese profitabel weiterzuführen. Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, diesen Unternehmen den Zugang zu CPPS-Lösungen zu ermöglichen und sie zu befähigen, die neuen Technologien wirtschaftlich und beschäftigtenorientiert einzusetzen. Von besonderer Relevanz ist hierbei, die soziotechnischen Herausforderungen bei der Einführung von Industrie 4.0 zu bewältigen und CPPS-Lösungen den betrieblichen Anforderungen entsprechend einzuführen, zu gestalten und zu betreiben.¹⁷⁰

Auf Basis einer Analyse und Expertengespräche wurden die folgenden vier Merkmale herangezogen, die nach Wienzek eine Basis für die Entwicklung einer Typologie darstellen sollen:

- Arbeitsorganisation (Mensch-Organisation)
- Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen (Technologie-Mensch)
- Technologieadaptionfähigkeit (Organisation-Technologie)
- Akzeptanz der Lösung¹⁷¹

Nach Wienzek wurde anhand dieser ein erstes Instrument geschaffen, welches einen schnellen Überblick auf wesentliche Bereiche im Unternehmen legt, die bei der Einführung von Industrie 4.0-Lösungen von KMU beachtet werden sollen. Diese Typologie ermöglicht es KMU, sich für das Thema der Einführung einer Industrie-4.0-Lösung aufzustellen, vor allem im Hinblick auf CPPS-Lösungen. Der Autor betont, dass auf diese Art und Weise erste Hemmnisse erkannt und angegangen werden können, damit die Umsetzung gelingt.¹⁷²

Die Abbildung 14 stellt die Typologie dar.

¹⁶⁸ Vgl. Hornung 2016, S. 70.

¹⁶⁹ Vgl. Wienzek 2018, S. 29.

¹⁷⁰ Vgl. Wienzek 2018, S. 30.

¹⁷¹ Vgl. Wienzek 2018, S. 33.

¹⁷² Vgl. Wienzek 2018, S. 50.

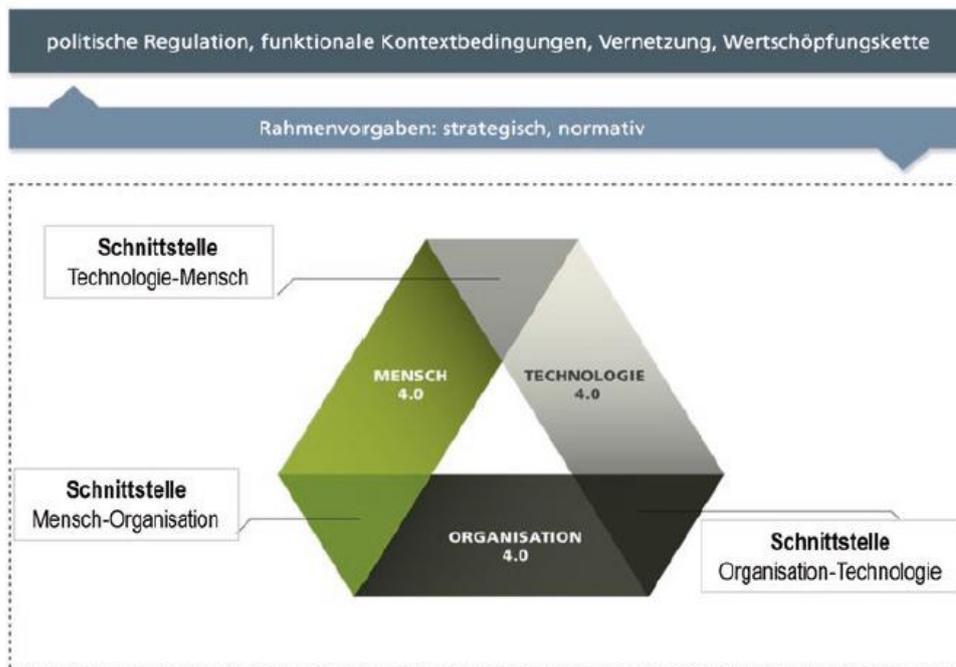


Abbildung 14: Industrie 4.0 als soziotechnisches System¹⁷³

3.3.4 Komplexität des Themas und Mittelstandsvorbehalt

Aufgrund der steigenden Komplexität und der Vielzahl an Informationen und Entscheidungsmöglichkeiten benötigen Menschen in vernetzten Produktionen vermehrt Entscheidungsunterstützungssysteme wie beispielsweise Tablets oder Smart Glasses (Smart Devices), welche den Menschen dazu befähigen eine auf Daten basierende fundierte Entscheidung zu treffen (Smart Expert Ebene). Entscheidungsunterstützungssysteme, welche in diesem Bereich arbeiten, müssen demnach nicht die Entscheidung selbst treffen, sondern die Entwicklung der Entscheidungsfähigkeit des Menschen unterstützen, indem sie dazu beitragen das Umgebungsverständnis zu erhöhen.¹⁷⁴

Da neben dem technischen Entwicklungspotenzial, welches durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien entsteht, der Mensch ein entscheidender Faktor bei der Gestaltung und effizienten Nutzung des gesamten Produktionssystems ist, gilt es diesen optimal durch die datenbasierte Unterstützung von situativen Entscheidungsprozessen zu integrieren. Die menschliche Flexibilität und Kreativität sind nur schwer durch autonome Systeme ersetzbar, weshalb der Mensch im Kontext von Industrie 4.0 mit intelligenten Entscheidungssystemen ausgerüstet werden muss, um die entstandene Komplexität im Produktionsprozess verarbeiten, analysieren und die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Dies erfordert eine kollaborative Form der Arbeitsorganisation, in der Menschen räumlich verteilte und miteinander vernetzte Produktionsressourcen steuern, koordinieren und optimieren müssen.¹⁷⁵

¹⁷³ Wienzek 2018, S. 33.

¹⁷⁴ Schmitt u.a. 2020, S. 510.

¹⁷⁵ Schmitt u.a. 2020, S. 510.

Die Umsetzung von Industrie 4.0 birgt ein erhöhtes Maß an Komplexität während des Engineering und Betriebs automatisierter Produktionsanlagen. Insbesondere der interdisziplinäre Charakter von Industrie 4.0-Entwicklungsprojekten in der industriellen Produktionsautomatisierung führt zu der Beteiligung einer Vielzahl von Akteuren – beispielsweise aus den unterschiedlichen Ingenieursdisziplinen Mechanik, Elektrotechnik/Elektronik und Software, aber auch aus angrenzenden Disziplinen wie dem Projektmanagement.¹⁷⁶

In der Industrie 4.0 ist das Zusammenspiel verschiedenster Technologien und Dienste notwendig. So muss neben der Erhebung und Verarbeitung von Daten und Information auch eine geeignete Maschine-zu-Maschine-Kommunikation zwischen allen Systemen, Anlagen und Komponenten geschaffen werden. Eine ganzheitliche Vernetzung aller relevanten Produktionsfaktoren ist nur unter Verwendung einheitlicher sowie herstellerübergreifender Schnittstellen, Standards und Normen realisierbar.¹⁷⁷

Diese so geschaffene, lokale sowie globale, vertikale und horizontale Vernetzung des Unternehmens führt jedoch zu einer immer weiter zunehmenden Komplexität sämtlicher Produktionsabläufe. Der Mensch agiert dabei als letzte Entscheidungsinstanz in der intelligenten Fabrik auf Basis der über Big Data- und Analytics-Dienste aggregierten Daten und Informationen und unter Verwendung geeigneter Technologien der Mensch-Maschine-Interaktion.¹⁷⁸

Mit Zunahme der Komplexität von Produkten und Produktionsprozessen sowie der damit verbundenen intelligenten Vernetzung technischer Systeme müssen neue Ansätze gefunden werden. Diese sollen ein effektives und effizientes Produktionsmanagement ermöglichen.¹⁷⁹ Doch viele Unternehmen und deren Geschäftsführungs- bzw. Management-Ebene sind überfordert. Zum einen, weil sie in der Vielfalt, Komplexität und Weitläufigkeit der technologischen Begriffe und Erklärungen, den geordneten Überblick und Gesamtzusammenhang vermissen, zum anderen, weil sie nicht wissen, wie sie das Thema Industrie 4.0 in ihrer Organisation strukturiert angehen können.¹⁸⁰

Es ist davon auszugehen, dass sich mittelfristig in der betrieblichen Realität hauptsächlich begrenzte Insellösungen von Industrie-4.0-Systemen finden werden.¹⁸¹ Angenommen werden kann daher, dass sich im industriellen Sektor insgesamt mittelfristig eine differenzierte Landschaft von Industrie-4.0- Anwendungen durchsetzen wird.¹⁸²

Um die Komplexität in KMU zu verringern, könnte der Ansatz von König et al. verfolgt werden. Die Autoren vertreten die Ansicht, dass eine Middleware eine Lösung hierfür sein könnte. Die Middleware lässt sich problemlos in die bestehende Anwendungslandschaft der Unternehmen integrieren und wird einfach auf einem Server installiert. Der Server muss lediglich auf die entsprechende Anwendung zugreifen. Zudem muss der Zugriff auf das Internet und auf die interne Netzwerkkonnektivität sichergestellt werden.¹⁸³

¹⁷⁶ Feldmann; Vogel-Heuser 2017, S. 315.

¹⁷⁷ Siepmann; Graef 2016, S. 69.

¹⁷⁸ Siepmann; Graef 2016, S. 69.

¹⁷⁹ Vgl. Lucia Merz; Siepmann 2016, S. 85.

¹⁸⁰ Lucia Merz; Siepmann 2016, S. 86.

¹⁸¹ Hirsch-Kreinsen; ten Hompel 2017, S. 373.

¹⁸² Hirsch-Kreinsen; ten Hompel 2017, S. 373.

¹⁸³ Vgl. König; Röglinger; Urbach 2019, S. 1239-1240.

Im weiten Bereich wenig technologieintensiver KMU werden sich neue Technologien und Systeme kaum durchsetzen. Begrenzte Ressourcen und Kompetenzen sehr vieler KMU sind ein Grund, warum sich KMU nur ungern auf technologische Experimente mit ungewissem Ausgang einlassen werden. Außerdem sind viele KMU in Branchen anzutreffen, die standardisierte Produkte herstellen und erfolgreich sind, obwohl sie ein begrenztes Automatisierungsniveau ausweisen und über relativ niedrig qualifiziertes Personal verfügen.¹⁸⁴

Die Beherrschung von Komplexität und komplexen Technologien sowie das nötige Know-how stellen einen klaren Wettbewerbsvorteil für produzierende Unternehmen dar.¹⁸⁵ Da sich die Wandlungsforschung bisher noch wenig mit Supply Chains beschäftigt, ist es daher notwendig, wandlungsfähige, ganzheitliche Wertschöpfungsnetzwerke zu entwickeln und Wandlungsfähigkeit im Supply Chain Management zu etablieren. Technologisch bietet Industrie 4.0 mit der damit einhergehenden Informationstransparenz und den eingesetzten CPS das Rüstzeug für den Wandel des industriellen Managements.¹⁸⁶

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor erfolgreicher Managementsysteme ist es, Komplexität aus den Systemen herauszunehmen, um klare und beherrschbare Prozesse zu gestalten. Komplexe Arbeitsprozesse werden in für die Beschäftigten überschaubare Arbeitsschritte unterteilt, die im Rahmen der ständigen Verbesserung gemeinsam mit Führungskräften und Beschäftigten weiterentwickelt werden. Die Auflösung von Komplexität führt über die Standardisierung von Prozessen und Strukturen wiederum zu robusten und störungsfreien Arbeitsprozessen. Robuste und störungsfreie Arbeitsprozesse können dann zu einem konzentrierten, ruhigen und harmonischen Arbeiten führen.¹⁸⁷

Durch die Auflösung von Komplexität durch Standardisierung, u. a. auch bei Betriebs- und Arbeitsmitteln, können diese ohne großen Aufwand umgebaut, gewartet, inspiziert oder angepasst werden. Ferner lassen sich jederzeit schnell und effizient Veränderungen am Produkt, in den Arbeitsprozessen und in der Arbeitsorganisation umsetzen.¹⁸⁸

Die Stabilität eines Systems ist immanent wichtig, da in vielen Unternehmen eine große Anzahl an Veränderungsprojekten in der Vergangenheit nicht konsequent umgesetzt wurden, was insgesamt zu einer Demotivation der betroffenen Beschäftigten und Führungskräfte geführt hat. Viele Methoden wurden trainiert, die dafür notwendigen Rahmenbedingungen im Management selbst wurden aber vergessen.¹⁸⁹

Dies führte dazu, dass viele Beschäftigte und Führungskräfte, die solche Prozesse oft mehrmals durchlaufen haben, eine selbstbewusste Ablehnung gegenüber neuen Begriffen wie z. B. Digitalisierung oder Industrie 4.0 entwickeln. Dadurch besteht die Gefahr, dass wichtige zukünftige Entwicklungen, wie eben Digitalisierung und Industrie 4.0, verzögert bzw. verhindert werden und damit die Wettbewerbsfähigkeit verloren geht. Um der Gefahr der Ablehnung zu begegnen, müssen firmenspezifische Konzepte erarbeitet werden, die sich an der Lösung aktueller Probleme orientieren.¹⁹⁰

¹⁸⁴ Vgl. Hirsch-Kreinsen; ten Hompel 2017, S. 373.

¹⁸⁵ Vgl. ten Hompel; Henke 2017, S. 253.

¹⁸⁶ ten Hompel; Henke 2017, S. 253.

¹⁸⁷ Neuhaus 2018, S. 60.

¹⁸⁸ Neuhaus 2018, S. 60.

¹⁸⁹ Neuhaus 2018, S. 60.

¹⁹⁰ Neuhaus 2018, S. 60.

Hofman betont unter diesem Aspekt die Notwendigkeit effizienter Prozesse und die Tatsache, dass Unternehmen sich neuen Gegebenheiten in einem ständig wandelnden Umfeld anpassen müssen. Unternehmen müssen in dem immer komplexeren Umfeld auch ihre Prozesse und Arbeitsabläufe effizienter gestalten, um dem Wettbewerbsdruck standhaft zu bleiben und auf die wandelnden Bedürfnisse der KundInnen einzugehen. Dazu gehören beispielsweise die zunehmende Internationalisierung, neue Technologien und Digitalisierung.¹⁹¹

Die Optimierung der Abläufe kann entweder laufend in kleinen Schritten oder in einem größeren Innovationssprung umgesetzt werden. Bei der laufenden Verbesserung werden bestehende Abläufe analysiert und basierend auf den gesammelten Erfahrungen effizienter gestaltet. Somit entsteht eine stetige Optimierung in kleinen Schritten. Demgegenüber wird mit einer Innovation – zum Beispiel durch eine neue Technologie – ein einmaliger großer Entwicklungsschritt gemacht.¹⁹²

3.3.5 Anforderungen an Datenschutz und IT-Sicherheit

Die Verwundbarkeit der IT-Systeme und der IT-Organisation nimmt mit der enormen Durchdringung der Wirtschaft mit IKT zu. Nach Gausemeier und Plass gilt dies beispielsweise für cloudbasierte Betreibermodelle, die ausgeprägte Vernetzung der Systeme bis hin zu Cyber-Physischen-Systemen. Mit dieser Herausforderung ist die IT-Organisation konfrontiert und muss damit adäquat umgehen. Ansonsten droht die Gefahr des Datenverlustes, unerlaubter Systemzugriffe bzw. Offenlegung von Kundendaten. Dies kann eine akute Existenzbedrohung bedeuten.¹⁹³

Mit dem exponentiellen Fortschritt im Rahmen technologischer Entwicklungen der Industrie 4.0 oder Internet of Things (IoT) entsteht viel Raum für Spekulationen. Außerhalb jeglicher Diskussionen ist die Bedeutung von Informationssicherheit und Datenschutz, die sowohl vom Gesetzgeber wie auch unternehmensseitig, bis hin zum Kunden, dem Betroffenen als bedeutend gesehen wird. Sie nimmt eine zentrale Rolle innerhalb der bestehenden und bevorstehenden Wandlungsprozesse in den beteiligten Unternehmen ein.¹⁹⁴

Die Informationstechnologie gehört zu den Produktionsmitteln von Unternehmen. Ihre Qualität trägt zum Unternehmenserfolg bei. Um die geschäftlichen Anforderungen zu erfüllen, muss die IT-Landschaft stabil, ausreichend verfügbar, gut geschützt und wirtschaftlich sein. Dies geht nur mit einer konsequenten Standardisierung der IT-Prozesse und der IT-Services. Die Leistungen sind standardisiert und reproduzierbar zu erbringen, um einen verlässlichen Betrieb der IT-Landschaft zu gewährleisten.¹⁹⁵

Mit der zunehmenden Komplexität von Technologien und den damit einhergehenden Möglichkeiten massenhaft Daten zu sammeln, wachsen auch Begehrlichkeiten. Ebendiese sind nicht nur auf Seiten von Cyberkriminellen zu verzeichnen. Auch für Industrieunternehmen

¹⁹¹ Vgl. Hofmann 2020c, S. 4.

¹⁹² Hofmann 2020c, S. 4.

¹⁹³ Vgl. Gausemeier; Plass 2014b, S. 394.

¹⁹⁴ Jäschke 2020, S. 1095.

¹⁹⁵ Foth 2016b, S. 48.

ergeben sich hieraus neue Geschäftsmodelle und Möglichkeiten innerhalb der Kundenansprache.¹⁹⁶

In Industrie 4.0 in Deutschland verschwinden die Grenzen zwischen den vormals getrennten Informations- und Kommunikationstechnik-Bereichen (IKT) der Produktions-IT und der Business-IT. Diese werden vernetzt, wodurch IT-Systeme mit ganz unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen verbunden werden. Daraus ergeben sich neue Verwundbarkeiten und den Angreifern eröffnen sich neue Möglichkeiten, in Systeme einzudringen und Schäden auch in der physischen Welt zu verursachen.¹⁹⁷

Eine der größten Schwachstellen bleibt der Mensch. Aus diesem Grund muss beim Thema Informationssicherheit und Datenschutz ein Bewusstseinswandel stattfinden, der neben notwendigen Strategien, Konzepten und Maßnahmen auch die Mitarbeiter-Awareness betrachtet und aufbaut. Dieser ist, genau wie Industrie 4.0 selbst, im vollen Gange. Haben vor einigen Jahren die meisten Befragten Informationssicherheit und Datenschutz noch für lästig empfunden, hat sich inzwischen die Erkenntnis durchgesetzt, dass gerade im Zusammenhang mit der fortschreitenden Digitalisierung die Informationssicherheit einen zentralen Aspekt der jeweiligen Unternehmensstrategie darstellt.¹⁹⁸

Die Einhaltung des Datenschutzes gilt als einer der größten Fallstricke und Herausforderungen auf dem Weg zum IoT. Industrie 4.0 basiert auf Vernetzung und den Austausch von Daten, es fallen in einem bisher nie gekanntem Ausmaß datenschutzrelevante Informationen an. Dazu zählen neben unter anderem Betriebsgeheimnissen auch personenbezogene Daten, für die der Gesetzgeber mit der DS-GVO einen besonderen Schutz vorsieht.¹⁹⁹

Im Einzelnen werden meist folgende Sicherheitsziele verfolgt: die Sicherstellung der Kontinuität der Geschäftsabläufe innerhalb des Unternehmens, die Beibehaltung des guten Rufs des Unternehmens in der Öffentlichkeit, die Sicherung der hohen, möglicherweise unwiederbringlichen Werte der verarbeiteten Informationen, die Sicherung der Integrität und Verfügbarkeit der zur Unternehmenssteuerung benötigten Daten, die Gewährleistung der Vertraulichkeit von personenbezogenen und unternehmenskritischen Daten, die Erhaltung der in Technik, Informationen, Geschäftsprozesse und Wissen investierten Werte, die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sowie die Reduzierung der im Schadensfall entstehenden Kosten.²⁰⁰

Industrie 4.0 erfordert daher umfassende Maßnahmen, um die Korrektheit, Vollständigkeit und rechtzeitige Verfügbarkeit der Daten, sowie die sichere Kommunikation und die Vertrauenswürdigkeit der eingesetzten IKT-Komponenten zu gewährleisten. Sie umfasst technologische, aber auch organisatorische Maßnahmen zur Steigerung von Vertrauen in IKT-basierte Systeme und Abläufe. Nicht nur methodische und technologische Ansätze sind gefragt, um die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit von IKT Systemen prüfbar und kontrollierbar zu erhöhen. Es müssen zudem Prozesse und Verfahren entwickelt werden, um Risiken zu minimieren.²⁰¹

¹⁹⁶ Jäschke 2020, S. 1095.

¹⁹⁷ Fallenbeck; Eckert 2017, S. 135.

¹⁹⁸ Jäschke 2020, S. 1095-1096.

¹⁹⁹ Jäschke 2020, S. 1098.

²⁰⁰ Foth 2016b, S. 48.

²⁰¹ Vgl. Fallenbeck; Eckert 2017, S. 138.

Neue Sicherheitskontroll- und Schutzmaßnahmen müssen bereits frühzeitig in den Entwurf der Systeme integriert werden, um zukünftige IT-basierte Produkte und Systeme robuster und resistenter gegen insbesondere auch Internet-basierte Angriffe zu gestalten. Das sichere Cloud-Computing ist für die sichere Industrie 4.0 eine zentrale Fragestellung.²⁰²

Die Anforderungen zur Einhaltung von gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben an die IT steigen immer weiter und sind mit hohen Strafen verbunden, wenn diese nicht eingehalten werden.²⁰³ Zu den Compliance-Anforderungen in der IT gehören hauptsächlich die folgenden Themen:

- Informationssicherheit,
- Verfügbarkeit,
- Datenaufbewahrung und
- Datenschutz²⁰⁴

Kleine und mittlere Unternehmen stehen vor der Herausforderung, bei zunehmender Digitalisierung auch die Befassung mit den Themen IT-Sicherheit und den Datenschutz zu intensivieren. Trotz einer hohen Risikowahrnehmung ist die Bereitschaft, eine IT-Sicherheitsanalyse durchzuführen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen, immer noch gering.²⁰⁵

Unbestritten ist, dass angesichts der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung der Wirtschaft IT-Sicherheit weiter an Bedeutung gewinnen wird. Dies gilt insbesondere für die kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), die einen wichtigen Teil der deutschen Wirtschaft ausmachen. Heute haben über 96% aller Unternehmen in Deutschland weniger als 50 Mitarbeiter (IfM Bonn). Viele mittelständische Unternehmen erlangen eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Die Digitalisierung spielt dabei eine wichtige Rolle für Effizienz und Innovationskraft. Für diese Unternehmen dürfte es zentral sein, IT-Sicherheitslösungen zu implementieren und zu nutzen, die ihre Marktstärke auch in Zukunft festigen und ausbauen.²⁰⁶

Die überwiegende Mehrheit der KMU hat mit IT-Sicherheitsproblemen in unterschiedlicher Form zu kämpfen. Größere KMU sind durchweg häufiger betroffen als kleine Unternehmen. Große Problembereiche sind noch immer Virenangriffe und versehentlicher Datenverlust oder -veränderung. Nach Henseler-Unger und Hillebrand hat jedes fünfte Unternehmen allerdings keine IT-Sicherheitsprobleme bemerkt. Dies kann als Hinweis auf mangelnde Protokollierung und Kontrolle von Kommunikationsabläufen gelten.²⁰⁷

Natürlich ist bekannt, dass die zunehmende Vernetzung der Produktionsanlagen in der Industrie 4.0 zudem Risiken in der IT- und Datensicherheit mit sich bringt. Auch Datenqualitäts-, Stabilitäts-, Schnittstellenprobleme oder rechtliche Probleme sind ausschlaggebend für die Verunsicherung der Unternehmen. Durch die zukünftig immer weiter ansteigende Vernetzung zwischen Unternehmen und Stakeholdern, müssen sich insbesondere Zulieferunternehmen in der Pflicht sehen, das Thema Industrie 4.0 aufzugreifen und sich damit

²⁰² Fallenbeck; Eckert 2017, S. 138.

²⁰³ Vgl. Johanning 2014, S. 24.

²⁰⁴ Johanning 2014, S. 24.

²⁰⁵ Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 686.

²⁰⁶ Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 686.

²⁰⁷ Vgl. Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 688.

auseinander zu setzen. Gerade diese Unternehmen müssen sich vor Augen führen, dass sie nur durch den zukünftigen Einsatz geeigneter Informations- und Kommunikationstechnologien noch in der Lage sein werden, Teil der Wertschöpfungskette zwischen ihren Kunden und Lieferanten zu sein.²⁰⁸

In Deutschland steht der Mittelstand auf Grund begrenzter Ressourcen besonders im Fokus. Dennoch bestehen oft zahlreiche Möglichkeiten gerade durch die enge Vernetzung einen Schaden auf einer anderen Ebene zu nehmen. Die Ursachen, warum KMU leicht zum Opfer von digitalen Angriffen werden, sind klar. KMU sind besonders stark in die Lieferketten großer Konzerne eingebunden und werden von Angreiferinnen als Einfallstore genutzt, um sich Zugriff auf die Daten großer Konzerne zu verschaffen.²⁰⁹

KMU im Wandel brauchen immer wieder IT-Sicherheitsinformationen und -schulungen, um ihre IT-Sicherheitsmaßnahmen an den Einsatz von IKT anzupassen. Die von Henseler-Unger und Hillebrand dargestellte Untersuchung hat gezeigt, dass PC-Arbeitsplätze, Internet-Zugang und der Umgang mit mobilen Endgeräten auch in KMU aller Größenklassen selbstverständlich geworden sind. E-Commerce, IoT-Anwendungen oder Industrie-4.0-Unternehmen benötigen aber Angebote auf höherem Niveau und Unternehmen, die in diesen Bereichen erst noch investieren wollen, stehen vor der Aufgabe, die richtigen Maßnahmen und Beratungsleistungen auszuwählen.²¹⁰

Mit einer immer stärkeren Vernetzung steigen auch die Möglichkeiten des Missbrauchs. Ganze Produktionsketten sind inzwischen von einer funktionierenden IT abhängig. Mit der voranschreitenden Digitalisierung geht daher auch der Ausbau der Sicherheitsinfrastruktur einher. Diese darf sich dabei nicht ausschließlich auf IT-Lösungen beschränken. Vielmehr muss dabei ein globaler Ansatz verfolgt werden und schließt ausdrücklich die eigenen Mitarbeiter in einem starken Maße mit ein. Gefordert werden Sicherheitskonzepte, die es ermöglichen auf Cyberbedrohungen sowie andere Gefahren für die IT reagieren zu können. Dabei sind technische Maßnahmen nur ein Aspekt. Nicht zu vernachlässigen sind organisatorische Aspekte, die in die Unternehmenskultur integriert werden, Risiken identifiziert und bewertet werden und Verantwortliche zu benennen.²¹¹

Nach Urbach und Ahlemann erscheint das IT-Sicherheitsniveau der KMU in Deutschland vor dem Hintergrund der hohen einzelwirtschaftlichen Bedeutung von Informationstechnologie als stark verbesserungsbedürftig. Es ist zwar ein hohes Bewusstsein für die Relevanz des Themas IT-Sicherheit vorhanden und ein gewisses Niveau an technischen Maßnahmen nahezu flächendeckend erreicht, aber organisatorische und personelle Maßnahmen sind mangelhaft.²¹²

Nach Henseler-Unger und Hillebrand ist die IT-Sicherheit nicht als nachträgliche Maßnahme zu verstehen, die erst bei Auftreten von Sicherheitsproblemen in Angriff genommen wird, sondern von Anfang an nutzerfreundliche Sicherheitsfunktionen mitzudenken und in Unternehmensprozesse zu integrieren. Diese Denkweise stellt sich allerdings als eine Her-

²⁰⁸ Roth 2016b, S. 13.

²⁰⁹ Vgl. Jäschke 2020, S. 1097-1098.

²¹⁰ Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 690.

²¹¹ Jäschke 2020, S. 1097.

²¹² Vgl. Urbach; Ahlemann 2016, S. 117.

ausforderung dar. Damit erarbeitete IT-Sicherheitskonzepte in den KMU auch effektiv greifen können, sind Security by Design bzw. die Auswahl von IKT unter Berücksichtigung der benötigten IT-Sicherheitsmaßnahmen und die Implementierung in organisatorische Prozesse ist eine Voraussetzung hierfür.²¹³

Dem Thema IT-Sicherheit wird wenig Beachtung geschenkt. Dies wird damit begründet, dass die auftretenden IT-Sicherheitsprobleme für die Unternehmen meist noch eine geringe Tragweite haben und die eintretende Schadenshöhe meistens überschaubar ist. Zudem herrscht die Überzeugung, dass ein Ausfall von IT-Komponenten von bis zu einigen Tagen oftmals noch gut verkraftet werden kann. Allerdings gibt es bereits heute Unternehmen beziehungsweise Branchen, für die bereits ein kleinerer IT-Schadensfall zur geschäftskritischen Bedrohung werden kann.²¹⁴

Obwohl Industrie 4.0 unterschiedlich interpretiert wird, ist ein hoher Schutzbedarf unumstritten immer notwendig. Anders als in der Office-IT muss in der Produktions-IT ein individueller konzeptioneller Ansatz gefunden werden: Mangelndes Wissen muss aufgeholt werden, die Komplexität muss runtergebrochen werden und die eigene Befangenheit muss objektiviert werden. Die Befangenheit unter dem Paradigma Verfügbarkeit, Verfügbarkeit und Verfügbarkeit muss durch Aufbau von Wissen über Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit gelöst werden. Das Ergebnis muss sein, dass die Anfälligkeit der Produktions-IT für Verwundbarkeit jetzt und in Zukunft deutlich reduziert und eine nachhaltige „Immunisierung“ erreicht wird. Auch im Mittelstand.²¹⁵

3.3.6 Fehlende Fachkräfte

Zum Personal zählen all jene Personen, die für Planung, Organisation, Beschaffung, Implementierung, Betrieb, Unterstützung, Monitoring und Evaluation der Informationssysteme und Services benötigt werden. Sie können – je nach Bedarf – intern, outgesourct oder vertraglich gebunden sein. Im Folgenden werden einige wichtige Punkte aufgezählt, die auch von KMU nicht vernachlässigt werden sollten, da sie sich mittlerweile zu den kostenintensivsten Ressourcen entwickelt haben.²¹⁶

Das Personal muss aktiv gemanagt werden. Mangiapane et al. betonen, dass dazu u.a. gehört, für jede besetzte Arbeitsstelle eine Rollen- und Stellenbeschreibung zu erarbeiten, aus der sich die Rechte und Pflichten von allen Mitarbeitenden ergeben, damit die Mitarbeitenden seine eigenen Rechte und Befugnisse kennen und entsprechend handeln. Gerade die Befugnisse müssen innerhalb der Informatik abgestimmt sein, damit es nicht zu Überschneidungen bzw. zur Überschreitung von Befugnissen kommt.²¹⁷

Die Autoren fügen hinzu, dass dies innerhalb des Compliance-Managements ein wichtiger Bestandteil beim Umgang mit dritten Parteien ist, wie z.B. LieferantInnen. Weiterhin sollte es im Hinblick auf die Personalbeschaffung einen definierten Prozess geben, der exakt

²¹³ Vgl. Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 690.

²¹⁴ Vgl. Urbach; Ahlemann 2016, S. 117.

²¹⁵ Hänisch; Rogge 2017, S. 97–98.

²¹⁶ Mangiapane; Büchler 2015c, S. 57.

²¹⁷ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 57.

festlegt, wie neues Personal rekrutiert wird. Sie unterstreichen die Tatsache, dass gerade der Rekrutierungsprozess in KMU nicht eindeutig definiert ist.²¹⁸

Das Wissen der eigenen MitarbeiterInnen ist eine wichtige Ressource und das Managen des Know-hows ist eine sehr wichtige Disziplin, die in der Regel noch stark vernachlässigt wird. Die Kenntnisse der MitarbeiterInnen müssen erfasst, entsprechend verwaltet und regelmäßig upgedatet werden. Dies hat den Vorteil, dass die Unternehmung im Fall eines Know-how-Bedarfs nicht unbedingt auf externe Ressourcen zurückgreifen muss, sondern das Wissen auch in den eigenen Reihen finden kann.²¹⁹

Das IT-Know-how und seine Verbreitung ist in KMU nur gering vorhanden. Wie bereits erwähnt, erfolgt auch die Durchführung von Aufgaben hinsichtlich der IT neben den normalen Aufgaben des Tagesgeschäftes. Es ist oft zu beobachten, dass gerade kleinere Unternehmen oftmals keine eigene IT-Abteilung besitzen. Zudem stellt für KMU der Fachkräftemangel eine Herausforderung dar.²²⁰ Während Großunternehmen häufig weniger Probleme haben, ihre Prozesse zu digitalisieren, kennen kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) oftmals nicht die Möglichkeiten der Digitalisierung, verfügen nicht über das notwendige Know-how und die personellen Möglichkeiten oder scheuen die hohen Investitionen, die damit einhergehen.²²¹

Die Ergebnisse einer Umfrage von Bitkom zeigen, dass der Fachkräftemangel im Hinblick auf Industrie 4.0 eine große Herausforderung darstellt. Industrie 4.0 benötigt qualifizierte Fachkräfte. 57 Prozent der befragten Unternehmen gaben an, dass durch Industrie 4.0 neue Arbeitsplätze für gut ausgebildete Fachkräfte entstehen. Für gering qualifiziertes Personal fallen Arbeitsplätze durch Industrie 4.0 aus. Dieser Aussage stimmten 68 Prozent der Teilnehmenden zu. Dies führt dazu, dass in die Weiterbildung der Mitarbeitenden investiert werden soll. Laut dieser Umfrage führen 68 Prozent der befragten Unternehmen Weiterbildungsmaßnahmen rund um Industrie 4.0 inzwischen durch.

Die Abbildung 15 stellt die Ergebnisse graphisch dar.

²¹⁸ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 57.

²¹⁹ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 57.

²²⁰ Vgl. Leeser 2020a, S. 27.

²²¹ Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1683.

Industrie 4.0 braucht qualifizierte Fachkräfte

Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 zu bzw. nicht zu?*



Basis: 552 Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern in Deutschland | *Werte für »stimme voll und ganz zu« und »stimme eher zu« |
Quelle: Bitkom Research 2020

bitkom

Abbildung 15: Industrie 4.0 braucht qualifizierte Fachkräfte²²²

Die Geschäftsleitung kann in der Praxis häufig nicht von IT-affinen MitarbeiterInnen unterstützt werden, weil den Mitarbeitenden die Expertise fehlt oder die entsprechenden MitarbeiterInnen nicht im Unternehmen angestellt sind. Der entstehende Fachkräftemangel und damit auch das Schwinden der Innovationsbereitschaft seitens der MitarbeiterInnen wird nicht zuletzt auch durch den demografischen Wandel ausgelöst.²²³

Ein weiterer Aspekt, welcher in diesem Zusammenhang beachtet werden soll, ist das Thema Outsourcing bzw. die Nutzung von externen Ressourcen wie FreelancerInnen oder DienstleisterInnen. Dies ist innerhalb von KMU weitverbreitet. Deswegen ist das Managen von externen Ressourcen gefragt.²²⁴

Der Grund hierfür ist, dass angesichts der Vielzahl von innerhalb der Informatik zu lösenden Aufgaben das nötige Know-how nicht immer intern vorgehalten oder aufgebaut werden kann. Allerdings kommt es bei einer näheren Betrachtung immer mehr externe BeraterInnen oder DienstleisterInnen. In diesem Zusammenhang bietet es sich an, auch die externen Ressourcen aktiv zu verwalten und zu überwachen.²²⁵

Laut Johanning liegt die höchste Priorität im Rahmen von Personalentscheidungen in der richtigen Besetzung der IT-Führungspositionen, weil das IT-Management die Multiplikatorfunktion für die Umsetzung der IT-Strategie besitzt. Auch die Funktion des Verantwortlichen für die Auswahl und Entwicklung der IT-MitarbeiterInnen unterliegt den Führungskräften. Sie haben die Aufgabe, die richtigen, zur IT-Strategie passende IT-MitarbeiterInnen zu finden, zu fördern und gegebenenfalls auch Entscheidungen gegen IT-MitarbeiterInnen zu

²²² „Statistisches Bundesamt (Destatis)“ 2021, S. 9.

²²³ Vgl. Leeser 2020a, S. 27.

²²⁴ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 58.

²²⁵ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 58.

treffen, denn die IT-MitarbeiterInnen sollen die Schlüsselfunktionen für die Umsetzung der IT-Strategie übernehmen.²²⁶

Johanning betont, dass in vielen Fällen diese IT-MitarbeiterInnen in dem Outsourcing-Kontrakt sogar zum Provider „transferiert“ werden und dass sie in dem Fall andere Skills benötigen, z.B. gestandene IT-ManagerInnen, die den neuen Provider steuern können, die Prozesse und Schnittstellen zum Provider transparent und optimiert gestalten oder die durch einen eher kaufmännisch-orientierten Background für die Steuerung und das Monitoring der SLAs, Kennzahlen und Verrechnungspreise entsprechend qualifiziert sind.²²⁷

Nach Heinevetter sind MitarbeiterInnen in den steuernden und koordinierenden Funktionen wie IT-Governance und IT-Demand Management mit ausgeprägter Business-Kompetenz gefragt. Diese gehören zu den IT-Profis und verstehen, wie die IT das Gesamtunternehmen am besten unterstützen kann. Was das IT-Demand Management betrifft, stehen einem zufriedenen Drittel in kleinen und mittelständischen Unternehmen nur 13 Prozent in größeren Organisationen gegenüber. Heinevetter betont, dass die Lücke zwischen den erforderlichen und den tatsächlichen Kompetenzen der MitarbeiterInnen umso brisanter wird, weil Governance und Demand die Bereiche sind, die künftig verstärkt Personal aufbauen müssen. Daraus ergibt sich für die Unternehmen die Frage, wie sie die Skill- und Kompetenzlücke schnellstmöglich schließen können.²²⁸

3.3.7 Globaler Wettbewerb

Durch den wachsenden globalen Wettbewerb entsteht für Unternehmen ein zunehmender Kosten- und Termindruck. Zusätzlich zur sich ständig erhöhenden Anzahl an Varianten steigt auch die Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten und Dienstleistungen. Insbesondere im Kontext von Industrie 4.0 steigt zudem die Forderung nach einer erhöhten Leistungsfähigkeit und Flexibilität der Prozesse, welche darüber hinaus einen effizienten Ressourceneinsatz ermöglichen.²²⁹ In produzierenden Unternehmen ist eine deutlich höhere Komplexität festzustellen.²³⁰

Die Nutzung digitaler Technologien zur Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle und interner Prozesse bietet kleinen und mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit, auf externe Veränderungen agil zu reagieren. Jedoch zeigt ein internationaler Vergleich der digitalen Wettbewerbsfähigkeit der EU28, dass Deutschland in diesem Bereich Nachholbedarf hat. Um sich zukünftig im internationalen digitalen Wettbewerb positiv zu positionieren, bedarf es einer gestärkten digitalen Integration der kleinen und mittelständischen Unternehmen, die das Rückgrat der deutschen Wirtschaft bilden.²³¹

²²⁶ Vgl. Johanning 2019c, S. 225.

²²⁷ Vgl. Johanning 2019c, S. 225.

²²⁸ Vgl. Johanning 2019c, S. 225-226.

²²⁹ Schmitt u.a. 2020, S. 508.

²³⁰ Vgl. Schmitt u.a. 2020, S. 508.

²³¹ Mesloh 2021, S. 461.

Generell ermöglicht die digitale Integration den KMU, ihre Wettbewerbsfähigkeit im Rahmen von erweiterten Geschäftsaktivitäten zu sichern oder gegebenenfalls auszubauen. Im Hinblick auf die digitale Wettbewerbsfähigkeit von deutschen KMU im europäischen Vergleich sind Chancen und Hemmnisse der digitalen Integration erkennbar.²³²

Der jährlich veröffentlichte Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft misst die Fortschritte der EU-Mitgliedstaaten auf dem Weg zur digitalen Wirtschaft und Gesellschaft auf der Grundlage von Daten, die sowohl von Eurostat als auch aus Fachstudien und speziellen Erhebungen stammen. Er hilft den EU-Mitgliedstaaten, die Bereiche zu ermitteln, in denen besonders dringender Investitions- und Handlungsbedarf besteht. Der DESI ist auch ein wichtiges Instrument zur Analyse der digitalen Aspekte im Europäischen Semester.²³³

Die Abbildung 16 veranschaulicht die Ergebnisse des Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021 (Digital Economy and Society Index, DESI) mit dem die Fortschritte der EU-Mitgliedstaaten bei der digitalen Wettbewerbsfähigkeit in den Bereichen digitale Kompetenzen (Humankapital), Konnektivität (Breitbandanbindung), Integration digitaler Technik sowie digitale öffentliche Dienste verfolgt werden.²³⁴

Nach Exekutiv-Vizepräsidentin Margrethe Vestager kann eine positive Resonanz aus den Ergebnissen abgeleitet werden. Nach Vestager haben alle EU-Länder Fortschritte bei der Digitalisierung und Wettbewerbsfähigkeit gemacht. Allerdings gibt es immer noch ein Optimierungspotenzial, was vor allem die Aufbau- und Resilienzfähigkeit wichtiger Investitionen angeht.²³⁵

²³² Mesloh 2021, S. 461.

²³³ „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

²³⁴ Vgl. „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

²³⁵ Vgl. „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

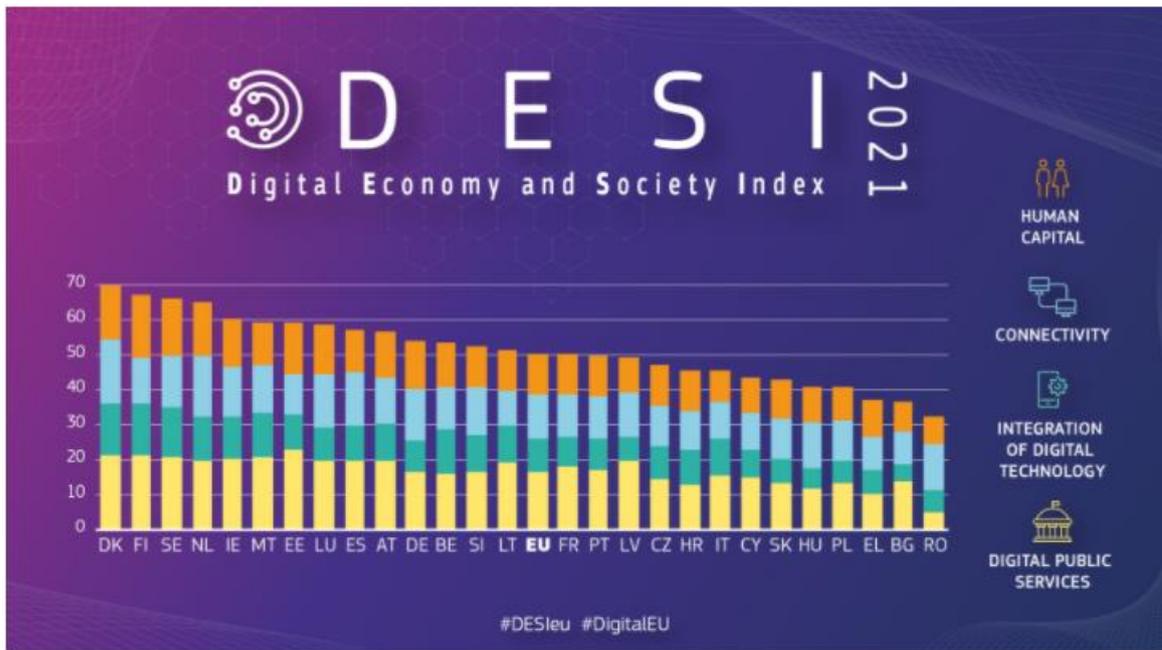


Abbildung 16: Hauptergebnisse des DESI 2021²³⁶

Die Abbildung 17 zeigt die ersten 20 Länder mit der besten Wettbewerbsfähigkeit laut dem Global Competitiveness Index 4.0 2019. Deutschland erreichte beim Global Competitiveness Index 2019 den siebten Platz mit 81,8 Punkten.

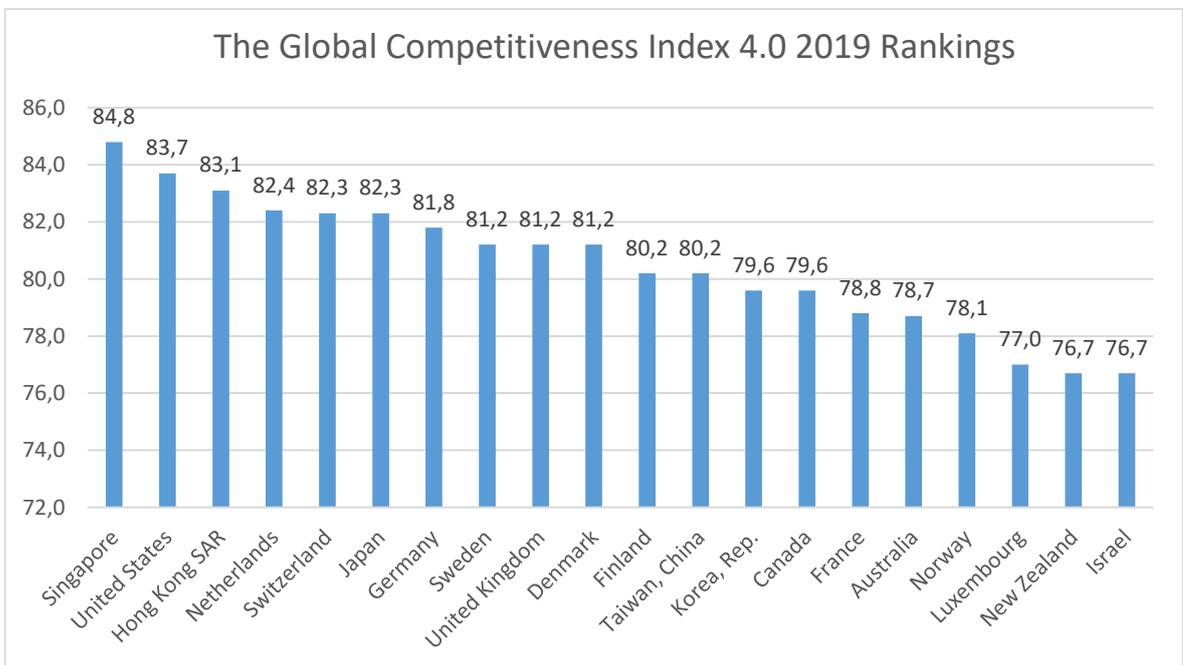


Abbildung 17: Ergebnisse des Global Competitiveness Index 4.0 2019²³⁷

²³⁶ „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

²³⁷ Schwab 2019, S. xiii., eigene Darstellung

Die Ergebnisse von Bitkom zeigen, dass jedes dritte Unternehmen (31 Prozent) glaubt, dass in der Politik ein ausreichendes Verständnis für die Bedeutung von Industrie 4.0 vorhanden ist. Des Weiteren sind 91 Prozent der Befragten überzeugt, dass Industrie 4.0 die Voraussetzung für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie darstellt. Zugleich sagen 86 Prozent, dass neue Industriepolitik in Deutschland notwendig ist, um Industrie 4.0 voranzubringen. Die Ergebnisse veranschaulicht die Abbildung 18.

Hersteller wünschen sich eine neue Industriepolitik

Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 zu bzw. nicht zu?*



Basis: 551 Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern in Deutschland | *Werte für »stimme voll und ganz zu« und »stimme eher zu« |
16 Quelle: Bitkom Research 2021

bitkom

Abbildung 18: Hersteller wünschen sich eine neue Industriepolitik²³⁸

3.3.8 Mittelstand und Digitalisierung

Digitale Technologien und ihre Auswirkungen auf Arbeitsverhältnisse beschäftigen aktuell viele Branchen. Fachkräfte ebenso wie Manager können jedoch schwer einschätzen, was für sie und ihr Unternehmen – insbesondere für kleinere Unternehmen – nötig ist, um inmitten der Digitalisierung weiterhin souverän zu agieren. Digitale Souveränität bedeutet in diesem Kontext, den Überblick über neue technische Möglichkeiten zu behalten, um informiert entscheiden und zwischen alternativen digitalen Angeboten das Passende für das eigene Unternehmen auswählen zu können.²³⁹

Mit der Frage nach digitaler Souveränität stehen folgende Themen und Trends im Zusammenhang: rechtliche Rahmenbedingungen, Datenschutz, digitaler Kompetenzaufbau und -entwicklung, Datenspeicherkonzept, globaler Wettbewerb, Unternehmensgröße und damit verbundene Handlungsspielräume, Unternehmenskollaborationen, Austausch von Informationen zwischen den Unternehmen, Individualisierung von KI-basierten Technologien.²⁴⁰

²³⁸ „Statistisches Bundesamt (Destatis)“ 2021, S. 16.

²³⁹ Pentenrieder; Bertini; Künzel 2021, S. 17.

²⁴⁰ Pentenrieder; Bertini; Künzel 2021, S. 17.

Im Hinblick auf die Integration digitaler Technik hat die Nutzung von Cloud-Technik stark zugenommen (von 16 % der Unternehmen im Jahr 2018 auf 26 % im Jahr 2020). Große Unternehmen sind weiterhin bei der Nutzung digitaler Technik führend: Sie nutzen beispielsweise den elektronischen Informationsaustausch über Unternehmensressourcenplanung (ERP) und Cloud-Software wesentlich häufiger als KMU (80 % gegenüber 35 % bei ERP, 48 % gegenüber 25 % bei Cloud). Dennoch verwendet nur ein Bruchteil der Unternehmen fortgeschrittene digitale Technologien (14 % Big Data, 25 % KI und 26 % Cloud).²⁴¹

Diese Daten machen deutlich, dass der gegenwärtige Stand der Einführung digitaler Technik noch weit von den Zielen der digitalen Dekade entfernt ist. Ziel der EU für 2030 ist es, dass 90 % der KMU mindestens eine grundlegende digitale Intensität aufweisen, im Gegensatz zum Ausgangsniveau von 60 % im Jahr 2020, und dass mindestens 75 % der Unternehmen bis 2030 fortgeschrittene digitale Technik einsetzen. Derzeit nutzt nur ein Bruchteil der Unternehmen Big Data, und zwar selbst in einigen der leistungsstärksten Länder, im Gegensatz zum angestrebten Ziel von 75 %. Wichtig ist auch, dass 15 % der Digitalinvestitionen in den vom Rat angenommenen Aufbau- und Resilienzplänen (fast 18 Mrd. EUR von insgesamt 117 Mrd. EUR) für den Aufbau digitaler Kapazitäten und für die Forschung und Entwicklung im Digitalbereich bestimmt sind.²⁴²

Aufgrund der kontinuierlich hohen Nachfrage nach IT-Fachkräften stellt der Mangel an Humankapital ein langfristiges Hindernis in der digitalen Integration dar. Darüber hinaus verdeutlichen Studien, dass rechtliche und bürokratische Hürden wie beispielsweise Fragen der Datensicherheit die digitale Integration der KMU verlangsamen. Ebenfalls ist von großer Bedeutung, das Bewusstsein für die digitale Integration der KMU zielgerichtet zu stärken. Um nicht zu stark an der Geschäftskultur deutscher KMU zu rütteln, bietet es sich häufig an, die digitale Integration als Erweiterung bestehender analoger Prozesse zu interpretieren.²⁴³

Digitale Technologien und ihre Auswirkungen auf Arbeitsverhältnisse beschäftigen aktuell viele Branchen. Neue Ausprägungen der Digitalisierung – wie Cloudkonzepte, künstliche Intelligenz (KI) oder smarte Fabriken – lassen als Begrifflichkeiten noch unklar, was die technischen Infrastrukturen und Prozesse dahinter tatsächlich leisten können und wie mit ihnen im Arbeitsalltag umzugehen ist. Für Fachkräfte ebenso wie für die ManagerInnen einzelner Unternehmen ist schwer einzuschätzen, was zukünftig erforderlich sein wird, um inmitten dieser komplexen Technologievielfalt als Mensch und als Unternehmen – insbesondere als kleines, mittelständisches Unternehmen (KMU) – souverän zu bleiben.²⁴⁴

Souverän bedeutet in diesem Kontext, einen Überblick über neue technische Möglichkeiten zu erhalten, um informiert zwischen alternativen digitalen Optionen das passende mehrwertstiftende Angebot für das eigene Unternehmen auswählen zu können. Besonders attraktiv sind dabei jene Technologien, mit denen weiterhin alle Geschäftsprozesse eigenständig bestimmt, gestaltet und verantwortet werden können.²⁴⁵

²⁴¹ „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

²⁴² „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ 2021.

²⁴³ Mesloh 2021, S. 464.

²⁴⁴ Pentenrieder; Bertini; Künzel 2021, S. 18.

²⁴⁵ Pentenrieder; Bertini; Künzel 2021, S. 18.

Insbesondere für die Digitalisierung ist meistens wenig Budget vorhanden. Das bedeutet, dass vorrangig immer das rentable Tagesgeschäft ist. Digitalisierungsprojekte, wie beispielsweise die Einführung neuer Software, werden meistens neben dem Tagesgeschäft ausgeführt. Grund hierfür ist das geringe Personal. Deswegen ist es von großer Relevanz, für KMU Handlungsempfehlungen zu finden, die eine konstruktive, einfache und kostengünstige Digitalisierung ermöglichen.²⁴⁶

Um die Integration von digitalen Lösungen erfolgreich in KMU umzusetzen, bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung der Ebenen, damit mögliche Zusammenhänge und Wechselwirkungen berücksichtigt werden können. Die digitale Integration bietet somit die Möglichkeit, analoge Prozesse von KMU neu zu gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit in einer zunehmend digitalen Welt zu erhöhen.²⁴⁷

Auch dem Einsatz von ML stehen KMU eher skeptisch gegenüber. Es wird von KMU angenommen, dass diese Lösungen nur unnötigen Kosten, bei ausbleibenden Prozessverbesserungen, entstehen. Deswegen ist es insbesondere für KMU von fundamentaler Bedeutung, entsprechende Kompetenzen aufzubauen, um externe Abhängigkeiten zu verringern, denn die Nutzung von Daten entwickelt sich zunehmend zum entscheidenden wirtschaftlichen Vorteil in einer vernetzten Welt.²⁴⁸

Es zeigt sich, dass die produzierende Industrie und insbesondere KMU ein großes Interesse am Aufbau interner Kompetenzen im Bereich ML haben. Zum aktuellen Zeitpunkt wird dieser Kompetenzaufbau jedoch nur in geringem Maße oder gar nicht betrieben. In den allermeisten Fällen begründet sich das Fehlen entsprechender Kompetenzen jedoch nicht in einem Unwillen der Unternehmensführung, die Beschäftigten entsprechend zu fördern und weiterzuentwickeln, sondern in den fehlenden Möglichkeiten, dies konkret zu tun. Einerseits verhindert der stetige Wettbewerbsdruck, dass neben dem alltäglichen Geschäft Zeit bleibt, sich langwierigen Schulungen zu unterziehen, andererseits muss auch die Bereitschaft in der Belegschaft geschaffen werden, sich weiterentwickeln zu wollen und dies auch aktiv zu fordern.²⁴⁹

Es zeigt sich, dass mit der Digitalisierung große Chancen einhergehen, die Position der produzierenden Unternehmen Deutschlands im globalen Wettbewerb zu festigen und weiter auszubauen. Allerdings müssen die positiven Grundvoraussetzungen auch genutzt werden, um sich in dem immer dynamischeren globalen Wettbewerb zu positionieren. Sollte es nicht gelingen, die erforderlichen Schritte in Richtung Erlangung der digitalen Souveränität zu gehen, besteht die Gefahr, dass Deutschland seine Position als eines der führenden Hochtechnologieländer langfristig einbüßen wird.²⁵⁰

Das Teilen von Daten, auch in erprobten Netzwerken, Transparenz, Durchgängigkeit und das Schlagwort „Echtzeit“ sowie die Teilnahme an offenen Plattformen, stecken noch in den Kinderschuhen – auch und gerade, weil der Nutzen nur selten oder gar nicht im Vorhinein bewertet oder gar monetär nachgewiesen werden kann. Solange der Nutzen nicht klar ist, werden die wenigsten Unternehmen, insbesondere die KMU, die ihre Gelder nicht erst seit

²⁴⁶ Vgl. Lindner 2019, S. 7.

²⁴⁷ Mesloh 2021, S. 462.

²⁴⁸ Vgl. Hartmann 2021, S. 31–32.

²⁴⁹ Reckelkamm; Deuse 2021, S. 40.

²⁵⁰ Reckelkamm; Deuse 2021, S. 33.

der Pandemie genauestens planen müssen und keine Extra-Budgets für große Forschungsvorhaben vorhalten, nicht investieren – nicht in KI, nicht in Vernetzung oder die Plattform-Ökonomie.²⁵¹

Nach Mesloh kann hat die Betrachtung der digitalen Integration von KMU in Deutschland verdeutlicht, dass die grundlegenden Rahmenbedingungen weitestgehend erfüllt sind und dass ein bedeutendes Hindernis in der Umsetzung der digitalen Lösungen von KMU der herrschende Fachkräftemangel ist.²⁵²

Dieser führt dazu, dass den KMU wichtige Expertise fehlt, um die digitale Integration ressourcen- und zeitschonend zu implementieren. Da Weiter- und Fortbildungsangebote diese Lücke nicht schließen können, stehen insbesondere Kleinstunternehmen vor internen Hürden, um digitale Lösungen in ihre Geschäftsaktivitäten zu integrieren.²⁵³

²⁵¹ Dirzus 2021, S. 134.

²⁵² Vgl. Mesloh 2021, S. 464.

²⁵³ Mesloh 2021, S. 464.

4. Reifegradkonzepte für KMU

4.1 Einführung

Entscheidend für eine effiziente und nachhaltige Weiterentwicklung der Prozesse ist eine regelmäßige Überprüfung ihres Zustandes. Das Reifegradmodell ist hierfür ein bewährtes Tool, welches ein strukturiertes Vorgehen mit vergleichbaren Ergebnissen sicherstellt. Dank der Messung der Reife werden bestehende Schwachstellen in den Arbeitsabläufen aufgedeckt und notwendige Prozessverbesserungen aufgezeigt. Über die Zeit haben sich, abhängig vom Einsatzgebiet und Umfeld, verschiedene Varianten des Reifegradmodells etabliert. Während diese im Vorgehen weitgehend identisch sind, unterscheiden sie sich insbesondere in den angewandten Bewertungskriterien.²⁵⁴

Im Zuge der Digitalisierung und der Transformation zur Industrie 4.0 spricht man oft über den sogenannten digitalen Reifegrad (engl. „digital maturity level“). Mittlerweile haben die größeren Unternehmensberatungsgesellschaften und Verbände solche Reifegradmodelle entwickelt. Der Reifegrad kann einerseits helfen, den aktuellen Stand zu bestimmen. Andererseits kann er auch den Weg vorskizzieren, den das Unternehmen durchlaufen soll, um wirklich die nötige Effektivität zu erreichen.²⁵⁵

Reifegradmodelle stellen eine Methode dar, um Prozessverbesserungen zu erzielen, indem sie die Entwicklung des betrachteten Objekts von geringer zu hoher Reife beschreiben. Sie sind ein weit verbreitetes Instrumentarium, finden in vielen Branchen Anwendung und zeichnen sich durch ihre vielseitige Einsetzbarkeit aus. So werden sie nicht nur für Prozesse, sondern auch für Produkte und gesamte Organisationen eingesetzt. Reifegradmodelle liefern somit einen Ansatz zur Bewertung von Prozessen wie dem Produktentstehungsprozess und sind Bestandteil von Kennzahlensystemen.²⁵⁶

4.2 Problemdefinition und Vorgehen

Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, stellt die Industrie 4.0 für KMU eine große Herausforderung dar. Um diesen Herausforderungen entgegenzutreten, bedarf es eine Methode bzw. ein Referenzmodell zu entwickeln, die als eine Orientierungshilfe dienen und die KMU bei der Transformation und Verbesserung der Prozesse unterstützen soll.

Laut einer Studie von Albayrak und Gadatsch können Standardrahmenwerke, wie z.B. COBIT oder ITIL sowie Reifegradmodelle wie CMMI, in KMU keine Anwendung finden. Diese richten sich eher an Großunternehmen. Die Gründe hierfür sind oft sehr lange Projektlaufzeiten und ein sehr hoher, zusätzlicher, administrativer Aufwand, die damit verbunden ist. Obwohl die Aufgaben und Themen im IT-Bereich sowohl in KMU als auch in Großunternehmen sehr ähnlich sind, sind die oben genannten Gründe ein deutlicher Wettbewerbsnachteil für KMU. Klassisches IT-Management beansprucht sehr viel Zeit auf Grund einer stark ausgeprägten Methodenorientierung und strikt geteilter IT-Aufgaben. Zudem

²⁵⁴ Hofmann 2020b, S. 120.

²⁵⁵ Panagos; Hammer 2019, S. 140.

²⁵⁶ Janke; Burkhardt 2018b, S. 32–33.

sind IT-Experten und Fachbereiche an formalisierte Pläne gebunden, wenn es z.B. darum geht, Software zu entwickeln, auszuwählen, einzuführen und zu betreiben.²⁵⁷

Des Weiteren fehlen KMU oft die Industrie 4.0-Expertise und -Technologien, um eine schnelle, digitale Transformation voranzutreiben. Im Vergleich zu Großunternehmen sind die Ausgangsbedingungen bzw. -situationen in KMU oft unterschiedlich. Großunternehmen erreichen die höheren Reifegrade im technologischen Bereich schneller als KMU. Dies hat verschiedene Gründe und liegt zum Teil daran, dass Großunternehmen mehr Zeit und Geld in diese Thematik investieren. Außerdem besitzen sie mehr Know-how, was die Transformation in Richtung Industrie 4.0 entsprechend beschleunigt.²⁵⁸

KMU haben jedoch den Vorteil, dass sie gegenüber Großunternehmen weniger komplex sind in Bezug auf ihr Geschäft und ihre Herstellungsverfahren. Daraus ergibt sich ein weiterer Vorteil, denn organisatorische und kulturelle Änderungen können im gesamten Unternehmen schneller und einfacher umgesetzt werden.²⁵⁹

Prozesse in KMU sind ein wichtiger Aspekt. Der Nutzen der Prozesse für das Business muss klar erkennbar sein. Es gibt einen Zusammenhang zwischen Nutzen und Reifegrad von Prozessen. Um den Reifegrad der Prozesse zu erhöhen, bedarf es Verbesserungsinitiativen in den Unternehmen. Sollten diese fehlen, sind diese Unternehmen einem Risiko ausgesetzt. Das Risiko besteht auch dann, wenn IT-Prozesse, die einen großen Wert für das Business darstellen, nicht ausgereift sind.²⁶⁰

Wenn ein Prozess einen sehr hohen Reifegrad aufweist, aber sein Nutzen dem Unternehmen wenig oder keine Vorteile bringt, ist es ein Zeichen dafür, dass Geld und Ressourcen verschwendet werden. Im Vergleich zur geringeren Bedeutung der IT für das Business kommt es daher zur Überbewertung der IT. Dementsprechend sollte sich der Reifegrad eines Prozesses im sicheren Bereich befinden.²⁶¹

Die Prozessreife steht somit im Zusammenhang mit dem Wert der IT-Prozesse für das Business. Die IT-Prozesse, die einen hohen Wert für das Business darstellen, sollen im Idealfall einen sehr hohen Reifegrad aufweisen. Dies kann sich ggf. positiv auf weitere Aspekte auswirken, wie z.B. den zusätzlichen Business-Wert, schnelle Erfolge, Implementierungsfähigkeit, Kosten, Ressourcen, Kultur, Konkurrenzprojekte etc.²⁶²

Prozessreifegrade werden inzwischen als Marketingfaktor in Unternehmen gesehen. Unternehmen nutzen Reifegrade, um die Prozessreife von implementierten Prozessen stärker zum Ausdruck zu bringen. Solange jedoch das verwendete Reifegradmodell sowie die Bewertungs- und Prüfkriterien nicht benannt werden, sind Aussagen über die erreichten Reifegrade der Prozesse von geringem Wert.²⁶³ Deshalb werden Prozessreifegrade in der Praxis über die Durchführung von Prozessassessments ermittelt. Hierfür werden bestehende Reifegradmodelle verwendet.²⁶⁴

²⁵⁷ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1690.

²⁵⁸ Vgl. Modrák; Šoltysová 2020, S. 224–225.

²⁵⁹ Vgl. Modrák; Šoltysová 2020, S. 225.

²⁶⁰ Vgl. Case u.a. 2008, S. 108–109.

²⁶¹ Vgl. Case u.a. 2008, S. 108–109.

²⁶² Vgl. Case u.a. 2008, S. 108–109.

²⁶³ Vgl. Finkemeier; 2011, S. 281.

²⁶⁴ Vgl. Finkemeier; 2011, S. 282.

Neben der Selbstbewertung von Prozessen kann eine Reifegradbewertung als Nachweis der Prozessreife gegenüber externen Organisationen Verwendung finden. Ein Auftraggeber kann das Ergebnis solcher Bewertungen beispielsweise in die Risikobewertung des Lieferanten einfließen lassen. Das Ziel der Reifegradmodelle besteht darin, diverse Themenbereiche, die für das Geschäftsprozessmanagement relevant sind, auf einer stufenartigen, numerischen Skala anzuordnen. Prozesse, die einen sehr hohen Reifegrad aufweisen, sind meistens sehr komplex und schwierig bei der Umsetzung.²⁶⁵

Folgendes Vorgehen zu der in Kapitel 4 angewandten Methodik wurde angewandt:

1. Literaturrecherche zum Thema Referenz- bzw. Reifegradmodelle in KMU in Bezug auf die Industrie 4.0,
2. Analyse der Anforderungen an ein Industrie-4.0-Reifegradmodell für KMU,
3. Auswahl und Analyse der aktuellen Studien / Publikationen,
4. Evaluierung der Ergebnisse und Status quo.

4.3 Anforderungen an ein Industrie-4.0-Reifegradmodell für KMU

Um ein Reifegrad- bzw. Referenzmodell für KMU entwickeln zu können, muss zunächst überprüft werden, welche Anforderungen es erfüllen soll. Wiesner et al. haben in einer Studie die Anwendbarkeit der Reifegradmodelle für KMU untersucht. Im Fokus standen die Reifegradmodelle für die Digitalisierung in der Fertigung, denn die Digitalisierung ist ein herausforderndes Thema insbesondere für die produzierenden KMU.²⁶⁶

Die Gründe, warum Reifegradmodelle, die in der Literatur zu finden sind, in KMU eher keine Anwendung finden, wurden in Kapitel 4.2 bereits erläutert. Wiesner et al. betonen, dass ein für KMU zugeschnittenes Referenzmodell bestimmte Kriterien erfüllen muss. Zudem gehen sie auf die Gründe ein, um die Relevanz eines Reifegradmodells für KMU hervorzuheben. Diese werden nachfolgend kurz erläutert.

Neben der Verbesserung ihrer technologischen Basis müssen KMU die Attraktivität ihres Geschäftsangebots aufrechterhalten, indem sie beispielsweise ihre Produkte mit Smart Services bündeln. Dies ist nicht ohne Weiteres umsetzbar. Das Problem besteht in ihren begrenzten Ressourcen und fehlendem Know-how, um die richtigen Technologien auszuwählen und attraktive Services entwickeln zu können. Daraus ergeben sich viele Risiken, die sich negativ auf ihre Wettbewerbsfähigkeit auswirken, wenn dem Aspekt Digitalisierung nicht genug Aufmerksamkeit gewidmet wird.²⁶⁷

Wiesner et al. betonen die Tatsache, dass ein Reifegradbewertungsmodell KMU dabei unterstützen kann, ihren Reifegrad in Bezug auf die Bereitschaft zur Umsetzung der Themen aus dem breiten Spektrum Industrie 4.0 besser zu verstehen. Um ein solches Modell für KMU zu identifizieren und anzupassen, existieren bereits verschiedene Bewertungsmethoden. Daraus ergeben sich Dimensionen, die mit den speziellen Anforderungen von KMU

²⁶⁵ Finkemeier; 2011, S. 282-283.

²⁶⁶ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 81.

²⁶⁷ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 81.

verknüpft und näher analysiert wurden. Das Bewertungsergebnis veranschaulicht die Anforderungen, die notwendig sind, um ein geeignetes Reifegradmodell im Kontext Industrie 4.0 für KMU entwickeln zu können.²⁶⁸

Ein Reifegradmodell für KMU im Kontext Industrie 4.0 soll vor allem folgende Kriterien berücksichtigen:

- Unkompliziertheit und Einfachheit der Umsetzung,
- erforderliches Basiswissen bzw. Wissensvoraussetzungen,
- Bedeutung der organisatorischen Aspekte,
- bereitgestellte Leitlinien bzw. Vorgaben.²⁶⁹

Nach Wiesner et al. sind strategische und organisatorische Aspekte eine der wichtigsten Anforderungen, die ein Reifegradmodell für KMU berücksichtigen muss. Damit ist vor allem eine langfristige Perspektive gemeint. Ein Referenzmodell baut einen schrittweisen Entwicklungsprozess auf und soll KMU helfen, ihre spezifischen, strategischen Ziele zu identifizieren. Es soll zudem auf das vorab festgelegte strategische Ziel der KMU ausgerichtet sein und auch die Meilensteine berücksichtigen.²⁷⁰

Die AutorInnen betonen zudem, dass auch ein Wandel in Führung und Kultur erfolgen muss, um die digitale Transformation im Kontext Industrie 4.0 voranzutreiben. Führung und Kultur ist eine sehr wichtige Dimension für ein Reifegradmodell, denn eine Implementierung von digitalen Technologien ist ohne Bezug auf die Unternehmenskultur nicht möglich. Auch die Agilität spielt dabei eine wichtige Rolle. KMU müssen agiler werden, um die gewünschten Ziele zu erreichen. Sie müssen wissen, was sie in Zukunft tun wollen und welche Mitarbeiterkompetenzen benötigt werden. Ein für KMU zugeschnittenes Modell soll auch die Bereitschaft der MitarbeiterInnen für Änderungen ihres Arbeitsverhaltens fördern. Es soll ihnen einen einfachen und klaren Weg diesbezüglich vorweisen.²⁷¹

Eine weitere Anforderung in Bezug auf das Reifegradmodell für die Digitalisierung betrifft die Berücksichtigung der KundInnenbedürfnisse. Unternehmen müssen herausfinden, wie sie zur Kundenzufriedenheit beitragen können und auf welchen Kunden (B2B oder B2C-Kunden) der Fokus liegen soll. Die AutorInnen vertreten die Ansicht, dass ein Referenzmodell für KMU einen klaren und prägnanten Weg finden wird, dies zu erkennen und eine Anleitung für eine regelmäßige Überprüfung der EndnutzerInnenzufriedenheit zu geben.²⁷²

Des Weiteren müssen die KMU-Ressourcen notwendige Kompetenzen erwerben und mit technologischen Komponenten aufgerüstet sein, um entsprechende Entscheidungen umzusetzen sowie in der Lage zu sein, Daten zu generieren und diese zu analysieren. Um drastische Kosten zu vermeiden, sollten Leitlinien Technologieinvestitionen rationalisieren. Dementsprechend soll ein neues Modell eine einfache Methode zur Einschätzung des technologischen Niveaus des Unternehmens im Rahmen der Industrie 4.0 darstellen.²⁷³

²⁶⁸ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 81.

²⁶⁹ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 85.

²⁷⁰ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 86.

²⁷¹ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 86.

²⁷² Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 86.

²⁷³ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 86.

Darüber hinaus sollte das Modell kein hohes Maß an Wissen erfordern, um die strategischen Ebenen der KMU zu identifizieren. Es soll zudem die Vorteile jeder Stufe hervorbringen und entsprechende Informationen darüber liefern.²⁷⁴

Mangiapane und Büchler betonen, dass die Anforderungen an ein Reifegradmodell für KMU vor allem praxisnah und schnell zu realisieren sein müssen. Die sogenannten „Quick-Wins“ sind ein weiterer Faktor, der die erfolgreiche Realisierung derartiger Projekte maßgeblich beeinflusst. Außerdem können die MitarbeiterInnen, die in solche Projekte involviert sind, aus Zeitgründen nicht zusätzlich zu ihren normalen Aufgaben solch umfangreiche Projekte durchführen.²⁷⁵ Der Einsatz strukturierter und organisierter IT-Prozesse erzeugt aufseiten des Unternehmens und der Geschäftsleitung einen Mehrwert und trägt dazu bei, dass mehr Ressourcen z.B. für die Projektarbeit zur Verfügung gestellt werden.²⁷⁶

Des Weiteren fügen die Autoren hinzu, dass KMU immer einem gewissen Kostendruck unterliegen. Somit sollte ihrer Ansicht nach möglichst an bestehende, in der Praxis bereits erprobte Referenzmodelle angeknüpft werden, um das Risiko eines Misserfolgs zu reduzieren. Zudem sollte auch auf den für KMU charakteristischen Individualismus geachtet werden und ihn bewahren, da KMU unterschiedliche Anforderungen umsetzen müssen und unterschiedlichste Produkte herstellen, mit denen sie zahlreiche Märkte bewirtschaften und eine breite Auswahl an KundInnen beliefern.²⁷⁷

4.4 Aktuelle Publikationen – Überblick

Um zu prüfen, ob die Forschungsfrage in Bezug auf die Erstellung eines Referenzmodells zur Verbesserung von IT-Prozessen in KMU beantwortet werden kann, wurden insgesamt 11 Publikationen zum Thema Industrie 4.0 und Digitalisierung im Hinblick auf KMU analysiert. Hierzu wurden hauptsächlich Google Scholar und ScienceDirect Elsevir verwendet.

Als dominierende Schlagwörter wurden „Industrie 4.0“, „Digitale Transformation“, „Reifegradmodell“, „KMU“, „Klein- und Mittelstandsunternehmen“, „Mittelstand“, „digitale Bereitschaft“ zusammen mit ihren englischen Pendanten „Industry 4.0“, „IIoT“, „Industrial Internet of Things“, „digital transformation“, „Digital Maturity Model“, „SME“, „Small and medium-sized Enterprises“, „digital readiness“ in der Literaturrecherche verwendet.

Des Weiteren wurden während der Literatursuche bestimmte Kombinationen von Suchwörtern verwendet. Zunächst wurde untersucht, ob und welche aktuellen Reifegradmodelle es gibt, die mit dieser Thematik zusammenhängen, wie beispielsweise „Reifegradmodell Industrie 4.0“, „Reifegradmodell Digitalisierung“, „Reifegradmodell digitale Transformation“, „digitale Reife Industrie 4.0“, „Messung digitaler Reife“, „Messung digitaler Transformation“, „Referenzmodell Industrie 4.0“ etc.

²⁷⁴ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 86.

²⁷⁵ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 24.

²⁷⁶ Mangiapane; Büchler 2015c, S. 24.

²⁷⁷ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 24.

Auch hier wurde parallel nach ihren englischen Pendanten gesucht: „maturity model Industry 4.0“, „maturity model IIoT“, „maturity model digitalization“, „maturity model digital transformation“, „digital maturity Industry 4.0“, „digital maturity IIoT“, „Measures digital maturity“, „Measures digital transformation“, „framework Industry 4.0“, „framework IIoT“ etc.

Die oben genannten Kombinationen von Wörtern wurden im nächsten Schritt um die Wörter „KMU“ bzw. „SME“, „Klein- und Mittelstandsunternehmen“, „Mittelstand“, „Small and medium-sized Enterprises“ erweitert. Es wurde zudem auch nach der Kombination „digitale Bereitschaft KMU“ bzw. „digital readiness SME“ gesucht.

Die Suchergebnisse wurden anschließend nur auf die KMU-spezifischen und aktuellsten Publikationen beschränkt. Es wurde entschieden, insgesamt nur 11 Papers auszuwählen, um den vorgegebenen Umfang der Masterarbeit entsprechend zu berücksichtigen.

Um Aktualität und die Relevanz zu gewährleisten, wurden nur Publikationen ab 2016 bis 2021 in diese Arbeit aufgenommen, wobei die meisten Publikationen aus dem Jahr 2021 stammen.

Die Publikationen wurden in der Tabelle 1 dargestellt. Es wurden die originalen, englischen Titel und Schlagwörter übernommen.

Tabelle 1: Aktuelle Publikationen - Überblick

Nr.	Autor	Jahr	Titel	Schlagwörter
1.	Marie Charbonneau Genest, Sébastien Gamache	2021	Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs	Industry 4.0; digital readiness; prerequisites; digital transformation; SMEs ²⁷⁸
2.	Mirjana Kljajić Borštnar, Andreja Pucihar	2021	Multi-Attribute Assessment of Digital Maturity of SMEs	digital transformation; digital maturity assessment; multi-attribute model; small and medium-sized enterprises ²⁷⁹
3.	Riccardo Brozzi, Michael Riedl, Dominik Matt	2021	Key Readiness Indicators To Assess The Digital Level of Manufacturing SMEs	Industry 4.0; Assessment; Digital Level; SME; Key Readiness Indicators; Field Study ²⁸⁰
4.	Helena Zentner, Mario Spremić, Radovan Zentner	2021	Measuring Digital Business Models Maturity for SMEs	framework for measuring digital business models maturity, particularly for SMEs ²⁸¹
5.	Daniel R. A. Schallmo, Klaus Lang, Daniel Hasler, Katharina Ehlig-Klassen, Christopher A. Williams	2021	An Approach for a Digital Maturity Model for SMEs Based on Their Requirements	Digitalization and digital transformation; business models, digital maturity model (DMM); ²⁸²

²⁷⁸ Vgl. Genest; Gamache 2020a, S. 1215.

²⁷⁹ Kljajić Borštnar; Pucihar 2021a, S. 1.

²⁸⁰ Brozzi; Riedl; Matta 2021a, S. 201.

²⁸¹ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 1.

²⁸² Schallmo u.a. 2021, S. 87.

6.	Sakgasit Ramingwong, Lachana Ramingwong, Trasapong Thaiupathump, Rungchat Chompuinwai	2021	Readiness Model for Integration of ICT and CPS for SMEs Smart Logistics	Industry 4.0, SMEs; The proposed model can be used for assessing the readiness of integration of ICT and CPS for organizations. ²⁸³
7.	Volker Stich, Violett Zeller, Jan Hicking, Andreas Kraut	2020	Measures for a successful digital transformation of SMEs	Digital technologies; digital transformation; Internet of Things; digital strategy; SME support ²⁸⁴
8.	Franziska Blatz, Dr. Rebecca Bulander, Matthias Dietel	2018	Maturity model of digitization for SMEs, Maturity model to measure the status of digitization in SMEs	maturity model; digitization; product service systems ²⁸⁵
9.	Sameer Mittal, David Romero, Thorsten Wuest	2018	Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E)	Digitalization, SMEs, Industry 4.0, Smart manufacturing, Intelligent manufacturing, Maturity model, Working methods, Toolboxes, Toolkit ²⁸⁶
10.	Sebastian Häberer, Lina Katrin Lau, Dr. Fabian Behrendt	2017	Development of an Industrie 4.0 Maturity Index for Small and Medium-Sized Enterprises	Industrie 4.0, digitization, maturity index, potential analysis, performance evaluation, innovation management ²⁸⁷
11.	Jaione Ganzarain, Nekane Errasti	2016	Three stage maturity model	SMEs, university-industry collaboration, industry 4.0, diversification strategy, maturity model ²⁸⁸

4.5 Analyse und Status quo

Nach der Auswahl der wissenschaftlichen Publikationen wird nun im nächsten Schritt auf ihre Inhalte und dort vorgestellte Referenzmodelle sowie ihren Bezug auf KMU eingegangen. Die Nummerierung bezieht sich auf die laufenden Nummern, die der Spalte 1 der Tabelle 1 zu entnehmen sind.

1. Technologie- und Geschäftspraxis-Ansatz

Die erste Studie beschäftigt sich mit der Analyse der Voraussetzungen für die Digitale Transformation in KMU und somit für eine erfolgreiche Implementierung der Industrie 4.0 in

²⁸³ Ramingwong u.a. 2021a, S. 205.

²⁸⁴ Stich u.a. 2020, S. 286.

²⁸⁵ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018.

²⁸⁶ Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 155.

²⁸⁷ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 129.

²⁸⁸ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1120.

produzierenden KMU. Die Identifizierung und reifegradbasierte Bewertung der Voraussetzungen soll ein Wegweiser für KMU werden, mit dem Ziel, die notwendige Bereitschaft zur effektiven Verbesserung der Prozesse im digitalen Umfeld der Industrie 4.0 zu erreichen. Dieses Research Paper setzt KMU in den Fokus, denn KMU sind deutlich größeren Schwierigkeiten bzw. Herausforderungen angesichts der digitalen Transformation ausgesetzt.²⁸⁹

Entsprechend dieser Studie wurde festgestellt, dass es zwei unterschiedliche Ansätze gibt, die die Industrie 4.0 repräsentieren: den technologischen Ansatz sowie den Geschäftspraxis-Ansatz.²⁹⁰ Diese zwei Ansätze werden in dem Paper nun verfolgt.

Gemäß dem Technologieansatz skizziert Pacchini acht Technologien, die am häufigsten mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden: Das Internet der Dinge, Big Data, Cloud Computing, Cyber-Physikalische Systeme, kollaborative Roboter, additive Fertigung, Augmented Reality und künstliche Intelligenz. Um ein Modell zur Bewertung des Bereitschaftsgrades zu erstellen, muss jede Technologie sechs Voraussetzungen erfüllen, um die Technologie erfolgreich umsetzen zu können. Jeder Voraussetzung wurde eine vierstufige Skala (Stufen von 0 bis 3) zur Ermittlung des Erfüllungsgrads zugeordnet.²⁹¹

Die Stufe 0 deutet beispielsweise daraufhin, dass die Voraussetzung im Unternehmen nicht vorhanden ist. Dies entspricht dem niedrigsten Reifegrad in Bezug auf die digitale Bereitschaft. Das Ergebnis der von den Stufen abgeleiteten Reifegrade dient den Unternehmen als Orientierung, um die entsprechenden Schritte zur Verbesserung der digitalen Bereitschaft im Kontext der Industrie 4.0 einzuleiten. Es wurden insgesamt 48 Voraussetzungen definiert, sechs davon durch gezielte Technologie.²⁹²

Was der Autor in diesem Paper betont, ist allerdings nicht nur eine hohe Relevanz der Technologien in Bezug auf die Implementierung von Industrie 4.0. Es müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden, u.a. der Einsatz von qualifizierten Mitarbeitenden. Zudem ist auch der finanzielle Aspekt von großer Bedeutung. Unternehmen müssen über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, bevor mit der Implementierung von Industrie 4.0-Technologien begonnen wird. Es ist deshalb für KMU besonders schwierig, sich diesen Herausforderungen zu stellen und sich von Beginn an auf die Umsetzung von Industrie 4.0-Technologien zu fokussieren.²⁹³

Was den Geschäftspraxis-Ansatz betrifft, basiert die Recherche u.a. auf einer Studie von Ranch. Demnach wurden 27 Cluster identifiziert, die die Industrie 4.0 repräsentieren: Agilität, Automatisierung, Konnektivität, Kultur, Design für die Fertigung, Digitalisierung, Benutzerfreundlichkeit, Implementierung, Inspektion, Lean, Machine Learning, Mass Customizing, Netzwerke, Menschen, Produktionsplanung und -steuerung, präventive und vorausschauende Wartung, Echtzeitstatus, Fernsteuerung, Ressourcenmanagement, Sicherheit, Nachhaltigkeit, Tracking & Tracing, Transport, Upgrade und Virtual Reality.²⁹⁴

²⁸⁹ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

²⁹⁰ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

²⁹¹ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

²⁹² Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

²⁹³ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217.

²⁹⁴ Genest; Gamache 2020b, S. 1217, eigene Übersetzung.

Jeder dieser Cluster stellt eine Liste von Maßnahmen dar, die erforderlich sind, um die digitale Bereitschaft zu erreichen. Insgesamt wurden allen Clustern 65 Maßnahmen zugeordnet. Die Ergebnisse resultieren aus einer Befragung von KMU während verschiedener Workshops in Europa, in den USA und Asien. Alle diese Voraussetzungen ermöglichen es den KMU, sich auf die Transformation in Richtung Industrie 4.0 besser vorzubereiten. Obwohl KMU flexibel sind und explizit auf KundInnenbedürfnisse eingehen, sollen die Ergebnisse KMU dabei unterstützen, den Mangel an Produktionsflexibilität und -kenntnis durch Verbesserung ihrer technologischen Expertise auszugleichen. Nur damit kann die Transformation erfolgreich sein.²⁹⁵

Eine andere Studie von Haartman, der in diesem Paper Aufmerksamkeit zuteilwird, ergänzt die Erkenntnisse um die leanorientierten Ansätze in der Produktion in Unternehmen und stellt hierzu Parallelen zur Implementierung von digitalen Lösungen. Die Lean-Prinzipien sollen die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Dieselben Ziele werden heutzutage jedoch auch digitalen Lösungen zugeordnet. Diese sollen sogar ein höheres Potenzial haben. Lean-Prinzipien in Unternehmen wirken sich nicht nur positiv auf die Performance in Unternehmen aus. Lean-Ansätze sind laut dieser Studie eine Voraussetzung für den Einsatz digitaler Technologien in der Produktion und somit auch für die Transformation in Richtung Industrie 4.0.²⁹⁶

In einer anderen Studie von Gamache et al., die den Geschäftspraxis-Ansatz unterstreicht, wurden bestimmte Geschäftspraktiken genannt, die sich langfristig positiv auf die Effektivität in KMU auswirken sollen. Dazu gehören die Verfügbarkeitsrate, die Effektivitätsrate, die Qualitätsrate, die Gesamtanlageneffektivität am Engpass und die globale Gesamtanlageneffektivität. Die Autoren unterscheiden insgesamt 15 Variablen, die einen großen Einfluss auf die Unternehmensperformance haben, u.a. der Geschäftssektor, die Verwendung eines Qualitätssicherungssystems, das Vorhandensein und die Verwendung eines ERP-Systems, die Verwendung eines Kanban-Systems, der Einsatz eines kontinuierlichen Verbesserungsteams usw.²⁹⁷

Eine wichtige Erkenntnis in Bezug auf die Vielfalt von Geschäftspraktiken, war hier ebenfalls die Hervorhebung der Lean-Prinzipien und die kontinuierliche Verbesserung als Voraussetzungen, um den KMU den Einstieg in die digitale Transformation, somit in Richtung Industrie 4.0, zu erleichtern.²⁹⁸

Als Schlussfolgerung wurde in dem Paper betont, dass nicht nur die digitalen Technologien und die digitale Bereitschaft eine große Rolle spielen. Hinzu kommt auch der menschliche und strategische Aspekt, um die Konsistenz zwischen Mitarbeitern und neuen Technologien gewährleisten zu können. Damit KMU erfolgreich bei der Implementierung von Industrie 4.0 sind, ist es sehr wichtig zu analysieren, wo das jeweilige Unternehmen aktuell steht und wie es sich abheben möchte, um seine Entscheidungen gezielt auf die Transformation von Industrie 4.0 ausrichten zu können.²⁹⁹

²⁹⁵ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217.

²⁹⁶ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217.

²⁹⁷ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217-1218.

²⁹⁸ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1218.

²⁹⁹ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1219.

2. (DEX)-Methodik

Die zweite Studie erkennt das Problem als das der Bewertung der digitalen Reife für KMU. Zu diesem Zweck wurde ein Multi-Attribute-Modell zur Bewertung der digitalen Reife eines KMU entwickelt. Die Studie verfolgt den Forschungsansatz der Design Science, bei dem das Multi-Attribute-Modell als IT-Artefakt betrachtet wird. Innerhalb des Designzyklus wurde die sogenannte (DEX)-Methodik (decision expert) einer breiteren Multi-Attribute-Entscheidungsfindungsmethodik angewendet.³⁰⁰

Die Studie betont die Wichtigkeit der Entwicklung eines explizit für KMU zugeschnittenen Referenzmodells auf Grund eines hohen Bedarfs an spezifischen Modellen, die auf KMU ausgerichtet sind. Solche Reifegradmodelle können als Wegweiser für KMU genutzt werden. Die Modelle können KMU zeigen, wo sie sich befinden und welche Schritte als Nächstes erforderlich sind, um die gewünschten Ergebnisse auf ihrem Weg der digitalen Transformation zu erzielen.³⁰¹

Die oben genannte DEX-Methodik liefert eine Antwort auf die Frage, ob ein umfassendes Multi-Attribute-Modell verwendet werden kann, um unterschiedliche digitale Reifegrade in KMU zu bewerten. Diese Methode kombiniert die Idee eines Top-Down-Ansatzes, indem ein komplexes Problem in kleinere Probleme hierarchisch zerlegt wird, mit einem Bottom-Up-Bewertungsansatz verglichen mit einem Baum, durch Aggregation von Attributwerten von den Blättern bis zum Wurzelknoten. Die Blätter des Baumes werden als Basisattribute bezeichnet. Basisattribute sind in einer baumartigen Hierarchie zu aggregierten Attributen verbunden. Die Wurzel des Baums ist ein einzelnes Attribut, das alle anderen Attribute zu einem einzigen Wert zusammenfasst. Dieser sollte die abschließende Bewertung darstellen. In dem Fall wird der digitale Reifegrad für jedes KMU ermittelt.³⁰²

Es wurden zwei Hauptdimensionen dargestellt: die digitale Fähigkeit (Digital Capability) und die Fähigkeiten der Organisation (Organizational Capability). Die beiden Teilbäume wurden weiter in Gruppen von Attributen unterteilt, die den Dimensionen entsprechen, die die digitale Fähigkeit beschreiben (Technologieeinsatz, Rolle der Informatik, digitales Geschäftsmodell und Strategie) und organisatorische Fähigkeiten (Personal, Organisationskultur und Management). Jede Gruppe wurde weiter unterteilt, sodass der gesamte Attributbaum insgesamt 51 Attribute umfasst (34 Basis- und 17 aggregierte Attribute). Jedem Attribut wurde ein skalenbasierter Domänenwert zugeordnet. Die Werte wurden als geordnete Mengen qualitativer diskreter Werte dargestellt. Beispielsweise sind Werte für das Attribut "Cloud": "Nicht verwenden", "Minimal verwenden", "Mäßig verwenden" und "Strategisch verwenden".³⁰³

Aggregierte Attributwerte werden normalerweise als einfache Drei- oder Vier-Punkte-Skalen dargestellt, geordnet von „schwach“ bis „sehr gut“ oder angepasst an die allgemeingültigen, akzeptierten Skalen, die in der Literatur standardmäßig verwendet werden.³⁰⁴

Die Abbildung 19 stellt den Attributbaum hierarchisch dar.

³⁰⁰ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 1.

³⁰¹ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 3.

³⁰² Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 5.

³⁰³ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

³⁰⁴ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

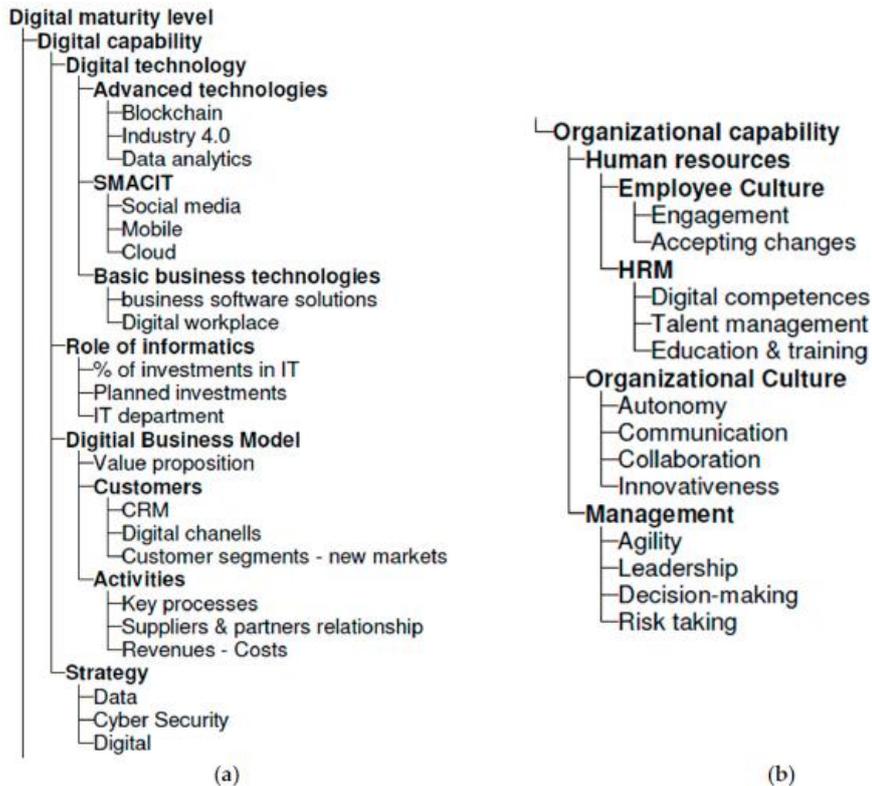


Abbildung 19: Digitales Reifegradmodell – Attributbaum mit zwei Hauptdimensionen³⁰⁵

Die Ermittlung des Reifegrades kann zudem durch die sogenannte Nutzenfunktionen vereinfacht werden. Die Nutzenfunktionen wurden durch leicht verständliche "Wenn-Dann"-Entscheidungsregeln dargestellt. Jede Entscheidungsregel wurde in aggregierter Form dargestellt. Dies soll dabei helfen, die komplexen Beziehungen zwischen Attributen in der Hierarchie besser zu verstehen und die Probleme adäquat zu adressieren.³⁰⁶

In der Abbildung 20 wurden die Hauptdimensionen Digital Capability und Organizational Capability in Relation gesetzt und daraus jeweilige Reifegrade abgeleitet. Abhängig davon, wie die Dimension Digital Capability bewertet wird, wird eine entsprechende Entscheidung in der Dimension Organizational Capability festgelegt. Aus beiden Ergebnissen ergibt sich der digitale Reifegrad.

	Digital capability	Organizational capability	Digital maturity level
	59%	41%	
1	No capability	*	Lagging behind
2	<=Limited	Not ready	Lagging behind
3	Planning:Limited	Planing the change:Slowly changing	Initial
4	Full capability	Not ready	Initial
5	Planning:Limited	Continuous change	Advanced
6	Full capability	Planing the change	Advanced
7	Full capability	>=Slowly changing	Digital winner

Abbildung 20: Ableitung des digitalen Reifegrades anhand von "Wenn-Dann"-Regeln³⁰⁷

³⁰⁵ Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

³⁰⁶ Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 8, eigene Übersetzung.

³⁰⁷ Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 8.

3. Key Readiness Indicators

In der dritten Studie wurde ein Referenzmodell für KMU basierend auf den sogenannten Indikatoren, im Englischen *Key Readiness Indicators* beschrieben, um die digitale Bereitschaft der KMU zu bewerten. Dieses Konzept wurde unter Berücksichtigung der Nutzung von Key Performance Indicators (KPI) in mehreren Managementthemen, die eine zeitnahe Identifizierung von Aktionsplänen zur Verbesserung der Leistung der Unternehmen ermöglichen. In diesem Zusammenhang wurde versucht, solche Werkzeuge im Bereich der strategischen Planung für Industrie 4.0 zusammenzufassen.³⁰⁸

Das Key-Readiness-Indicators-Modell sollte insbesondere KMU mit weniger dedizierten Ressourcen dabei helfen, die Innovationsprozesse zu managen, und konkrete Interventionsbereiche frühzeitig zu erkennen, noch bevor mit der Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen begonnen wird. Das KRI-Modell berücksichtigt die wesentlichen Aspekte in Bezug auf die Ermittlung des allgemeinen, digitalen Reifegrades. Mal abgesehen von dem erreichten digitalen Reifegrad bietet dieses Modell die Möglichkeit, die Ergebnisse in einem innovativen Format auszuwerten und Verbesserungspotentiale zu erkennen.³⁰⁹

Der methodische Ansatz zur Ableitung der KRI basiert auf einem Self-Assessment-Tool namens „Digital Check“. Um die KRI zu ermitteln, wurde ein Fragebogen mit insgesamt 26 Fragen erstellt, die sich explizit auf die Evaluierung des digitalen Reifegrades bezogen. Die Fragen wurden 5 Dimensionen zugeordnet: D1 bis D5, die in der Tabelle 6 (Anhang) näher erläutert werden. Der daraus resultierende Bereitschaftsgrad bezieht sich auf jede Dimension und wurde aus dem Gesamtdurchschnitt von ausgewählten fünf Punkten anhand von der Likert-Skala von 1 (niedriger Umsetzungsgrad) bis 5 (hoher Umsetzungsgrad) berechnet.³¹⁰

Das Ergebnis der Bewertungsergebnisse bildet ein dreistufiges Readiness-Modell, welches Unternehmen als „Digital Newcomer“ (niedriges digitales Niveau), „Unternehmen in Transition“ (mittleres digitales Niveau) und „Top Performer“ (hohes digitales Niveau) klassifiziert.³¹¹ Aus der Umfrage ergaben sich zudem folgende Indikatoren (KRI), die im Zusammenhang mit der Messung der Vorbereitung von Unternehmen in Richtung Industrie 4.0 stehen: Strategie, Technologie, Anforderungen, Bewusstsein für digitale Trends und Kompetenzen der Angestellten. Diese Indikatoren wurden automatisch ermittelt anhand von spezifischen Kombinationen von Antworten des Unternehmens bei der Erstellung des Digital Checks.³¹²

4. Messung der digitalen Geschäftsmodellreife

In der vierten Studie wurde ein Framework zur Messung der digitalen Geschäftsmodellreife, insbesondere für KMU, vorgestellt. Zu den verwendeten Methoden gehörten eine umfangreiche Forschung und ein strukturierter Online-Fragebogen. Der Rahmen für die Reifegradmessung basiert auf drei Kernkomponenten digitaler Geschäftsmodelle – Inhalt (*Content*), Erfahrung (*Experience*) und Plattform. Das vorgestellte Framework soll in der Praxis von

³⁰⁸ Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

³⁰⁹ Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

³¹⁰ Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

³¹¹ Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

³¹² Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

interessierten Unternehmen verwendet werden, mit dem Ziel, ihre eigene digitale Geschäftsmodellreife zu messen.³¹³

Die erste Variable *Inhalt* umfasst sämtliche verfügbaren Informationen, die den BenutzerInnen in digitaler Form zur Verfügung stehen, wie z.B. Produktinformationen, Preise, E-Books, Software usw. Zu dem digitalen Inhalt gehören auch beispielsweise Bewertungen und Erfahrungswerte, die die BenutzerInnen mit anderen digital teilen. Die zweite Variable *Erfahrung* bezieht sich auf die Benutzererfahrung im Hinblick auf digitale Prozesse für KundInnen, Schnittstellen, digitale Tools, Empfehlungen, Transaktionen, Transaktionsverlauf usw. Diese Variable betont auch, dass ein ausgezeichnetes Erlebnis der BenutzerInnen auch mit einem einfachen Kaufprozess in Verbindung steht und dass der gesamte digitale Interaktionsprozess (digitale Reise) für die NutzerInnen angenehm ist.³¹⁴

Die dritte Variable *Plattform* setzt den Fokus auf die gesamte technologische Architektur. Sie ermöglicht die Geschäftsprozesse sowie unterstützt die Verbesserung des Wertangebots. Die Variable umfasst sowohl interne Elemente, wie z.B. eigene Technologie, Kundendaten, Geschäftsprozesse usw., als auch externe Elemente, wie Partner-Technologien, Hardware, öffentliche Netzwerke usw.³¹⁵

Auch in dieser Studie wurden Unternehmen befragt. Dies diente als Grundlage dazu, ein entsprechendes Rahmenwerk zu erstellen. Alle Unternehmen, die an dieser Umfrage teilgenommen haben, waren KMU. Es gab insgesamt 162 KMU aus 42 Ländern. Die überwiegende Mehrheit der Befragten waren DirektorInnen und/oder EigentümerInnen dieser Unternehmen, die Tatsache betonen soll, dass sie mit dem Geschäftsmodell der Unternehmen bestens vertraut waren. Im Fragebogen wurde auch in dieser Studie eine 5-Punkte-Likert-Skala von 1 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 5 („stimme voll und ganz zu“) verwendet, die jeder Aussage entsprechend zugeordnet wurde.³¹⁶

Im Gegensatz zu anderen Modellen, die vorgestellt wurden, die den Fokus auf die digitale Reife von KMU im Allgemeinen setzen und sich mit den theoretischen Aspekten der digitalen Reife der Geschäftsmodelle beschäftigen, konzentriert sich diese Studie auf die Validierung eines Referenzmodells zur empirischen Messung digitaler Reife der Geschäftsmodelle.³¹⁷

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass es die größte Lücke in der Variable *Inhalt* gibt, was ein Indiz dafür sein kann, dass das Thema Transformation der Geschäftsmodelle in Richtung Digitalisierung noch nicht bei allen KMU angekommen ist und/oder KMU sind nicht vollumfänglich in dieses Thema involviert. Zudem wurde eine Lücke im Bereich *Erfahrung* entdeckt, vor allem in Bezug auf die BenutzerInnen-Erfahrungen und KundInnen-Meinungen. Des Weiteren gibt es auch ein Optimierungspotential, wenn es sich um das Thema *Plattform* handelt. Hier gibt es eine Lücke in der Integration mit anderen externen Systemen, was auf eine Notwendigkeit einer weiteren Digitalisierung hindeuten kann.³¹⁸

³¹³ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 1, eigene Übersetzung.

³¹⁴ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3, eigene Übersetzung.

³¹⁵ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3, eigene Übersetzung.

³¹⁶ Vgl. Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3.

³¹⁷ Vgl. Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 5.

³¹⁸ Vgl. Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 5.

5. Digitales Reifegradmodell für KMU anhand ihrer Anforderungen

Diese Studie zielt darauf ab, die Anforderungen der KMU durch Analyse und eine deduktive Methode zu ermitteln, die derzeit an digitalen Reifegradmodellen für Unternehmen fehlen. Die Ergebnisse geben den LeserInnen einen tieferen Einblick in die Anforderungen von KMU in Bezug auf digitale Reifegradmodelle. Diese Ergebnisse und der Hinweis auf fehlende Anforderungen in bestehenden Reifegradmodellen können bei der Entwicklung zukünftiger Reifegradmodelle unterstützen.³¹⁹

Die Studie erkennt ebenfalls die Notwendigkeit der Anpassung von aktuellen Geschäftsmodellen in KMU. Sollten sich KMU mit den Themen disruptive Technologien und neues Konsumverhalten bzw. -muster nicht ausreichend befassen, besteht die Gefahr, dass sie nicht mehr wettbewerbsfähig sind. Die AutorInnen betonen, dass vor allem der deutsche Mittelstand dieser Gefahr ausgesetzt ist. Um den aktuellen Digitalisierungsstand eines Unternehmens zu bestimmen, bietet sich an, ein digitales Reifegradmodell als eine effiziente Lösung hierfür einzusetzen.³²⁰

Das Themengebiet Reifegradmodelle wurde umfangreich erforscht. Im Mittelpunkt der Recherche befanden sich Themen aus den Bereichen IT-Management, Geschäftsprozesse sowie digitale Fähigkeiten bzw. Kompetenzen. Es wurde festgestellt, dass Reifegradmodelle für die Digitalisierung in Unternehmen bestimmte Eigenschaften in bestimmten Dimensionen zu einem bestimmten Zeitpunkt zusammenfassen müssen. Reifegradmodelle dienen dazu, den Ist-Zustand und den Grad der digitalen Reife im Kontext der digitalen Transformation (z.B. in Bezug auf Kompetenz, Leistung und Erfahrungsniveau) zu bestimmen, mit dem Ziel, zukünftige Maßnahmen und Empfehlungen abzuleiten.³²¹

Das Forschungsdesign dieser Studie besteht aus drei Teilen. Zuerst wurden praktische, qualitative Daten gesammelt. Demzufolge wurden KMU bezüglich der Anforderungen an digitale Reifegradmodelle befragt. Des Weiteren wurde eine systematische Literaturrecherche in Bezug auf bestehende Ansätze zu diesem Thema durchgeführt. Im letzten Schritt wurden theoretische und praktische Ergebnisse verglichen und es wurde überprüft, wie digitale Reifegradmodelle für KMU in Zukunft verbessert werden können.³²²

Die AutorInnen haben vier digitale Reifegradmodelle analysiert, wie diese die Anforderungen von KMU erfüllen. Die Untersuchung basierte auf Interviews und Workshops des InnoSÜD-Forschungsprojekts „Digitaler“ Reifegrad@Mittelstand.“ Es stellte sich heraus, dass keines der bestehenden Modelle alle Anforderungen erfüllen kann. Somit konnten daraus Empfehlungen zur Verbesserung zukünftiger Modelle abgeleitet werden.³²³

Die Antworten von KMU wurden auf verschiedene Dimensionen geclustert. Dazu gehörten (digitale) Strategie, die Interaktion mit PartnerInnen und LieferantInnen über eine Partner-

³¹⁹ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 94-95.

³²⁰ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 87.

³²¹ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 89.

³²² Schallmo u.a. 2021, S. 90, eigene Übersetzung.

³²³ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

schnittstelle, die Prozesse des Unternehmens, MitarbeiterInnen und verwendete Technologien, die Interaktion mit KundInnen über eine Kundenschnittstelle sowie die Produkte und Dienstleistungen des Unternehmens.³²⁴

Entsprechend der Analyse waren interne Prozesse, Produkte und Services sowie die digitale Gesamtstrategie die wichtigsten Verbesserungsbereiche. Die Befragten gaben an, dass Prozesse oft sehr analog waren, was auf die Verwendung von viel Papier hindeutete. Dies erschwert die Interaktion zwischen KundInnen über ihre Schnittstelle.³²⁵

Zudem stellte sich heraus, dass IT-Systeme in diesem Zusammenhang sehr veraltet sind die IT-Infrastruktur nicht harmonisiert ist. Bei Produkten und Dienstleistungen wurde das Potenzial neuer Technologien, wie z.B. Künstliche Intelligenz oder mobile Apps, um bestehende Produkte aufzurüsten und die Service-Portfolio, bereits erkannt. Diese Initiativen schreiten jedoch langsam wegen des Ressourcenmangels und fehlenden Know-how der MitarbeiterInnen voran.³²⁶

Auch Erkenntnisse in Bezug auf die digitale Strategie wurden in diesem Kontext abgeleitet. Den Unternehmen ist bewusst, dass etwas getan werden muss. Deswegen ist die Bestimmung des digitalen Reifegrades ein guter Weg, um Potenziale und Empfehlungen für weitere Maßnahmen zu entdecken und eine Digitalisierungs-Roadmap inkl. Prioritäten, zu erstellen.³²⁷

Die Abbildung 21 zeigt die Erkenntnisse in Bezug auf die vier bestehenden Reifegradmodelle:

- Industrie 4.0-Readiness-Modell,
- Digitaler Reifegrad von Schweizer KMU,
- Industry 4.0/Digital Operations Selfassessment,
- Potentialanalyse 4.0.

³²⁴ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

³²⁵ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

³²⁶ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

³²⁷ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

Requirements/ dimensions	Industrie 4.0- readiness- Modell	Digitaler Reifegrad von Schweizer KMU	Industry 4.0/Dig. operations self- assessment	Potentialanalyse 4.0
Strategy	○	●	●	○
Partner interface		○		○
Processes	○	●	●	●
Employees	○	●	●	●
Technologies	○	●	●	●
Customer interface		●	●	○
Products and services	○	●		●

●—Included in the model

○—Partly included in the model

Blank—Not included in the model

Abbildung 21: Aktuelle Reifegradmodelle vs. Anforderungen von KMU³²⁸

Wie bereits erwähnt, decken sie nicht alle Anforderungen der KMU ab. Sie berücksichtigen nur teilweise die Aspekte des Unternehmens (Prozesse, Mitarbeiter und Technologien) sowie die digitale Gesamtstrategie. Letzteres sowie die internen Prozesse wurden auch als die wichtigsten Verbesserungsbereiche von den befragten Interviewpartnern gesehen. Die Partnerschnittstelle und manchmal die Kundenschnittstelle sind in einigen der analysierten, bestehenden Ansätze vernachlässigt. Es wurde zudem festgestellt, dass der Fragebogen auch um Aspekte der Digitalisierung ergänzt werden soll, um den Reifegrad der Digitalisierung bestimmen zu können.³²⁹

6. Readiness-Modell zur Integration von IKT und CPS für KMU „Smart Logistics“

Das in dieser Studie vorgestellte Modell kann von Unternehmen (auch von KMU) zur Bewertung der Integrationsbereitschaft von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT, in Englisch ICT – Information and Communication Technology) und CPS für eine smarte Logistik verwendet werden. Es besteht aus fünf wesentlichen Säulen: Produktion, Technologie, Menschen, Logistik und Strategie. Jede Säule umfasst mehrere Prozessbereiche. Die Organisationen, die in jedem Prozessbereich beschriebenen Kriterien erfüllen, können den jeweiligen Prozessbereich akkreditieren. Das Readiness-Modell ist in 5 Stufen eingeteilt.³³⁰

Die erste Ebene *Initial* ist die Anfangsphase der Technologieimplementierung. Um diese Stufe zu erreichen, müssen die Organisationen das Potenzial ihrer Produkte verstehen. Dementsprechend müssen sie eine grundlegende Machbarkeitsstudie durchführen. In der zweiten Stufe *Trial* wird mit der Pilotintegration begonnen. Dazu gehören mehrere Ad-hoc-Prozesse, die gegebenenfalls zu Fehlern und Mängeln führen können. Diese Phase stellt die Grundlage für fortgeschrittenere Technologien dar, die später implementiert werden sollen. Deswegen ist sie von großer Relevanz.³³¹

Die dritte Stufe *Organized* definiert die Organisationen, die bereits die IKT und CPS in Produktionslinien einsetzen. Obwohl Mängel regelmäßig gefunden werden können, scheinen

³²⁸ Schallmo u.a. 2021, S. 94.

³²⁹ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 94.

³³⁰ Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 205.

³³¹ Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 206.

die Organisationen die Vorteile dieser Technologien zu erkennen und wollen diese auch zukünftig nutzen. In der vierten Stufe *Automated* bauen Organisationen ihr Wissen auf und versuchen, ihre Kerngeschäftsprozesse teilweise zu automatisieren. Die letzte, fünfte Stufe *Optimized* identifiziert die Organisationen, die ihre technologische Nutzung optimieren und ihre Perspektiven kontinuierlich verbessern. Alle Prozessbereiche in dieser und untergeordneten Ebenen müssen erreicht werden, um die volle, technologische Bereitschaft zur Integration von IKT und CPS aufzuweisen.³³²

Laut Autoren eignet sich dieses Bereitschaftsmodell sowohl für KMU als auch für größere Organisationen. Je nach Größe, Ausrichtung und Markt können KMU dieses Modell verwenden, um ihre Bereitschaft anhand von den in jedem Prozessbereich identifizierten Ziel- und Bestandskriterien zu bewerten. Es soll KMU dabei unterstützen, ihre Probleme zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen einzuleiten.³³³

Das Modell kann somit als Referenzmodell für die Bewertung von Organisationen, insbesondere für KMU, verwendet werden, das darauf abzielt, ihre technologische Bereitschaft für intelligente Logistik zu messen. Anhand davon können Entscheidungen bzgl. weiterer Investitionen getroffen werden.³³⁴ Zu den Prozessbereichen (von A bis E) gehören die Produktion, Technologie, Menschen, Logistik sowie Strategie. Jede oben genannte Säule und spezielle Evaluierungs- und Prozessbereiche stellt die Abbildung 22 dar.

Readiness Level	Process Areas				
	A-Production	B-Technology	C-People	D-Logistics	E-Strategy
5-Optimized	A-5-1 Agility	B-5-1 Intelligence			E-5-1 Strategy
4-Automated	A-4-1 Quality A-4-2 Real-time Status A-4-3 Automation	B-4-1 Digitization	C-4-1 Culture		
3-Organized	A-3-1 Operations	B-3-1 Security B-3-2 Networking	C-3-1 Stakeholders	D-3-1 Internal Logistics D-3-2 Transportation	E-3-1 Governance
2-Trial	A-2-1 Facilities	B-2-1 Implementation	C-2-1 People		
1-Initial	A-1-1 Products				

Abbildung 22: Readiness-Modell zur Integration von IKT und CPS für KMU³³⁵

7. Maßnahmen für eine erfolgreiche digitale Transformation von KMU

Die nächste Studie befasst sich mit den Maßnahmen für eine erfolgreiche digitale Transformation von KMU. Als Forschungsmethode wurde die Methode von EISENHARDT gewählt. Im Kontext der Digitalisierung wurden 11 Unternehmen analysiert. Aus dieser Analyse ergaben sich insgesamt 18 verschiedene Digitalisierungsmaßnahmen für KMU, die vier unterschiedlichen Clustern und Reifegraden zugeordnet wurden. Damit wurde ein Referenzmodell entwickelt, welches auf einem Zielreifegrad basiert. Sollten die empfohlenen Maßnahmen von KMU entsprechend umgesetzt werden, muss im nächsten Schritt die Frage beantwortet werden, wie die umgesetzten Maßnahmen in die bestehende IT-Architektur und IT-Infrastruktur eingebettet werden können. Um eine digitale Transformation mit der IT-

³³² Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 206.

³³³ Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 206.

³³⁴ Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 189.

³³⁵ Ramingwong u.a. 2021b, S. 193.

Strategie im Einklang zu bringen, müssen Ansätze des digitalen Architekturmanagements für KMU methodisch vorbereitet werden.³³⁶

Die Tabelle 2 stellt die gruppierten Digitalisierungsmaßnahmen für KMU inkl. der ermittelten Reifegrade.

Tabelle 2: Überblick über Digitalisierungsmaßnahmen³³⁷

Nr.	Maßnahme	Industrie 4.0 Reifegrad	Cluster
1.	Tracking and Tracing	2	Ressourcen
2.	Papierlose Produktion	2	
3.	IT/OT Integration	3	
4.	Plattform „Digital Shadow“	4	
5.	ERP-Implementierung	1	Informationssysteme
6.	Adaptive Produktions- und Logistikplanung	4	
7.	Dokumenten-Management-System	1	
8.	EDI	2	
9.	Systematische Analyse von Fehlern und Ausschüssen	3	
10.	Analyse der Produktions- und Qualitätsdaten	3	
11.	Zustandsüberwachung	3	
12.	Innovationsgemeinschaft	3	Organisation und Kultur
13.	Betriebsbesprechungen	1	
14.	IT-Kompetenz der MitarbeiterInnen	4	
15.	Prozessmanagement	1	
16.	Moderne Vertriebskanäle	2	
17.	Data Governance	2	
18.	Lean Management	1	

³³⁶ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 290.

³³⁷ in Anlehnung an Stich u.a. 2020, S. 288.

In dieser Studie wurden KMU vier Schritte vorgeschlagen, um eine individuelle Roadmap für die digitale Transformation zu erstellen.

Im ersten Schritt sollten die Unternehmensstrategie, Ziele und Rahmenbedingungen bzw. Umfeld näher analysiert werden. Es handelt sich dabei darum, die Kernziele zu beleuchten und festzulegen, welchen Beitrag die digitale Transformation leisten kann, um diese Ziele effizient und effektiv zu erreichen. Stich et al. unterstreichen den Aspekt, dass KMU heutzutage den Fokus auf die Kostenreduzierung sowie Nachhaltigkeit setzen. Die Kostensenkung beeinflusst den Unternehmensgewinn. Die Nachhaltigkeit wirkt sich positiv auf das sogenannte grüne Image des Unternehmens.³³⁸

Im zweiten Schritt handelt es sich um die Festlegung des gewünschten Industrie-4.0-Reifegrades. Zu diesem Zweck muss zunächst der Status quo ermittelt werden. Die Lücke zwischen dem aktuellen und erwünschten Reifegrad kann durch entsprechende Maßnahmen geschlossen werden.³³⁹

Im dritten Schritt werden die reifegradspezifischen Digitalisierungsmaßnahmen ausgewählt, die bisher noch nicht umgesetzt wurden. Im vierten und letzten Schritt werden die Maßnahmen den Unternehmenszielen zugeordnet und in eine chronologische Reihenfolge gebracht. Daraus ergibt sich eine Wechselbeziehung zwischen den Maßnahmen, die aufeinander aufbauen, und dem ermittelten Reifegrad, sobald eine Maßnahme umgesetzt wird.³⁴⁰

8. Reifegradmodell der Digitalisierung für KMU

Die Studie beschäftigt sich ebenfalls mit der Ermittlung des digitalen Reifegrades von KMU. In Bezug auf die Entwicklung eines Reifegradmodells für KMU befinden sich die AutorInnen auf dem aktuellen Forschungsstand. Das Reifegradmodell repräsentiert die Ist-Analyse des Digitalisierungsgrads von KMU im Rahmen des Gesamtprojekts „UsePSS“ Best-Practice-Modell für die Erstellung von Produkt-Service-Systemen (PSS) durch die Kombination physischer Produkte und digitaler Dienstleistungen. Darüber hinaus sollen mit Hilfe des Modells auch bestimmte Zusammenhänge identifiziert werden.³⁴¹

Das entwickelte Reifegradmodell umfasst sechs Dimensionen. Das Modell wurde in einen Fragebogen transferiert. Die Dimensionen beinhalten mehrere Unterkategorien, die die Inhalte des Fragebogens abbilden. Daraus ist eine branchenübergreifende Umfrage entstanden. Aus den Ergebnissen soll eine allgemeine Empfehlung zur Vorgehensweise bzgl. der Digitalisierung eines Unternehmens abgeleitet werden.³⁴²

Es wurden folgende Dimensionen für das Reifegradmodell ermittelt:

- Strategie und Führung,
- Unternehmenskultur und Organisation,
- IT-Infrastruktur,

³³⁸ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 290.

³³⁹ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 290.

³⁴⁰ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 290.

³⁴¹ Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 1.

³⁴² Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 1.

- Datenreife,
- Prozesse und Abläufe,
- Produkt (Nutzungsphase).³⁴³

Für den Gesamtreifegrad wurde das Ergebnis jeder Dimension je nach Relevanz der jeweiligen Dimension im Hinblick auf die digitale Transformation gewichtet. Da das angegebene Gewicht pro Dimension je nach Branche, zu der das Unternehmen gehört, abweichen kann, wurde entschieden, dass die spezifische Branchengewichtung für den Zweck dieser Studie nicht gilt und auf einer allgemeinen Bewertung basiert. Der Gesamtreifegrad wird mit dem angegebenen Gewicht und dem Ergebnis pro Dimension aus dem gewichteten, nicht klassifizierten, arithmetischen Mittel berechnet.³⁴⁴

Des Weiteren wurden drei Reifegradstufen identifiziert. Diese sind der Tabelle 3 zu entnehmen:

Tabelle 3: Reifegrade³⁴⁵

Stufe	Beschreibung	Punkte / digitale Reife
Stufe 1	erster Digitalisierungsschritt, welcher unter- nommen wird; Ansätze bisher noch nicht aus- gereift ³⁴⁶	>0 Punkte
Stufe 2	einige Digitalisierungsschritte werden offiziell beschrieben und entsprechend ausgeführt ³⁴⁷	>2 Punkte
Stufe 3	Quantitative Ziele und ihre Bewertung sind ge- setzt; Reflexion und Anpassung der Maßnah- men von Digitalisierung. ³⁴⁸	>3 Punkte

Die Ergebnisse des Gesamtreifegrads zeigen, dass die Unternehmen teilweise sehr weit voneinander entfernt sind, was das Thema Digitalisierung betrifft. Der Reifegrad variiert für jedes Industriesegment. Je nach Reifegrad, den die Unternehmen erreichen, sind unterschiedliche Start-Positionen der KMU zu beachten. Demzufolge werden verschiedene Maßnahmen durchgeführt. Das Reifegradmodell soll eine Orientierung geben, wo das Unternehmen steht, um die richtigen Schritte zu planen. Darüber hinaus soll es unabhängig von der Branche nützlich sein. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass unterschiedliche Branchen unterschiedliche Anforderungen stellen, sodass die Gewichtungen pro Di-

³⁴³ Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5.

³⁴⁴ Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5.

³⁴⁵ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

³⁴⁶ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

³⁴⁷ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

³⁴⁸ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

mension variieren kann und eventuell zusätzliche spezifische Produkte hinzukommen können. Daher empfehlen die AutorInnen eine zusätzliche oder angepasste spezifische Analyse.³⁴⁹

9. Auf dem Weg zu einer intelligenten Fertigungsreife – Modell für KMU (SM³E)

Dieses Paper stellt ein neues Smart Manufacturing Maturity Model SM³E für KMU vor. Es ist ein Drei-Achsen-Modell. Das SM³E-Reifegradmodell soll KMU auf dem Weg zur digitalen Transformation und zu dem Paradigmenwechsel bis hin zu Smart Manufacturing und Industrie 4.0 unterstützen. Die Entwicklung des SM³E-Reifegradmodells basierte auf einer Literatur- und Kritikerbetrachtung sowie Interviews, welche während Industriebesuchen durchgeführt wurden. Die KMU-spezifischen Anforderungen wurden gesammelt, bewertet und bei der Entwicklung des Reifegradmodells SM³E entsprechend berücksichtigt. Die Analyse der Reifegrade, die auf den Arbeitsmethoden und Toolboxen basiert, soll KMU dabei unterstützen, Fortschritte in Richtung Smart Manufacturing und Industrie 4.0 zu machen.³⁵⁰

Die AutorInnen haben erkannt, dass in den Reifegradmodellen, die in der Literatur zu finden sind, oft eine KMU-spezifische Perspektive fehlt und sie nicht ihre besonderen Anforderungen ausreichend widerspiegeln. Dies ist dann der Fall, wenn es darum geht, das SM/Industrie 4.0-Paradigma zu übernehmen. Oft ist in den Standardmodellen die Dimension Organisation nicht klar definiert. Dies macht die Nutzung der Modelle von KMU zum Teil unrealistisch, denn gerade diese Dimension repräsentiert die Organisationsbereiche und/oder Unternehmensfunktionen und die Reifegrade bieten einen schrittweisen Ansatz zur „Reife“ in jeder dieser Organisationsdimensionen.³⁵¹

Das SM³E-Reifegradmodell umfasst drei Dimensionen, welche wie folgt unterteilt werden:

- Organisation:
 - Finanzen,
 - Menschen,
 - Strategie,
 - Prozesse,
 - Produkte.³⁵²

- Das SM³E-Reifegradmodell-Toolkit besteht aus den nachfolgenden sieben Toolboxen:
 - Fertigung/Fertigungs-Toolbox,
 - Design- und Simulations-Toolbox,
 - Robotik und Automatisierungs-Toolbox
 - Sensoren- und Konnektivitäts-Toolbox,
 - Cloud-/Speicher-Toolbox,

³⁴⁹ Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 8.

³⁵⁰ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 155.

³⁵¹ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 156.

³⁵² Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 159, eigene Übersetzung.

- Daten-Analytics-Toolbox
- Business-Management-Toolbox.³⁵³

Die sieben Toolboxen sollen KMU dabei helfen, verschiedene Technologien, Fähigkeiten und Geschäftspraktiken, die in KMU erforderlich sind, in das SM/Industrie 4.0-Paradigma zu übernehmen. Diese berücksichtigen sowohl den technischen als auch den Management-Aspekt.³⁵⁴

- Reifegrade:
 - 1. *Novice* (Novize) repräsentiert Organisationen, die weitgehend noch unbewusst bzgl. SM/Industrie 4.0-Paradigma sind,
 - 2. *Beginner* (Anfänger) bedeutet ein neues Bewusstsein und Grundverständnis des SM/Industrie 4.0-Paradigmas,
 - 3. *Learner* (Lernende) steht für ein KMU, das begonnen hat, mit SM/Industrie 4.0-Technologien zu experimentieren,
 - 4. *Intermediate* (Mittelstufe) impliziert erfolgreiche Pilotprojekte mit SM/Industrie 4.0-Technologien in verschiedenen organisatorischen Domänen,
 - 5. *Experte* verkörpert ein KMU, das SM/Industrie 4.0 einsetzt; Technologien sind strategisch ausgerichtet und könnte daher als „KMU 4.0“ bezeichnet werden.³⁵⁵

Die Gültigkeit der Elemente des Reifegradmodells kann hauptsächlich durch Industrieumfragen bestätigt werden. Dies macht Reifegradmodelle zu einer praktikablen Option zur Unterstützung der Fertigung von KMU auf dem Weg zur erfolgreichen Realisierung von SM/Industrie 4.0-Fähigkeiten.³⁵⁶

Die Abbildung 23 stellt das SM³E-Reifegradmodell graphisch dar.

³⁵³ Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 160-161, eigene Übersetzung.

³⁵⁴ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 160-161.

³⁵⁵ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 160.

³⁵⁶ Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 157, eigene Übersetzung.

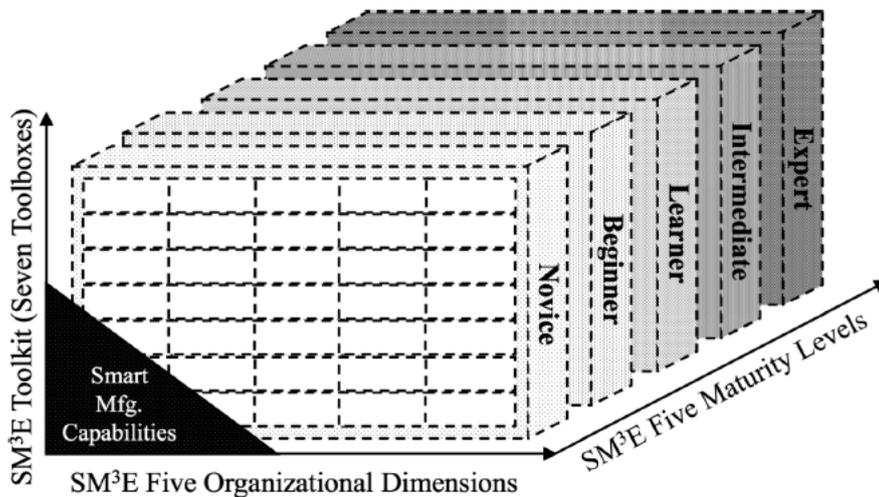


Abbildung 23: Das SM³E-Reifegradmodell³⁵⁷

Die fünf Organisationsdimensionen sind auf der X-Achse dargestellt. Den modular aufgebauten Baukasten mit seinen sieben einzelnen komplementären Toolboxes stellt die Y-Achse dar, die von den schrittweisen Ansätzen durch fünf Reifegrade unterstützt wird. Die Reifegrade repräsentiert somit die Z-Achse.³⁵⁸

10. Entwicklung eines Industrie 4.0 Reifegradindex für KMU – „Quick CheckUp“

Diese Studie beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Industrie 4.0-Reifegradindex für KMU. Die AutorInnen unterstreichen die Bedeutung der Digitalisierung für Produktion und Service, die in Unternehmen rasant wächst. Insbesondere KMU haben mit Unsicherheiten im Hinblick auf die aktuellen, zu erwartenden, digitalen Fähigkeiten zu kämpfen. Diese wirken sich auf die Wertschöpfungsketten aus und stellen in KMU ein Hindernis bei der Umsetzung von Industrie 4.0 dar. Obwohl aktuell viele Reifegradmodelle vorhanden sind, zeigen Bedarfsanalysen, dass keine der existierenden Methoden die Anforderungen von KMU vollständig erfüllen. Dieses Paper stellt eine neue Methode vor, die auf KMU zugeschnitten ist, die explizit auf die Anforderungen von KMU eingeht. Zudem stellen die AutorInnen das Erfolgspotenzial dieser Methode in Aussicht.³⁵⁹

Die AutorInnen unterstreichen die Tatsache, dass kommerziell verfügbare Reifegradmodelle entweder sehr zeitaufwendig und teuer oder sehr allgemein gehalten sind, was eine individuelle Analyse der KMU erheblich erschwert. In einem Workshop mit sechs Vertretern von KMU wurde ein Katalog erstellt und validiert, um eine Methode zu entwickeln, die die Anforderungen von KMU vollständig erfüllt.³⁶⁰

Es wurden folgende Voraussetzungen für ein Industrie 4.0-Reifegradmodell für KMU identifiziert:

- reduzierter Zeit- und Kostenaufwand,
- Einbindung individueller Unternehmensziele,

³⁵⁷ Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 158.

³⁵⁸ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 158.

³⁵⁹ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 129.

³⁶⁰ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 132.

- signifikante Ergebnisse (Positionierung in Bezug auf Industrie 4.0),
- Unterstützung bei der Interpretation der Ergebnisse,
- eigenständige Entwicklung von Maßnahmen,
- kein Fachwissen erforderlich (einfache, verständliche Methodik) sowie
- eine software- und internetbasierte Anwendung.³⁶¹

In diesem Kontext wurden fünf gängige Reifegradmodelle untersucht und evaluiert. Die Analyse hat bestätigt, dass keines der bestehenden Modelle die Bedürfnisse von KMU erfüllt.³⁶²

Basierend auf dem Fraunhofer-IFF Industrie 4.0-CheckUp-Modell wurde ein auf KMU zugeschnittenes Reifegradmodell entwickelt, die KMU dabei unterstützen soll, die Hürden bei der Umsetzung von Industrie 4.0 zu beseitigen. Das Modell „Quick CheckUp“ besteht aus fünf Stufen der Industrie 4.0-Integration:

- Normen (Stufe 1),
- Big Data (Stufe 2),
- Smart Data (Stufe 3),
- dunkle Fabrik (Stufe 4),
- industrielles Ökosystem (Stufe 5).³⁶³

Der Quick CheckUp bezieht sich auf den gesamten Produktlebenszyklus, um Potenziale für Verbesserungen in Unternehmen zu identifizieren. Daraus ergeben sich somit fünf Unternehmenseinheiten:

- Unternehmensführung,
- Entwicklung,
- Herstellung,
- Lieferkette und
- Service.³⁶⁴

Diese Einheiten wurden den Themenbereichen entsprechend zugeordnet. Die Daten wurden durch eine Umfrage erhoben. Die Fragen wurden an jede Unternehmenseinheit adressiert und bezogen sich auf die entsprechenden Schlüsselthemen zur Integration der Industrie 4.0. Zudem ist in dieser Methode eine Option zur unabhängigen Gewichtung enthalten, die die individuellen Ziele der KMU berücksichtigt.³⁶⁵

Der in diesem Paper vorgestellte, stufenübergreifende CheckUp stellt ein umfassendes Set von Werkzeugen und Methoden zur Entwicklung einer inkrementellen Migration zu Industrie 4.0. Es soll Unternehmen u.a. dabei unterstützen, ihre eigene Position zu bewerten, das Bewusstsein in Bezug auf Industrie 4.0 zu entwickeln, den Wandel aktiv mitzugestalten und

³⁶¹ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 132, eigene Übersetzung.

³⁶² Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 132.

³⁶³ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133, eigene Übersetzung.

³⁶⁴ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133, eigene Übersetzung.

³⁶⁵ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133.

disruptive Geschäftsmodelle zu entwickeln. Digitalisierung aller Prozesse, die von IT unterstützt werden, und die damit einhergehende Vernetzung von lokalen Lösungen tragen laut AutorInnen zur Steigerung der Wertschöpfung bei. Mit Hilfe des Industrie 4.0 CheckUp sollen solide und bewertbare Empfehlungen für konkrete Handlungsoptionen abgeleitet werden.³⁶⁶

11. Dreistufiges Reifegradmodell für KMU in Richtung Industrie 4.0

Das Hauptziel des Innovationsprojekts war die Entwicklung eines Referenzmodells für KMU, um die Herausforderungen im Hinblick auf die Industrie 4.0 anzugehen. Das Ziel war es, Unternehmen dabei zu unterstützen, neue Diversifizierungsmöglichkeiten in Bereichen der Industrie 4.0 zu identifizieren. Die AutorInnen haben erkannt, dass diese Unternehmen ihre Kompetenzen und Fähigkeiten in Bezug auf Industrie 4.0 ausbauen und ihre Diversifizierungsmöglichkeiten aktualisieren und verbessern müssen. Das Referenzmodell ist in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen entstanden und soll dabei unterstützen, neue Geschäftsmöglichkeiten im Rahmen von Industrie 4.0 zu identifizieren. Das Reifegradmodell soll eine Projekt-Roadmap definieren.³⁶⁷

Nach Ganzarain und Errasti gewinnt die „Diversifizierungs-Unternehmensstrategie“ im Hinblick auf die Industrie 4.0 an Bedeutung und hat einen großen Einfluss auf die Geschäftsperformance.³⁶⁸ Diese lässt sich durch den Grad der Beteiligung an verschiedenen Unternehmen und die zugrunde liegende Muster der Beziehungen zwischen den verschiedenen Wirtschaftsunternehmen beschreiben. Eine Diversifizierungsstrategie konzentriert sich auf die Erweiterung von Geschäftsbereichen, mit dem Ziel, neue Produkte auf den Markt zu bringen.³⁶⁹

Die AutorInnen betonen, dass in KMU oft die Grundvoraussetzungen, die für eine Diversifizierungsstrategie erforderlich sind, wie Bewusstsein, Wissen, Prozesse, Techniken und Werkzeuge fehlen.³⁷⁰

Das dreistufige Prozessmodell wurde entwickelt, um Unternehmen bei ihrer Industrie 4.0-Vision und Strategiefindung zu begleiten und zu unterstützen. Es sollen neue Möglichkeiten für die Diversifizierung in Bereichen der Industrie 4.0 identifiziert werden.³⁷¹

Die verschiedenen Prozessstufen werden nachfolgend erläutert.

- In Stufe 1, *Vision 4.0*, entwickelt ein KMU mit Hilfe einer aktuellen Kapazitäts- und Ressourcenanalyse eine konkrete Vision für Industrie 4.0.
- In Stufe 2, *Enable 4.0*, versucht das Unternehmen, das Technologieportfolio und die Fähigkeiten zu definieren, die erforderlich sind, um die neue Produkt-Service-Lö-

³⁶⁶ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 134.

³⁶⁷ Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1119.

³⁶⁸ Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1120.

³⁶⁹ Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1121.

³⁷⁰ Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124.

³⁷¹ Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124.

sungen, die in der vorherigen Phase identifiziert wurden, entsprechend zu unterstützen. Hier werden vier strategische Perspektiven beleuchtet: Marktdimension des Unternehmens, Netzwerk, Prozesse und Produkte.

- In Stufe 3, *Enact 4.0*, werden die Industrie 4.0-Projekte umgesetzt, was zur Bildung von den strategischen Rahmen für konkrete Maßnahmen führt.³⁷²

Die verschiedenen Stufen des Reifegradmodells sind:

- 1) *Initial*: Unternehmensspezifische Industrie 4.0-Vision existiert nicht.
- 2) *Gemanagt*: Roadmap für die Vision von Industrie 4.0 ist verfügbar.
- 3) *Definiert*: Kundensegmente, Wertversprechen und Schlüsselressourcen von KMU sind definiert.
- 4) *Transformieren*: Strategie unterteilt in spezifische Aufgaben.
- 5) *Detailliertes Geschäftsmodell*: Das gesamte Geschäftsmodell wird in Richtung Industrie 4.0 transformiert.³⁷³

Das Reifegradmodell stellt die Abbildung 24 dar.

	V 	B 	A 
	ENVISION	ENABLE	ENACT
1MM 	It doesn't exist a company specific industry 4.0 vision		
2MM 	Tailored Industry 4.0 Vision 	Customer segments and customer expectation defined	Portfolio projects without prioritize
3MM 	Develop its understanding I4.0 with specific capabilities and resources	Customer segments and expectation defined and value proposition defined	Projects evaluated and resource and collaboration needed identified
4MM 	Opportunity map described in I4.0	Customer segments and expectation, VPM and technologies/resources defined	Actual and Future portfolio Project detailed
5MM 	Future challenges by the I4.0  	 	 

Abbildung 24: Reifegradmodell zur Industrie 4.0 Revolution³⁷⁴

Eine weitere Studie, die dieses Modell näher beleuchtet hat, betont, dass dieses Modell eine auf Industrie 4.0 zugeschnittene Vision für KMU anerkennt. Daher können KMU ihre finanzielle Situation, die im System vorhandenen Technologien und die aktuellen Fähigkeiten der MitarbeiterInnen analysieren. Allerdings ist die Durchführung der Selbstbewertung ohne klare Anweisungen keine leichte Aufgabe, da den KMU möglicherweise die Erfahrung und das Fachwissen fehlen, um ihre vorhandenen Kapazitäten und Ressourcen zu analysieren und um ihre Vision von Industrie 4.0 zu entwickeln. Die Einstellung eines Beraters zu diesem Zweck ist angesichts der finanziellen Beschränkungen der KMU möglicherweise

³⁷² Vgl. Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124-1125.

³⁷³ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1125, eigene Übersetzung.

³⁷⁴ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1126.

keine praktikable Option. Ebenso erfordert die Mitarbeiterschulung extreme Veränderungen in den KMU-Strategien. Daher muss dieser Ansatz verbessert werden, damit er von KMU umgesetzt werden kann.³⁷⁵

4.6 Evaluierung der Ergebnisse

In Kapitel 4.5 wurden insgesamt 11 wissenschaftliche Studien analysiert, die sich mit der Konzeptionierung verschiedener Reifegrad- bzw. Referenzmodelle beschäftigen. Das Ziel des Kapitels 4.5 war es, die aktuellen, neuen Konzepte bzw. reifegradbasierte Referenzmodelle zu untersuchen. In den Publikationen wurden zum Teil neue, auf KMU zugeschnittene Referenzmodelle aufgebaut bzw. erste Ansätze abgeleitet, die von KMU noch erprobt bzw. evaluiert werden müssen. Die Entwicklung der Referenzmodelle basierte größtenteils auf den verfügbaren Standardrahmenwerken sowie auf der Durchführung von Assessments und Befragungen.

Die in dieser Arbeit vorgestellte zweite Studie unterstreicht die Relevanz der Entwicklung eines explizit für KMU zugeschnittenen Referenzmodells auf Grund eines hohen Bedarfs an spezifischen Modellen, die auf KMU ausgerichtet sind. Es wurde betont, dass Reifegradmodelle eine Orientierung geben können. Solche Modelle können KMU zeigen, wo sie aktuell stehen und welche Schritte als Nächstes angegangen werden sollen, um die gewünschten Ergebnisse auf ihrem Weg der digitalen Transformation zu erzielen.³⁷⁶

Wie bereits in Kapitel 3.4 ausführlich erläutert, sind KMU vor große Herausforderungen gestellt. Eines der größten Hindernisse ist die Bewertung ihrer aktuellen Situation, vor allem in Bezug auf die digitale Technologie. Aus den Studien geht hervor, dass Reifegradmodelle kleinen und mittleren Unternehmen den Weg in Richtung Industrie 4.0 und digitaler Transformation erleichtern sollen. Oft wurde in den Studien auf ihre spezifischen Anforderungen eingegangen.

Aus den Publikationen geht zudem hervor, dass KMU individuell zu betrachten sind und es nicht einfach ist, ein Referenzmodell zu entwickeln, welches ausschließlich von KMU verwendet werden kann. Zur Datenerhebung und -analyse wurden deswegen regelmäßige Befragungen, Workshops, Assessments o.Ä. als Methodik angewandt, um ihren Ist-Zustand zu bewerten und daraus ein entsprechendes Konzept zu entwickeln bzw. bestimmte Maßnahmen abzuleiten und sie entsprechend durchzuführen.

Um ein solches Modell entwickeln zu können, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen. Die Ergebnisse der Untersuchung heben diejenigen Anforderungen hervor, die ein Reifegradmodell erfüllen muss und bestätigen somit die Erkenntnisse, die in Kapitel 4.2 sowie in Kapitel 4.3 zu finden sind.

Es wurde betont, dass ein explizit für KMU zugeschnittenes Referenzmodell sich vor allem durch seine Einfachheit auszeichnen muss, um es überhaupt brauchbar zu machen. Es soll

³⁷⁵ Mittal u.a. 2018, S. 15, eigene Übersetzung.

³⁷⁶ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 3.

auf eine verständliche Art und Weise Probleme identifizieren, Ad-hoc-Lösungen bereitstellen sowie signifikante Ergebnisse schnell liefern.^{377 378}

Die Ergebnisse der Untersuchungen können so interpretiert werden, dass mit Hilfe eines solchen Reifegradmodells schnelle Gewinne und Erfolge, die sogenannten Quick wins, erreicht werden sollen. Mit möglichst wenig Aufwand soll ein solches reifegradbasiertes Referenzmodell KMU dabei unterstützen, die Herausforderungen der Industrie 4.0 erfolgreich zu bewältigen.

Bestenfalls muss damit nicht die langfristige Perspektive beachten werden, die nach Albayrak und Gadatsch in KMU oft fehlt.³⁷⁹

Des Weiteren war es in den Studien zu erkennen, dass auf Probleme KMU schnell und effektiv reagieren und diese gezielt angehen müssen. Das deutet darauf hin, dass ein solches Reifegradmodell für KMU nicht viel Zeit beanspruchen und nicht kostenintensiv sein soll, denn der Zeit- und Kostenfaktor stellen einen wichtigen Punkt in KMU dar³⁸⁰, was in Kapitel 3.3.2 erläutert wurde.

Zudem sollte ein solches Referenzmodell kein Fachwissen erfordern.³⁸¹ Da der Fachkräftemangel als besonderes Problem in dieser Arbeit erkannt wurde, soll ein Referenzmodell auch von Nicht-ExpertInnen Anwendung finden und bei der Interpretation der Ergebnisse unterstützen.³⁸²

Darüber hinaus nennen Pierenkemper und Gausemeier einen weiteren, wichtigen Ansatz hinsichtlich eines Reifegradmodells für KMU. Ein Reifegradmodell soll nicht nur die wesentlichen Aspekte der Digitalisierung identifizieren. KMU sollen diese Aspekte mit Hilfe einer Digitalisierungsstrategie umsetzen.³⁸³ Dementsprechend soll es auch die Unternehmensstrategie und/oder individuelle Unternehmensziele berücksichtigen. Dabei müssen KMU zunächst die Frage beantworten, welchen Reifegrad die Organisation anstrebt bzw. wie sie sich in Zukunft positionieren will.³⁸⁴

Die Zielposition ist auf Grund der externen Einflüsse nicht einfach zu bestimmen. Daher muss eine strategische Vorausschau durchgeführt werden, um eine entsprechende Digitalisierungsstrategie definieren zu können.³⁸⁵ Um die Stufen der angestrebten Leistung zu erreichen, empfehlen die Autoren konkrete Maßnahmen zur Umsetzung jeder Leistungsstufe. Dadurch kann der Fortschritt einzelner Maßnahmen leichter nachvollziehbar sein und bei der Überwachung der digitalen Transformation unterstützen.³⁸⁶

Nach ausführlicher Untersuchung der in Kapitel 4.5 vorgestellten Publikationen zeichnet sich ein genaueres Bild ab, was die Themengebiete für ein für KMU entwickeltes Referenzmodell betrifft. Es wurde festgestellt, dass die meisten Themen in jeder Studie zu finden

³⁷⁷ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 85.

³⁷⁸ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 132.

³⁷⁹ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1690.

³⁸⁰ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015b, S. 61.

³⁸¹ Vgl. Wiesner u.a. 2018, S. 85.

³⁸² Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 132.

³⁸³ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 122.

³⁸⁴ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 122.

³⁸⁵ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 105.

³⁸⁶ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 122.

sind. Ein Unterschied besteht darin, dass diese oft anders geclustert werden. Was die Methoden zur Reifegradbewertung betrifft, sind diese oft an die Standardrahmenwerke angelehnt.

Im Folgenden wird nun auf die Themengebiete für die Referenzmodelle eingegangen, die in den Studien hervorgehoben wurden. Diese wurden in der Tabelle 4 zusammengefasst und können als Dimensionen in einem Reifegradmodell für KMU verwendet werden.

Eine detaillierte Zuordnung der Dimensionen und der Schlagwörter auf Basis von den Studien (von 1 bis 11) ist im Anhang zu finden (Tabelle 5).

Tabelle 4: Abgeleitete Dimensionen und Inhalte für ein Reifegradmodell für KMU

Organisation und Kultur	Daten und Technologien
<ul style="list-style-type: none"> • Fähigkeiten der Organisation • Produktionsplanung und -steuerung • Strategie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vision ○ Unternehmensstrategie ○ Unternehmensziele ○ Digitalisierungsstrategie • Management: <ul style="list-style-type: none"> ○ Unternehmensführung ○ Entscheidungen ○ Risikobereitschaft ○ Ressourcenmanagement ○ Lean ○ Agilität ○ IT-Management ○ Prozessmanagement ○ Talentmanagement • Finanzen und Investitionen • Unternehmensgewinne • Standards / Vorgaben / Leitlinien • Data Governance • (digitale) Geschäftsmodelle • Wettbewerbsfähigkeit • Industrie 4.0-Bereitschaft / Industrie 4.0-Bewusstsein • Netzwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologieportfolio bzw. technologische Ansätze der Industrie 4.0 und der Digitalisierung, wie z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ○ Das Internet der Dinge, ○ Big Data, ○ Cloud Computing, ○ Cyber-Physikalische Systeme, ○ Machine Learning ○ Augmented Reality ○ künstliche Intelligenz ○ Blockchain etc. • IT <ul style="list-style-type: none"> ○ Plattformen ○ Informationssysteme ○ IT/OT Integration ○ Prozesse / Abläufe ○ IT-Infrastruktur ○ IT-Sicherheit und Datenschutz ○ Schnittstellen ○ Software / Hardware / Middleware ○ Konnektivität ○ Netzwerke • Forschung und Innovation

(Fortsetzung auf Seite 83)

Menschen	Wertschöpfung
<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeitende / Ressourcen • Erfahrung / Kompetenzen / Qualifizierung / Fähigkeiten • Weiterbildung • Wissensaustausch • Engagement • Bewusstsein für digitale Trends • Innovationskraft • Kommunikation • digitaler Arbeitsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktion • PartnerInnen (Kollaboration und Interaktion mit KundInnen und LieferantInnen) <ul style="list-style-type: none"> ○ Lieferketten ○ Logistik ○ Produkte und Services ○ Moderne Vertriebskanäle ○ KundInnenerwartungen ○ KundInnensegmente • Forschung und Innovation • Nachhaltigkeit • externe Umwelteinflüsse / Faktoren <ul style="list-style-type: none"> ○ Gesetze ○ Normen ○ (globaler) Wettbewerb ○ industrielles Ökosystem ○ Marktdimension des Unternehmens ○ Globalisierung ○ Internationalisierung ○ öffentliche Netzwerke

Nachfolgend wird auf die wesentlichen Inhalte der Dimensionen eingegangen.

In allen untersuchten Publikationen wurden die **Organisation und Kultur** sowie die Rolle der MitarbeiterInnen genannt. Ihre Relevanz wird auch von Nick et al. in ihrem Paper *Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment* hervorgehoben. Die AutorInnen betonen, dass eine industrie-4.0-fähige Organisation die Möglichkeiten vernetzter und autonomer Geräte nutzt. Dies führt zu einer verbesserten Leistung, Reaktionsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit. Des Weiteren besteht die Rolle der MitarbeiterInnen in dieser Organisation darin, Prozesse zu validieren, zu verbessern und zu entwickeln.³⁸⁷

Eine weitere, relevante Dimension sind **Daten und Technologien**. Die Daten werden zur kontinuierlichen Prozessverbesserung sowie zur Entwicklung neuer Produkte verwendet.

³⁸⁷ Vgl. Nick u.a. 2021, S. 44.

Laut Nick et al. reicht jedoch die Anschaffung neuester Technologien allein nicht aus, um Industrie 4.0-Readiness zu erreichen. Die AutorInnen vertreten die Ansicht, dass auch die Strategie und Unternehmenskultur die Umsetzung von Projekten unterstützen und ein förderliches Umfeld für Experimente, Zusammenarbeit und Wissensaustausch bieten sollten.³⁸⁸

Nicht zu unterschätzen ist auch die Rolle der IT als Business Enabler, welche in dieser Arbeit hervorgehoben wurde. Dazu gehören u.a. Plattformen, Informationssysteme, die gesamte IT-Infrastruktur inkl. sämtlicher Schnittstellen und Prozesse, die IT-seitig unterstützt werden. Auch die IT/OT Integration spielt beim Thema Industrie 4.0 eine wichtige Rolle und soll bei der Konzeption eines Referenzmodells mitberücksichtigt werden. Des Weiteren empfiehlt sich der Einsatz von einer Middleware, die die Komplexität in KMU verringern könnte, was in Kapitel 3.3.4 bereits betont wurde.

Die dritte Dimension **Menschen**, umfasst Mitarbeitende bzw. Ressourcen, ihre Erfahrung sowie Kompetenzen mit der dazugehörigen Qualifizierung. Sie bezieht sich zudem auf Weiterbildungsmaßnahmen, die erforderlich sind, um dem vorherrschenden Fachkräftemangel vor allem in KMU entgegenzusteuern. In diesem Zusammenhang wurde der Dimension Menschen auch der Wissensaustausch zugeordnet. Diese Aspekte wurden im Hinblick auf die Studien des Öfteren unterstrichen.

Die vierte Dimension wurde **Wertschöpfung** genannt. Sie bezieht sich in dem Fall hauptsächlich auf die Interaktion bzw. Kollaboration mit PartnerInnen (mit KundInnen und LieferantInnen). Sie umfasst auch die externen Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Gesetze und Normen, die Unternehmen beachten müssen. Auch der Wettbewerb, Internationalisierung und Globalisierung gehören zu den Themen, die eine Herausforderung darstellen und in das Reifegradmodell aufgenommen werden sollen. Der weitere Aspekt, Forschung und Innovationen, trägt auch zur Wertschöpfung bei und wurde dieser Dimension zugeordnet. Allerdings ist dieser auch unter **Daten und Technologien** zu finden, da er beide Dimensionen gleichermaßen betrifft.

Abschließend muss betont werden, dass in den untersuchten wissenschaftlichen Publikationen immer wieder der Bedarf einer weiteren Analyse bzw. eines weiteren Forschungsansatzes hinsichtlich spezieller Reifegradmodelle für KMU auf Grund der KMU-Spezifika und ihrer Anforderungen erwähnt wurde. Es wurden viele Industrie 4.0-Reifegradmodelle untersucht und auch miteinander verglichen. Es war schwer, sämtliche KMU-Anforderungen vollumfänglich zu erfüllen.

In der Tabelle 6 wurden die untersuchten Referenzmodelle bzw. Ansätze inkl. ihrer Charakteristika kurz zusammengefasst. Diese ist dem Anhang zu entnehmen.

³⁸⁸ Vgl. Nick u.a. 2021, S. 44.

5. Zusammenfassung

5.1 Fazit

Das Ziel der Masterarbeit war es, die Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU zu überprüfen. Des Weiteren wurden in dieser Masterarbeit verschiedene, reifegradbasierte Referenzmodelle bzw. aktuelle Konzepte untersucht. Dies sollte eine Antwort auf die Forschungsfrage liefern, warum die IT-Prozesse besonders kritisch für KMU in der Industrie 4.0 sind und ob sich ein unterstützendes, reifegradbasiertes Referenzmodell zur Verbesserung der IT-Prozesse entwickeln lässt.

Aus den Erkenntnissen geht hervor, dass die Industrie 4.0, viele Veränderungen mit sich bringt und einen großen Wandel auf der ganzen Welt bedeutet.³⁸⁹ Zusammen mit der Digitalisierung hat Industrie 4.0 eine enorme Auswirkung auf sämtliche Prozesse und Abläufe in Unternehmen.³⁹⁰ Die Veränderungen sind vor allem in der Fertigung deutlich zu spüren. Es werden neue Produktionsverfahren entwickelt und neue Produktionsprozesse eingeführt.³⁹¹

Industrie 4.0 bedeutet, dass reale und virtuelle Welt miteinander vernetzt werden. Maschinen und Systeme können untereinander kommunizieren und sogar Informationen miteinander in Echtzeit austauschen. Digitalisierung, CPS, CPPS, Internet of Things, Cloud Computing oder Maschine-zu-Maschine-Kommunikation sind einige neuartige Technologien der großen Revolution.^{392 393}

Nicht nur die Produktion unterliegt der digitalen Transformation, die Industrie 4.0 erforderlich macht. Davon ist auch das Alltagsleben der Menschen betroffen, sowie die gesamte Wertschöpfungskette mit allen ihren Beteiligten: KundInnen, LieferantInnen, MitbewerberInnen etc. Der damit verbundene, steigende Wettbewerbsdruck hat einen Einfluss auf die Entstehung neuer Geschäftsmodelle, Forschung und Innovation. Daraus ergeben sich neue Chancen und Entwicklungs- bzw. Geschäftspotenziale.^{394 395}

Vor allem Großunternehmen haben die Herausforderungen der Industrie 4.0 angenommen und sind mit der Umsetzung entsprechender Technologien längst beschäftigt. Kleine und mittlere Unternehmen hinken diesem Thema noch hinterher und sehen es mit Skepsis. Für KMU ist Industrie 4.0 mit vielen Herausforderungen verbunden.^{396 397}

Im Gegensatz zu Großunternehmen sind KMU organisatorisch anders aufgestellt, denn sie haben flache Hierarchien, starke Unternehmenskultur sowie schnelle Entscheidungswege, was ein Vorteil sein kann. Trotzdem können sie mit dem digitalen industriellen Wandel schwer umgehen und zögern, Veränderungen im IT-Bereich vorzunehmen. Sie verfügen

³⁸⁹ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

³⁹⁰ Vgl. Paul 2019, S. 683.

³⁹¹ Vgl. Soder 2017, S. 15.

³⁹² Vgl. Obermaier 2019b, S. 4.

³⁹³ Vgl. Soder 2017, S. 15.

³⁹⁴ Vgl. Roth 2016b, S. 3.

³⁹⁵ Vgl. Obermaier 2019, S. 43.

³⁹⁶ Vgl. Matt; Modrák; Zsifkovits 2020, S. vii.

³⁹⁷ Vgl. Henke; Hegmanns 2017, S. 338.

oft weder über die notwendigen finanziellen Mittel noch über qualifizierte Arbeitskräfte, die das nötige Know-how besitzen.^{398 399 400} Dies wird durch die steigende Komplexität des Themas zusätzlich erschwert. Dieser Aspekt wurde in Kapitel 3.3.4 beschrieben.

Des Weiteren ist in diesem Zusammenhang die Rolle der IT und des IT-Managements hervorzuheben. Die meisten KMU haben noch das klassische IT-Verständnis, indem IT hauptsächlich die ausführende Rolle annimmt.⁴⁰¹ Die Rolle beschränkt sich nur auf die Umsetzung der Anforderungen seitens der Fachbereiche. Somit wird die IT nicht als Business Enabler, sondern primär als ein Serviceprovider in KMU gesehen.⁴⁰² In KMU ist meistens die klassische IT-Organisation zu finden.⁴⁰³

Im Zusammenhang mit der IT ist zudem der Datenschutz und die IT-Sicherheit verbunden, die in KMU ebenfalls ein Optimierungspotenzial aufweisen.⁴⁰⁴

Für KMU ist es schwierig, einerseits ihre aktuelle Ist-Situation zu bewerten bzw. zu prüfen, wo das jeweilige Unternehmen aktuell steht und andererseits ihre Zielposition festzulegen und aus ihrem Status quo entsprechende Maßnahmen in Richtung Industrie 4.0 abzuleiten.^{405 406}

Es handelt sich dabei darum, KMU-Entscheidungen gezielt auf die Transformation von Industrie 4.0 ausrichten zu können, um damit erfolgreich bei der Implementierung von Industrie 4.0 zu sein.^{407 408}

Gerade mit diesem Thema sollen sich KMU intensiv beschäftigen, denn in KMU fehlen oft die Industrie 4.0-Expertise und -Technologien, um eine schnelle, digitale Transformation voranzutreiben. Großunternehmen erreichen die höheren Reifegrade im technologischen Bereich schneller als KMU.⁴⁰⁹

In diesem Zusammenhang ist der Nutzen der Prozesse für das Business zu erwähnen, welcher klar erkennbar sein muss und in Verbindung mit dem Reifegrad steht. Prozesse sind in KMU ein wichtiger Aspekt. Unternehmen müssen Verbesserungsinitiativen ergreifen, um den Reifegrad der Prozesse zu erhöhen. Ansonsten sind sie einem Risiko ausgesetzt. Das Risiko besteht auch dann, wenn IT-Prozesse, die einen großen Wert für das Business darstellen, nicht ausgereift sind. Das bedeutet, dass die IT-Prozesse, die einen hohen Wert für das Business darstellen, sollen im Idealfall einen sehr hohen Reifegrad aufweisen, was sich positiv beispielsweise auf den zusätzlichen Business-Wert, schnelle Erfolge, Implementierungsfähigkeit, Kosten, Ressourcen, Kultur etc. auswirken kann.⁴¹⁰

³⁹⁸ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217.

³⁹⁹ Vgl. Janke; Burkhardt 2018a, S. V.

⁴⁰⁰ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1690.

⁴⁰¹ Vgl. Groß; Pfennig 2019, S. 46.

⁴⁰² Vgl. Johannig 2019c, S. 214.

⁴⁰³ Vgl. Johannig 2020a, S. 21.

⁴⁰⁴ Vgl. Henseler-Unger; Hillebrand 2018, S. 686.

⁴⁰⁵ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 122.

⁴⁰⁶ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1219.

⁴⁰⁷ Vgl. Pierenkemper; Gausemeier 2021, S. 122.

⁴⁰⁸ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1219.

⁴⁰⁹ Vgl. Modrák; Šoltysová 2020, S. 224–225.

⁴¹⁰ Vgl. Case u.a. 2008, S. 108–109.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Herausforderungen der Industrie 4.0 für KMU und die damit verbundenen KMU-Spezifika beantworten die Forschungsfrage, warum die IT-Prozesse besonders kritisch für KMU in der Industrie 4.0 sind.

In der Literatur gibt es viele Standardrahmenwerke und Reifegradmodelle, die es ermöglichen, den digitalen Reifegrad der Unternehmen zu ermitteln. Allerdings gibt es Gründe, warum diese für KMU nicht geeignet sind und somit gegen die Verwendung in KMU sprechen.⁴¹¹ Ein reifegradbasiertes Referenzmodell soll KMU dabei unterstützen, ihre Probleme zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen einzuleiten.⁴¹² Es muss vor allem bestimmte Kriterien und Anforderungen der KMU erfüllen. Diese wurden in Kapitel 4 ausführlich erläutert.

Die in dieser Arbeit analysierten Studien haben bestätigt, dass ein explizit für KMU zugeschnittenes Reifegradmodell bestimmte Voraussetzungen erfüllen muss, die zum Teil mit den KMU-Spezifika und Herausforderungen zusammenhängen.

Wenn die Voraussetzungen und Anforderungen der KMU berücksichtigt werden, lässt sich ein unterstützendes, reifegradbasiertes Referenzmodell zur Verbesserung der IT-Prozesse entwickeln. Das ist insofern möglich.

5.2 Ausblick

In dieser Masterarbeit wurden die Herausforderungen der Industrie 4.0 für kleine und mittlere Unternehmen beleuchtet. Nun stellt sich die Frage, wie diese von kleinen und mittleren Unternehmen mit möglichst geringem Aufwand konkret bewältigt werden können. Auf KMU zugeschnittene Reifegradmodelle könnten hierfür unterstützend verwendet werden, um u.a. entsprechende Maßnahmen abzuleiten, durchzuführen und ihre IT-Prozesse in Richtung Industrie 4.0 zu verbessern.

Ob dasselbe reifegradbasierte Referenzmodell von allen KMU verwendet werden kann, ist schwer zu beantworten. Es empfiehlt sich, dies zu untersuchen.

Es muss vor allem praxisnah und schnell realisierbar sein. Es kommt i.d.R. auf die individuelle Situation der KMU und ihrer Anforderungen an, die unterschiedlich sein können – genauso wie KMU selbst. Das muss das jeweilige reifegradbasierte Referenzmodell berücksichtigen.⁴¹³

Es ist deswegen immer wieder die Überlegung, welche Dimensionen in das Reifegradmodell aufgenommen werden sollen, nachdem die Anforderungen und KMU-Spezifika näher analysiert werden. In den untersuchten Studien wurde immer wieder betont, dass mit den entwickelten Reifegradmodellen nicht alle KMU-Anforderungen erfüllt werden konnten.

Deswegen bedarf dieses Thema weiterer Analysen und Untersuchungen. Als hilfreiche Methoden zur Datenerhebung und -analyse haben sich Workshops, Durchführung von Befra-

⁴¹¹ Vgl. Albayrak; Gadatsch 2018, S. 1690.

⁴¹² Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 206.

⁴¹³ Vgl. Mangiapane; Büchler 2015c, S. 24.

gungen sowie Assessments erwiesen. Diese wurden in den untersuchten Publikationen neben der Literaturrecherche als Methodik angewandt. Dies wurde in Kapitel 4.6 hervorgehoben.

Des Weiteren wurde während der Literaturrecherche die Tendenz beobachtet, dass aktuell sehr viele Papers aus dem breiten Spektrum Industrie 4.0 und zum Thema Reifegradmodelle veröffentlicht werden. Auch wird der Fokus verstärkt auf KMU gelegt. Dies kann ein Indiz dafür sein, dass das Thema an Dynamik gewinnt.

In diesem Zusammenhang empfiehlt sich zu überprüfen, ob es möglich wäre, ein einheitliches, reifegradbasiertes Referenzmodell für KMU zu entwickeln, welches standardmäßig in allen oder zumindest in den produzierenden KMU Anwendung findet. Die vorliegenden untersuchten, reifegradbasierten Referenzmodelle bzw. Konzepte sowie Daten könnten eine Grundlage hierfür bieten.

Literaturverzeichnis

- Albayrak, Can Adam; Gadatsch, Andreas (2018): Sind kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) bereits auf die Digitale Transformation vorbereitet?
- Andenmatten, Martin (2014): Services managen mit ITIL: Planung, Umsetzung und kontinuierliche Verbesserung eines Service-Management-Systems. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion Publ.
- Becker, Wolfgang u.a. (2016): „Controlling von Digitalisierungsprozessen – Veränderungstendenzen und empirische Erfahrungswerte aus dem Mittelstand.“ In: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 97–118. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-08165-2_6 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Becker, Wolfgang u.a. (2020): Industrielle Digitalisierung: Entwicklungen und Strategien für mittelständische Unternehmen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (= Management und Controlling im Mittelstand). Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-28815-0 (Zugriff am: 14.11.2021).
- Becker, Wolfgang; Ulrich, Patrick; Botzkowski, Tim (2017a): „Grundlagen.“ In: Industrie 4.0 im Mittelstand. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 7–36. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-15656-5_3 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Becker, Wolfgang; Ulrich, Patrick; Botzkowski, Tim (2017b): Industrie 4.0 im Mittelstand: Best Practices und Implikationen für KMU. Wiesbaden: Springer Gabler (= Management und Controlling im Mittelstand).
- Becker, Wolfgang; Ulrich, Patrick; Botzkowski, Tim (2017c): „Industrie 4.0 und Mittelstandsscharakteristika.“ In: Industrie 4.0 im Mittelstand. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 119–127. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-15656-5_12 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Becker, Wolfgang; Ulrich, Patrick; Botzkowski, Tim (2019): „Industrie 4.0 im Mittelstand – Handlungspotenziale und Umsetzung.“ In: Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 91–111. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-24576-4_4 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Bildstein, Andreas; Seidelmann, Joachim (2017): „Migration zur Industrie- 4.0-Fertigung.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 227–242. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-45279-0_44 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Brozzi, Riccardo; Riedl, Michael; Matta, Dominik (2021a): „Key Readiness Indicators To Assess The Digital Level of Manufacturing SMEs.“ In: Procedia CIRP, 96 (2021), S. 201–206. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.075
- Brozzi, Riccardo; Riedl, Michael; Matta, Dominik (2021b): „Key Readiness Indicators To Assess The Digital Level of Manufacturing SMEs.“ In: Procedia CIRP, 96 (2021), S. 201–206. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.075
- Case, Gary u.a. (Hrsg.) (2008): ITIL Continual Service Improvement. London: TSO.

- Dirzus, Dagmar (2021): „Deutschland als nachhaltigen Wirtschaftsraum gibt es nur als führende Technologienation.“ In: Digitalisierung souverän gestalten. Herausgegeben von Ernst A. Hartmann. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 133–142. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-62377-0_10 (Zugriff am: 29.12.2021).
- Dombrowski, Uwe; Karl, Alexander; Richter, Thomas (2018): „Mensch, Organisation, Technik im KMU 4.0.“ In: KMU 4.0 - Digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen. GITO Verlag, S. 40–69. Online im Internet: DOI: 10.30844/wgab_2018_03 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Dr. Rohleder, Bernhard (2021): Bitkom. Industrie 4.0 – so digital sind Deutschlands Fabriken. Online im Internet: URL: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-04/bitkom-charts-industrie-4.0-07-04-2021_final.pdf (Zugriff am: 30.12.2021).
- Dr. Roth, Sven L.; Heimann, Thomas (2021): Capgemini. Studie IT-Trends 2021, IT ermöglicht Business trotz Kontaktbeschränkungen. Online im Internet: URL: <https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2021/02/IT-Trends-Studie-2021.pdf> (Zugriff am: 30.12.2021).
- Engels, Gregor; Teetz, Alexander (2020): „Flexible Arbeitsprozesse.“ In: Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Herausgegeben von Günter W. Maier; Gregor Engels; Eckhard Steffen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 223–244. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-52979-9_10 (Zugriff am: 27.12.2021).
- F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel (2018): „Maturity Model of Digitization for SMEs.“ In: 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). , S. 1–9. Online im Internet: DOI: 10.1109/ICE.2018.8436251
- Fallenbeck, Niels; Eckert, Claudia (2017): „IT-Sicherheit und Cloud Computing.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 137–171. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53254-6_8 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Feldmann, Stefan; Vogel-Heuser, Birgit (2017): „Diagnose von Inkonsistenzen in heterogenen Engineeringdaten.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.2. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 315–334. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53248-5_91 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Finkemeier, Frank; IT Service Management Forum Deutschland (Hrsg.) (2011): ITIL-COBIT-Mapping: Gemeinsamkeiten und Unterschiede von ITIL V3 und COBIT 4.1. 2., aktualisierte Aufl. Düsseldorf: Symposion Publ.
- Foth, Egmont (2016a): Erfolgsfaktoren für eine digitale Zukunft: IT-Management in Zeiten der Digitalisierung und Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg (= Xpert.press).
- Foth, Egmont (2016b): „Was benötigt eine erfolgreiche IT-Organisation?“ In: Erfolgsfaktoren für eine digitale Zukunft. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (= Xpert.press), S. 17–84. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53177-8_5 (Zugriff am: 28.12.2021).

- Ganzarain, Jaione; Errasti, Nekane (2016): „Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0.“ In: Journal of Industrial Engineering and Management, 9 (2016), 5, S. 1119. Online im Internet: DOI: 10.3926/jiem.2073
- Gausemeier, Jürgen; Plass, Christoph (2014a): Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2., überarbeitete Auflage. München: Hanser.
- Gausemeier, Jürgen; Plass, Christoph (2014b): Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2., überarbeitete Auflage. München: Hanser.
- Genest, Marie Charbonneau; Gamache, Sébastien (2020a): „Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs.“ In: Procedia Manufacturing, 51 (2020), S. 1215–1220. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.170
- Genest, Marie Charbonneau; Gamache, Sébastien (2020b): „Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs.“ In: Procedia Manufacturing, 51 (2020), S. 1215–1220. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.170
- Gerking, Christopher; Bodden, Eric; Schäfer, Wilhelm (2020): „Industrial Security by Design: Nachverfolgbare Informationssicherheit für Cyber-Physische Produktionssysteme.“ In: Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Herausgegeben von Günter W. Maier; Gregor Engels; Eckhard Steffen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 139–162. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-52979-9_8 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Groß, Christoph; Pfennig, Roland (2019): „Digitalisierungs-Basics und Technologie.“ In: Digitalisierung in Industrie, Handel und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 37–64. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26095-8_2 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Häberer, Sebastian; Lau, Lina; Behrendt, Fabian (2017): Development of an Industrie 4.0 Maturity Index for Small and Medium-Sized Enterprises.
- Hänisch, Till; Rogge, Stephan (2017): „IT-Sicherheit in der Industrie 4.0.“ In: Industrie 4.0. Herausgegeben von Volker P. Andelfinger; Till Hänisch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 91–98. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-15557-5_7 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Hartmann, Ernst A. (Hrsg.) (2021): Digitalisierung souverän gestalten: Innovative Impulse im Maschinenbau. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-62377-0 (Zugriff am: 05.06.2021).
- Henke, Michael; Hegmanns, Tobias (2017): „Geschäftsmodelle für die Logistik 4.0: Herausforderungen und Handlungsfelder einer grundlegenden Transformation.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 335–345. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53251-5_20 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Henseler-Unger, Iris; Hillebrand, Annette (2018): „Aktuelle Lage der IT-Sicherheit in KMU: Wie kann man die Umsetzungslücke schließen?“ In: Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 42 (2018), 11, S. 686–690. Online im Internet: DOI: 10.1007/s11623-018-1025-y

- Hirsch-Kreinsen, Hartmut; ten Hompel, Michael (2017): „Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 357–376. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53251-5_21 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Hofmann, Martin (2020a): „Einfluss der Digitalisierung auf die Prozessoptimierung.“ In: Prozessoptimierung als ganzheitlicher Ansatz. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 137–153. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26626-4_5 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Hofmann, Martin (2020b): „Tools.“ In: Prozessoptimierung als ganzheitlicher Ansatz. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 71–136. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26626-4_4 (Zugriff am: 02.01.2022).
- Hofmann, Martin (2020c): „Vision effizienter Arbeitsabläufe.“ In: Prozessoptimierung als ganzheitlicher Ansatz. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–16. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26626-4_1 (Zugriff am: 04.01.2022).
- ten Hompel, Michael; Henke, Michael (2017): „Logistik 4.0 – Ein Ausblick auf die Planung und das Management der zukünftigen Logistik vor dem Hintergrund der vierten industriellen Revolution.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 249–259. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53254-6_13 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Hornung, Gerrit (2016): „Rechtliche Herausforderungen der Industrie 4.0.“ In: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 69–81. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-08165-2_4 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Ihlau, Susann; Duscha, Hendrik; Gödecke, Steffen (2013): Besonderheiten bei der Bewertung von KMU. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-00945-8 (Zugriff am: 14.11.2021).
- „Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig“ (2021): Europäische Kommission. Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft 2021: Allgemeine Fortschritte beim digitalen Wandel, aber neue EU-weite Anstrengungen sind nötig. Online im Internet: URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_5481 (Zugriff am: 30.12.2021).
- Janke, Angela; Burkhardt, Nicolas (2018a): Disruptive Technologien im Mittelstand: Prozessreifegradmanagement der Produktentwicklung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (= Management und Controlling im Mittelstand). Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-17137-7 (Zugriff am: 12.10.2021).
- Janke, Angela; Burkhardt, Nicolas (2018b): „Theoretische Grundlagen zu disruptiven Technologien, Prozessreifegradmanagement und dem Produktentwicklungsprozess.“ In: Disruptive Technologien im Mittelstand. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (= Management und Controlling im Mittelstand), S. 11–48. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-17137-7_3 (Zugriff am: 29.12.2021).
- Jäschke, Thomas (2020): „Industrie 4.0 im Rahmen von Informationssicherheit und Datenschutz.“ In: Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft. Herausgegeben

- von Walter Frenz. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1095–1100. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-58474-3_56 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Johanning, Volker (2014): „Fünf gute Gründe für eine IT-Strategie.“ In: IT-Strategie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 13–26. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-02049-1_2 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Johanning, Volker (2019a): „Einführung in das Thema.“ In: IT-Strategie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–15. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26490-1_1 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Johanning, Volker (2019b): IT-Strategie: Die IT für die digitale Transformation in der Industrie fit machen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26490-1 (Zugriff am: 20.11.2021).
- Johanning, Volker (2019c): „Schritt 5: IT-Organisation und IT-Governance.“ In: IT-Strategie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 193–239. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-26490-1_9 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Johanning, Volker (2020a): „Die Aufbauorganisation der IT – Verschiedene Modelle im pro und contra.“ In: Organisation und Führung der IT. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 17–65. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-12008-5_3 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Johanning, Volker (2020b): „Die Rolle der IT im Unternehmen.“ In: Organisation und Führung der IT. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 125–141. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-12008-5_5 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Kaufmann, Thomas; Forstner, Lisa (2017): „Die horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie – Chancen und Herausforderungen.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 127–135. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53254-6_7 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Kletti, Jürgen (Hrsg.) (2007): Manufacturing Execution Systems (MES). Berlin ; London: Springer.
- Kletti, Jürgen (Hrsg.) (2015): MES - Manufacturing Execution System: moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Kljajić Borštnar, Mirjana; Pucihar, Andreja (2021a): „Multi-Attribute Assessment of Digital Maturity of SMEs.“ In: Electronics, 10 (2021), 8, S. 885. Online im Internet: DOI: 10.3390/electronics10080885
- Kljajić Borštnar, Mirjana; Pucihar, Andreja (2021b): „Multi-Attribute Assessment of Digital Maturity of SMEs.“ In: Electronics, 10 (2021), 8, S. 885. Online im Internet: DOI: 10.3390/electronics10080885
- Knothe, Thomas; Gering, Patrick; Oertwig, Nicole (2020): „Prozessmanagement für KMU.“ In: Die Digitalisierungshürde lässt sich Meister(n). Herausgegeben von Thomas Knothe u.a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 41–56. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-60367-3_4 (Zugriff am: 29.12.2021).

- Kollmann, Tobias (2020): „Grundlagen des Web 1.0, Web 2.0, Web 3.0 und Web 4.0.“ In: Handbuch Digitale Wirtschaft. Herausgegeben von Tobias Kollmann. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 133–155. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-17291-6_8 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Kollmann, Tobias; Schmidt, Holger (2020): „Einführung in die Digitale Transformation.“ In: Handbuch Digitale Wirtschaft. Herausgegeben von Tobias Kollmann. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 961–984. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-17291-6_67 (Zugriff am: 26.12.2021).
- König, Ulrich Matthias; Röglinger, Maximilian; Urbach, Nils (2019): „Industrie 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen – Welche Potenziale lassen sich mit smarten Geräten in der Produktion heben?“ In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 56 (2019), 6, S. 1233–1249. Online im Internet: DOI: 10.1365/s40702-019-00567-w
- Leeser, Daniel Christian (2020a): „Definitionen, Erläuterungen und Abgrenzung.“ In: Digitalisierung in KMU kompakt. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (= IT kompakt), S. 21–62. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-59738-5_2 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Leeser, Daniel Christian (2020b): „Einführung und Motivation.“ In: Digitalisierung in KMU kompakt. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (= IT kompakt), S. 1–20. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-59738-5_1 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Leineweber, Stefan; Wienbruch, Thom; Kuhlenkötter, Bernd (2018): „Konzept zur Unterstützung der Digitalen Transformation von Kleinen und Mittelständischen Unternehmen.“ In: KMU 4.0 - Digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen. GITO Verlag, S. 20–39. Online im Internet: DOI: 10.30844/wgab_2018_02 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Lindner, Dominic (2019): KMU im digitalen Wandel: Ergebnisse empirischer Studien zu Arbeit, Führung und Organisation. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (= essentials). Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-24399-9 (Zugriff am: 05.06.2021).
- Lucia Merz, Sandra; Siepmann, David (2016): „Industrie 4.0 – Vorgehensmodell für die Einführung.“ In: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Herausgegeben von Armin Roth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 83–132. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-48505-7_3 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Maier, Günter W.; Engels, Gregor; Steffen, Eckhard (2020): „Einleitung.“ In: Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Herausgegeben von Günter W. Maier; Gregor Engels; Eckhard Steffen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 3–17. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-52979-9_22 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Mangiapane, Markus; Büchler, Roman P. (2015a): „Entwicklung einer IT-Strategie.“ In: Modernes IT-Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 99–161. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-03493-1_6 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Mangiapane, Markus; Büchler, Roman P. (2015b): Modernes IT-Management: methodische Kombination von IT-Strategie und IT-Reifegradmodell. Wiesbaden: Springer Vieweg.

- Mangiapane, Markus; Büchler, Roman P. (2015c): „Reifegradanalyse der IT-Managementprozesse.“ In: *Modernes IT-Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 9–81. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-03493-1_3 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Mangiapane, Markus; Büchler, Roman P. (2015d): „Übersicht und Thesen.“ In: *Modernes IT-Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–4. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-03493-1_1 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Matt, Dominik T.; Modrák, Vladimír; Zsifkovits, Helmut (Hrsg.) (2020): *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*. Cham: Springer International Publishing. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-25425-4 (Zugriff am: 13.10.2021).
- Mesloh, Melanie (2021): „Digitale Integration — Chancen für kleine und mittelständische Unternehmen in Deutschland.“ In: *Wirtschaftsdienst*, 101 (2021), 6, S. 461–465. Online im Internet: DOI: 10.1007/s10273-021-2942-1
- Mittal, Sameer u.a. (2018): „A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs).“ In: *Journal of Manufacturing Systems*, 49 (2018), S. 194–214. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.10.005
- Mittal, Sameer; Romero, David; Wuest, Thorsten (2018): „Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E).“ In: *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. Herausgegeben von Ilkyeong Moon u.a. Cham: Springer International Publishing (= IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 155–163. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-319-99707-0_20 (Zugriff am: 05.12.2021).
- Modrák, Vladimír; Šoltysová, Zuzana (2020): „Development of an Organizational Maturity Model in Terms of Mass Customization.“ In: *Industry 4.0 for SMEs*. Herausgegeben von Dominik T. Matt; Vladimír Modrák; Helmut Zsifkovits. Cham: Springer International Publishing, S. 215–250. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-25425-4_8 (Zugriff am: 19.12.2021).
- Neuhaus, Ralf (2018): „Erst Lean-Management, dann Industrie 4.0!“ In: *Industrie 4.0 für die Praxis*. Herausgegeben von Rainer Maria Wagner. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 53–65. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-21118-9_4 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Nick, Gábor u.a. (2021): „Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment.“ In: *Procedia Manufacturing*, 54 (2021), S. 39–44. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.promfg.2021.07.007
- Obermaier, Robert (Hrsg.) (2016): *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-08165-2 (Zugriff am: 14.11.2021).
- Obermaier, Robert (2019a): „Industrie 4.0 und Digitale Transformation als unternehmerische Gestaltungsaufgabe.“ In: *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–46. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-24576-4_1 (Zugriff am: 26.12.2021).

- Obermaier, Robert (2019b): „Industrie 4.0 und Digitale Transformation als unternehmerische Gestaltungsaufgabe.“ In: Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–46. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-24576-4_1 (Zugriff am: 06.01.2022).
- Panagos, Georg; Hammer, Christian (2019): „Die Zweckehe von Business und IT im Migrationsprozess.“ In: Transformation von Unternehmen und Technologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 139–148. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-54052-7_8 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Paul, Stephan (2019): „Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Finanzierungsinstrumente und -prozesse sowie den Finanzleiter der Unternehmung.“ In: Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation. Herausgegeben von Robert Obermaier. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 683–701. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-24576-4_29 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Pentenrieder, Annelie; Bertini, Anastasia; Künzel, Matthias (2021): „Digitale Souveränität als Trend?: Der Werkzeugmaschinenbau als wegweisendes Modell für die deutsche Wirtschaft.“ In: Digitalisierung souverän gestalten. Herausgegeben von Ernst A. Hartmann. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 17–30. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-62377-0_2 (Zugriff am: 29.12.2021).
- Pierenkemper, Christoph; Gausemeier, Jürgen (2021): „Developing Strategies for Digital Transformation in SMEs with Maturity Models.“ In: Digitalization. Herausgegeben von Daniel R. A. Schallmo; Joseph Tidd. Cham: Springer International Publishing (= Management for Professionals), S. 103–124. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-69380-0_7 (Zugriff am: 29.11.2021).
- Pistorius, Johannes (2020a): „Einführung.“ In: Industrie 4.0 – Schlüsseltechnologien für die Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–3. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-61580-5_1 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Pistorius, Johannes (2020b): „Internet der Dinge.“ In: Industrie 4.0 – Schlüsseltechnologien für die Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 9–25. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-61580-5_3 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Pistorius, Johannes (2020c): „Zusammenfassung und Bewertung.“ In: Industrie 4.0 – Schlüsseltechnologien für die Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 75–77. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-61580-5_8 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Plass, Christoph (2020): „Wie digitale Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle die Arbeitswelt verändern.“ In: Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Herausgegeben von Günter W. Maier; Gregor Engels; Eckhard Steffen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 59–85. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-52979-9_4 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Ramingwong, Sakgasit u.a. (2021a): „Readiness Model for Integration of ICT and CPS for SMEs Smart Logistics.“ In: Implementing Industry 4.0 in SMEs. Herausgegeben von Dominik T. Matt; Vladimír Modrák; Helmut Zsifkovits. Cham: Springer International Publishing, S. 187–209. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-70516-9_6 (Zugriff am: 29.11.2021).

- Ramingwong, Sakgasit u.a. (2021b): „Readiness Model for Integration of ICT and CPS for SMEs Smart Logistics.“ In: Implementing Industry 4.0 in SMEs. Herausgegeben von Dominik T. Matt; Vladimír Modrák; Helmut Zsifkovits. Cham: Springer International Publishing, S. 187–209. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-70516-9_6 (Zugriff am: 16.12.2021).
- Reckelkamm, Thorsten; Deuse, Jochen (2021): „Kompetenzentwicklung für Maschinelles Lernen zur Konstituierung der digitalen Souveränität.“ In: Digitalisierung souverän gestalten. Herausgegeben von Ernst A. Hartmann. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 31–43. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-62377-0_3 (Zugriff am: 29.12.2021).
- Roth, Armin (Hrsg.) (2016a): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin Heidelberg: Springer Gabler.
- Roth, Armin (2016b): „Industrie 4.0 – Hype oder Revolution?“ In: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Herausgegeben von Armin Roth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–15. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-48505-7_1 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Roth, Armin; Siepmann, David (2016): „Industrie 4.0 – Ausblick.“ In: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Herausgegeben von Armin Roth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 247–260. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-48505-7_5 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Schallmo, Daniel R. A. u.a. (2021): „An Approach for a Digital Maturity Model for SMEs Based on Their Requirements.“ In: Digitalization. Herausgegeben von Daniel R. A. Schallmo; Joseph Tidd. Cham: Springer International Publishing (= Management for Professionals), S. 87–101. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-030-69380-0_6 (Zugriff am: 29.11.2021).
- Schlick, Jochen u.a. (2017): „Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.2. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 3–29. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53248-5_46 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Schmitt, Robert Heinrich u.a. (2020): „Datenbasiertes Qualitätsmanagement im Internet of Production.“ In: Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft. Herausgegeben von Walter Frenz. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 489–516. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-58474-3_25 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Schwab, Klaus (2019): World Economic Forum, Committed to Improving The State of The World. The Global Competitiveness Report 2019. Online im Internet: URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf (Zugriff am: 30.12.2021).
- Seibold, Zázilia; Furmans, Kai (2017): „Plug&Play-Fördertechnik in der Industrie 4.0: Dezentrale Koordinationsmechanismen für Multifunktionalität und Wiederverwendbarkeit.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.3. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 3–20. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53251-5_2 (Zugriff am: 26.12.2021).

- Siepmann, David; Graef, Norbert (2016): „Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang.“ In: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Herausgegeben von Armin Roth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 17–82. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-48505-7_2 (Zugriff am: 26.12.2021).
- Soder, Johann (2017): „Use Case Production.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 3–25. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-45279-0_22 (Zugriff am: 26.12.2021).
- „Statistisches Bundesamt (Destatis)“ (2021): Kleine und mittlere Unternehmen. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online im Internet: URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/_inhalt.html (Zugriff am: 30.12.2021).
- Stich, Volker u.a. (2020): „Measures for a successful digital transformation of SMEs.“ In: Procedia CIRP, 93 (2020), S. 286–291. Online im Internet: DOI: 10.1016/j.procir.2020.03.023
- Urbach, Nils; Ahlemann, Frederik (2016): „Digitalisierung als Risiko – Security und Business Continuity Management sind zentrale Querschnittsfunktionen des Unternehmens.“ In: IT-Management im Zeitalter der Digitalisierung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 115–126. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-52832-7_9 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Wegener, Dieter (2017): „Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen für einen Global Player.“ In: Handbuch Industrie 4.0 Bd.2. Herausgegeben von Birgit Vogel-Heuser; Thomas Bauernhansl; Michael ten Hompel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 391–405. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-662-53248-5_67 (Zugriff am: 27.12.2021).
- Wienzek, Tobias (2018): „Vier Industrie 4.0-Strategietypen für die Praxis.“ In: Industrie 4.0 für die Praxis. Herausgegeben von Rainer Maria Wagner. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 29–52. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-658-21118-9_3 (Zugriff am: 28.12.2021).
- Wiesner, Stefan u.a. (2018): „Maturity Models for Digitalization in Manufacturing - Applicability for SMEs.“ In: Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0. Herausgegeben von Ilkyeong Moon u.a. Cham: Springer International Publishing (= IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 81–88. Online im Internet: DOI: 10.1007/978-3-319-99707-0_11 (Zugriff am: 05.12.2021).
- Zentner, Helena; Spremic, Mario; Zentner, Radovan (2021): „Measuring Digital Business Models Maturity for SMEs.“ In: 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Europe (TEMSCON-EUR). Dubrovnik, Croatia: IEEE, S. 1–6. Online im Internet: DOI: 10.1109/TEMSCON-EUR52034.2021.9488608 (Zugriff am: 13.10.2021).

Anhang

Tabelle 5: Zuordnung der Dimensionen und Schlagwörter auf Basis von den Studien

Publikation	Organisation und Kultur	Daten und Technologien	Menschen	Wertschöpfung
1	Lean, Agilität, Kultur, strategischer Aspekt, Produktionsplanung und -steuerung	Das Internet der Dinge, Big Data, Cloud Computing, Cyber-Physikalische Systeme, kollaborative Roboter, additive Fertigung, Augmented Reality, künstliche Intelligenz, Automatisierung, Konnektivität, Design für die Fertigung, Digitalisierung, Implementierung, Inspektion, Machine Learning, Mass Customizing, Netzwerke, präventive und vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance), Echtzeitstatus, Fernsteuerung, Ressourcenmanagement, Sicherheit, Upgrade und Virtual Reality, ERP-System, Qualitätssicherungssystem, Verbesserung der technologischen Perspektive, Benutzerfreundlichkeit	Menschen, Einsatz des kontinuierlichen Verbesserungsteams	KundInnenbedürfnisse, Produktionsflexibilität und -kenntnis, Nachhaltigkeit, globale Gesamtanlageneffektivität, Verfügbarkeitsrate, Wettbewerb, Tracking & Tracing, Transport

(Fortsetzung auf Seite 101)

(Tabelle 5, Fortsetzung)

Publikation	Organisation und Kultur	Daten und Technologien	Menschen	Wertschöpfung
2	Fähigkeiten der Organisation (Organizational Capability) digitales Geschäftsmodell, Strategie, Organisationskultur und Management, Entscheidungsfähigkeit, Führung, Risikobereitschaft, Agilität, Autonomie, Einnahmen und Kosten, Talentmanagement	die digitale Fähigkeit (Digital Capability), Technologieeinsatz, Rolle der Informatik, IT-Abteilung, Innovation, Daten, Cyber Sicherheit, Blockchain, Cloud	MitarbeiterInnen, Engagement, Bereitschaft für Änderungen (Akzeptanz), digitale Kompetenzen, Kommunikation, Innovationskraft, Personal, digitaler Arbeitsplatz	Kollaboration, Kernprozesse, LieferantInnen und PartnerInnenbeziehungen, Social Media, Innovation
3	Strategie, Organisation, Agilität, Kultur	Technologie, IKT, CPS, Kerngeschäftsprozesse	Menschen	Produktion, Logistik

(Fortsetzung auf Seite 102)

(Tabelle 5, Fortsetzung)

Publikation	Organisation und Kultur	Daten und Technologien	Menschen	Wertschöpfung
4	digitale Geschäftsmodelle	Produktinformationen, Preise, E-Books, Software, digitale Tools, Plattform, technologische Architektur, eigene Technologie, KundInnendaten, PartnerInnentechnologien, Geschäftsprozesse	Bewertungen und Erfahrungswerte, Empfehlungen	Benutzererfahrung im Hinblick auf digitale Prozesse für KundInnen, Schnittstellen, Empfehlungen, der gesamte digitale Interaktionsprozess, öffentliche Netzwerke
5	Wettbewerbsfähigkeit, Digitalisierungsstand, IT-Management, Geschäftsprozesse, (digitale) Strategie, die Prozesse des Unternehmens, interne Prozesse, digitale Gesamtstrategie, Strategie	digitale Fähigkeiten, verwendete Technologien, IT-Systeme, IT-Infrastruktur, künstliche Intelligenz, mobile Apps, Prozesse	Kompetenzen, MitarbeiterInnen, Ressourcen	Interaktion mit PartnerInnen und LieferantInnen über eine PartnerInnenschnittstelle, Services, Produkte und Dienstleistungen des Unternehmens, KundInnenschnittstellen
6	Strategie, Organisation, Agilität, Kultur	Technologie, IKT, CPS, Kerngeschäftsprozesse	Menschen	Produktion, Logistik

(Fortsetzung auf Seite 103)

(Tabelle 5, Fortsetzung)

Publikation	Organisation und Kultur	Daten und Technologien	Menschen	Wertschöpfung
7	Organisation und Kultur, Lean, Innovationsgemeinschaft, Betriebsbesprechungen, IT-Kompetenz der MitarbeiterInnen, Prozessmanagement Data Governance, Lean Management, Unternehmensstrategie, Finanzen, Unternehmensgewinne, Adaptive Produktions- und Logistikplanung	Informationssysteme, ERP-Implementierung, Dokumenten-Management-System, EDI, systematische Analyse von Fehlern und Ausschüssen, Analyse der Produktions- und Qualitätsdaten, Zustandsüberwachung, Tracking and Tracing, papierlose Produktion, IT/OT Integration, Plattform „Digital Shadow“	Ressourcen	Moderne Vertriebskanäle, Nachhaltigkeit
8	Strategie und Führung, Unternehmenskultur und Organisation, Prozesse und Abläufe	Technologie, IT-Infrastruktur	-	Produkte
9	Organisation, Strategie, Prozesse	Technologien, Fertigung/Fertigungs-Toolbox, Design- und Simulations-Toolbox, Robotik und Automatisierungs-Toolbox, Sensoren- und Konnektivitäts-Toolbox, Cloud-/Speicher-Toolbox, Daten-Analytics-Toolbox, Business-Management-Toolbox	Menschen, Fähigkeiten	Produkte

(Fortsetzung auf Seite 104)

(Tabelle 5, Fortsetzung)

Publikation	Organisation und Kultur	Daten und Technologien	Menschen	Wertschöpfung
10	Normen, Unternehmensführung,	Big Data, Smart Data, dunkle Fabrik	-	Entwicklung, Herstellung, industrielles Ökosystem, Lieferkette, Service, Vernetzung mit lokalen Lösungen
11	Vision, Strategie, Prozesse, Geschäftsmodell	Technologieportfolio	Kapazitäts- und Ressourcenanalyse	Produkt-Service-Lösungen, Marktdimension des Unternehmens, Netzwerk, Kundensegmente, Kundenerwartungen

Tabelle 6: Hauptinhalte der ausgewählten Publikationen

Publikation	Dimensionen		Bewertungsskala, -optionen, Maßnahmen, Variablen
1	Technologieansatz nach Pacchini	Unterscheidung zwischen 8 Technologien: <ul style="list-style-type: none"> • Das Internet der Dinge, • Big Data, • Cloud Computing, • Cyber-Physikalische Systeme, • kollaborative Roboter, • additive Fertigung, • Augmented Reality, • künstliche Intelligenz⁴¹⁴ 	Jede Technologie muss 6 Voraussetzungen erfüllen. Jeder Voraussetzung wurde eine vierstufige Skala (Stufen von 0 bis 3) zur Ermittlung des Erfüllungsgrads zugeordnet. ⁴¹⁵ Bsp. 6 Voraussetzungen in der Dimension Cloud Computing: <ul style="list-style-type: none"> • Verwenden Sie eine Firewall für die Datensicherheit? • Sind IT-Mitarbeiter auf neue Cloud-Computing-Technologien vorbereitet? • Gibt es eine Kultur, die darauf abzielt, die Vertraulichkeit Ihrer Daten zu externalisieren. • Haben Sie integrierte Systeme, um die Interoperabilität ihrer Prozesse zu gewährleisten? • Gibt es finanzielle Kapazitäten für Cloud-Investitionen? • Haben Sie Hochgeschwindigkeits-Internetverbindung und -kapazität?⁴¹⁶

⁴¹⁴ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

⁴¹⁵ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1216.

⁴¹⁶ Genest; Gamache 2020b, S. 1217, eigene Übersetzung.

	Geschäftspraxis-Ansatz nach Ranch	27 Cluster: Agilität, Automatisierung, Konnektivität, Kultur, Design für die Fertigung, Digitalisierung, Benutzerfreundlichkeit, Implementierung, Inspektion, Lean, Machine Learning, Mass Customizing, Netzwerke, Menschen, Produktionsplanung und -steuerung, präventive und vorausschauende Wartung, Echtzeitstatus, Fernsteuerung, Ressourcenmanagement, Sicherheit, Nachhaltigkeit, Tracking & Tracing, Transport, Upgrade und Virtual Reality. ⁴¹⁷	Allen Clustern wurden 65 Maßnahmen zugeordnet. Bsp. Dem Cluster Lean wurden drei Maßnahmen zugeordnet: <ul style="list-style-type: none"> • nicht wertschöpfende Aktivitäten in Produktion und Logistik reduzieren, • non demand produzieren und just in time liefern, • die Produktindividualisierung möglichst spät in der Wertschöpfungskette verschieben.⁴¹⁸ Eine konkrete Bewertungsskala wurde nicht beschrieben.
	Geschäftspraxis-Ansatz nach Haartman	Lean-Prinzipien als Voraussetzung für den Einsatz digitaler Technologien in der Produktion, demzufolge für Transformation in Richtung Industrie 4.0. ⁴¹⁹	Eine konkrete Bewertungsskala wurde nicht beschrieben.
	Geschäftspraxis-Ansatz nach Gamache et al.	Lean-Prinzipien und die kontinuierliche Verbesserung als Voraussetzungen, um den	Geschäftspraktiken, die sich auf die Effektivität des Unternehmens auswirken; es wurden insgesamt 15 Variablen definiert, die einen Einfluss auf die Unternehmensperformance haben. ⁴²¹

⁴¹⁷ Genest; Gamache 2020b, S. 1217, eigene Übersetzung.

⁴¹⁸ Genest; Gamache 2020b, S. 1217, eigene Übersetzung.

⁴¹⁹ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217.

⁴²¹ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1217-1218.

		KMU den Einstieg in die digitale Transformation, somit Richtung Industrie 4.0 zu erleichtern ⁴²⁰	Auf eine konkrete Bewertungsskala wird nicht eingegangen.
2	DEX-Methode (Multi-Attribute-Modell)	Attributbaum mit Attributwerten, Hauptdimensionen: Digital Capability und Organizational Capability; 51 Attribute (34 Basis- und 17 aggregierte Attribute) ⁴²²	Attributbaum, Domänenwerte, Nutzenfunktion (Utility functions); Jedem Attribut wurde ein skalenbasierter Domänenwert zugeordnet. Die Werte wurden als geordnete Mengen qualitativer diskreter Werte dargestellt. Beispielsweise sind Werte für das Attribut "Cloud": "Nicht verwenden", "Minimal verwenden", "Mäßig verwenden" und "Strategisch verwenden". ⁴²³ Aggregierte Attributwerte werden normalerweise als einfache Drei- oder Vier-Punkte-Skalen dargestellt, geordnet von „schwach“ bis „sehr gut“ oder angepasst an die allgemeingültigen, akzeptierten Skalen, die in der Literatur standardmäßig verwendet werden. ⁴²⁴ Die Ermittlung des Reifegrades kann zudem durch die sogenannte Nutzenfunktionen vereinfacht werden. Die Nutzenfunktionen wurden durch leicht verständliche "Wenn-Dann"-Entscheidungsregeln dargestellt. ⁴²⁵

⁴²⁰ Vgl. Genest; Gamache 2020b, S. 1218.

⁴²² Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

⁴²³ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

⁴²⁴ Vgl. Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 7.

⁴²⁵ Kljajić Borštnar; Pucihar 2021b, S. 8.

3	Key Readiness Indicators (KRI)	Indikatoren zur Ermittlung des Reifegrades von KMU: Strategie, Technologie, Anforderungen, Bewusstsein für digitale Trends und Kompetenzen der Angestellten; 5 Dimensionen: D1 – Strategie, D2 – Prozesse, D3 – Industrie 4.0, D4 – Angestellte, D5 – Informationstechnologie und Datensicherheit ⁴²⁶	26 Fragen in Bezug auf die Evaluierung der digitalen Bereitschaft; jede Dimension anhand von der Likert-Skala von 1 (niedriger Umsetzungsgrad) bis 5 (hoher Umsetzungsgrad) bewertet; Das Ergebnis der Bewertungsergebnisse bildet ein dreistufiges Readiness-Modell, welches Unternehmen als „Digital Newcomer“ (niedriges digitales Niveau), „Unternehmen in Transition“ (mittleres digitales Niveau) und „Top Performer“ (hohes digitales Niveau) klassifiziert. ⁴²⁷
4	Framework zur Messung der digitalen Reife der Geschäftsmodelle	3 Variablen: <ul style="list-style-type: none"> • Content („CON“, Inhalt), • Experience („EXP“, Erfahrung), • Platform („PLA“, Plattform)⁴²⁸ 	Durchführung einer Umfrage. An der Umfrage haben insgesamt 162 Unternehmen (ausschließlich KMU) aus 42 Ländern teilgenommen. Es wurde eine 5-Punkte-Likert-Skala zugeordnet von 1 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 5 („stimme voll und ganz zu“) verwendet. Die Skala bezieht sich auf jede definierte Aussage, die wiederum jeder Variable zugeordnet wurde. ⁴²⁹ Die Sätze beziehen sich auf die Inhalte der jeweiligen Variablen. Aussagen mit der Kennung C1 bis C7 – CON („Content“) ⁴³⁰

⁴²⁶ Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202, eigene Übersetzung.

⁴²⁷ Vgl. Brozzi; Riedl; Matta 2021b, S. 202.

⁴²⁸ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3, eigene Übersetzung.

⁴²⁹ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3.

⁴³⁰ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3, eigene Übersetzung.

				<p>Aussagen mit der Kennung E1 bis E6 – EXP („Experience“) ⁴³¹</p> <p>Aussagen mit der Kennung P1 bis P6 – PLA („Platform“) ⁴³²</p> <p>Je höher die Bewertung ausfällt, umso höher ist die digitale Reife des jeweiligen Geschäftsmodells.</p>
5	Digitales Reifegradmodell für KMU anhand ihrer Anforderungen	Analyse der Anforderungen der KMU, mit dem Ziel, dass Ergebnisse und der Hinweis auf fehlende Anforderungen in bestehenden Reifegradmodellen bei der Entwicklung zukünftiger Reifegradmodelle unterstützen. ⁴³³		<p>Analyse und Vergleich der bestehenden Reifegradmodelle;</p> <p>Die Untersuchung basierte auf Interviews und Workshops des InnoSÜD-Forschungsprojekts „Digitaler“ Reifegrad@Mittelstand.“ ⁴³⁴</p>
6	Readiness-Modell zur Integration von IKT und CPS für KMU „Smart Logistics“	<p>5 Stufen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Initial, 2. Trial, 3. Organized, 4. Automated, 5. Optimized ⁴³⁵ 	<p>5 Prozessbereiche:</p> <p>A-Produktion B-Technologie C-Menschen D-Logistik E-Strategie ⁴³⁶</p>	<p>Messung der technologischen Bereitschaft für intelligente Logistik (engl. Smart Logistics“) ⁴³⁷</p>

⁴³¹ Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 3, eigene Übersetzung.

⁴³² Zentner; Spremic; Zentner 2021, S. 4.

⁴³³ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 94-95.

⁴³⁴ Vgl. Schallmo u.a. 2021, S. 92.

⁴³⁵ Ramingwong u.a. 2021b, S. 206.

⁴³⁶ Ramingwong u.a. 2021b, S. 193, eigene Übersetzung.

⁴³⁷ Vgl. Ramingwong u.a. 2021b, S. 205.

7	Maßnahmen für eine erfolgreiche digitale Transformation von KMU	Cluster: Ressourcen, Informationssysteme, Organisation und Kultur ⁴³⁸	Ermittlung und Gruppierung der Digitalisierungsmaßnahmen für KMU unter Beachtung der ermittelten Reifegrade. Stufenweises Vorgehen anhand der abgeleiteten Digitalisierungsmaßnahmen. ⁴³⁹
8	Reifegradmodell der Digitalisierung für KMU	<p>6 Dimensionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strategie und Führung • Unternehmenskultur und Organisation • IT-Infrastruktur • Datenreife • Prozesse und Abläufe • Produkt (Nutzungsphase)⁴⁴⁰ <p>3 Reifegradstufen: Stufe 1: erster Digitalisierungsschritt, welcher unternommen wird; Ansätze bisher noch nicht ausgereift; >0 Punkte Stufe 2: einige Digitalisierungsschritte werden offiziell beschrieben und entsprechend ausgeführt; >2 Punkte</p>	<p>Das Modell wurde in einen Fragebogen transferiert. Die Dimensionen beinhalten mehrere Unterkategorien, die die Inhalte des Fragebogens abbilden. Daraus ist eine branchenübergreifende Umfrage entstanden. Aus den Ergebnissen soll eine allgemeine Empfehlung zur Vorgehensweise bzgl. der Digitalisierung eines Unternehmens abgeleitet werden.⁴⁴²</p> <p>Für den Gesamtreifegrad wurde das Ergebnis jeder Dimension je nach Relevanz der jeweiligen Dimension im Hinblick auf die digitale Transformation gewichtet.⁴⁴³</p>

⁴³⁸ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 288.

⁴³⁹ Vgl. Stich u.a. 2020, S. 290.

⁴⁴⁰ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

⁴⁴² Vgl. F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 1.

⁴⁴³ F. Blatz; R. Bulander; M. Dietel 2018, S. 5, eigene Übersetzung.

		Stufe 3: Quantitative Ziele und ihre Bewertung sind gesetzt; Reflexion und Anpassung der Maßnahmen von Digitalisierung; >3 Punkte ⁴⁴¹	
9	Smart Manufacturing Maturity Model SM ³ E	Drei-Achsen-Modell: <ul style="list-style-type: none"> • Organisation⁴⁴⁴ • Toolboxen⁴⁴⁵ • Reifegrade (von 1 bis 5)⁴⁴⁶ 	Die Gültigkeit der Elemente des Reifegradmodells kann hauptsächlich durch Industrieumfragen bestätigt werden. Dies macht Reifegradmodelle zu einer praktikablen Option zur Unterstützung der Fertigung von KMU auf dem Weg zur erfolgreichen Realisierung von SM/Industrie 4.0-Fähigkeiten. ⁴⁴⁷
10	Industrie 4.0 Reifegradindex für KMU – „Quick CheckUp“	5-stufiges Modell „Quick CheckUp“: <ul style="list-style-type: none"> • Normen (Stufe 1), • Big Data (Stufe 2), • Smart Data (Stufe 3), • dunkle Fabrik (Stufe 4), • industrielles Ökosystem (Stufe 5).⁴⁴⁸ 	Der Quick CheckUp berücksichtigt den gesamten Produktlebenszyklus. ⁴⁴⁹ fünf Unternehmenseinheiten: <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmensführung, • Entwicklung, • Herstellung, • Lieferkette und • Service.⁴⁵⁰

⁴⁴¹ in Anlehnung an F. Blatz; R. Bulander; M. Diemel 2018, S. 5.

⁴⁴⁴ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 159.

⁴⁴⁵ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 160-161.

⁴⁴⁶ Vgl. Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 160.

⁴⁴⁷ Mittal; Romero; Wuest 2018, S. 157, eigene Übersetzung.

⁴⁴⁸ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133, eigene Übersetzung.

⁴⁴⁹ Vgl. Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133.

⁴⁵⁰ Häberer; Lau; Behrendt 2017, S. 133, eigene Übersetzung.

11	Dreistufiges Reifegradmodell für KMU in Richtung Industrie 4.0	3 Prozessstufen: <ul style="list-style-type: none"> • Envision, • Enable, • Enact⁴⁵¹ 	5 Stufen des Reifegradmodells: <ol style="list-style-type: none"> 1. Initial 2. Gemanagt 3. Definiert 4. Transformieren 5. Detailliertes Geschäftsmodell⁴⁵² 	Diversifizierungs-Unternehmensstrategie; ⁴⁵³ Das dreistufige Prozessmodell wurde entwickelt, um Unternehmen bei ihrer Industrie 4.0-Vision und Strategiefindung zu begleiten und zu unterstützen. Es sollen neue Möglichkeiten für die Diversifizierung in Bereichen der Industrie 4.0 identifiziert werden. ⁴⁵⁴
----	--	--	---	---

⁴⁵¹ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124-1125.

⁴⁵² Ganzarain; Errasti 2016, S. 1125.

⁴⁵³ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124, eigene Übersetzung.

⁴⁵⁴ Ganzarain; Errasti 2016, S. 1124, eigene Übersetzung.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich vorliegende Masterarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Dornbirn, am 07. Januar 2022

Anita Kiczek