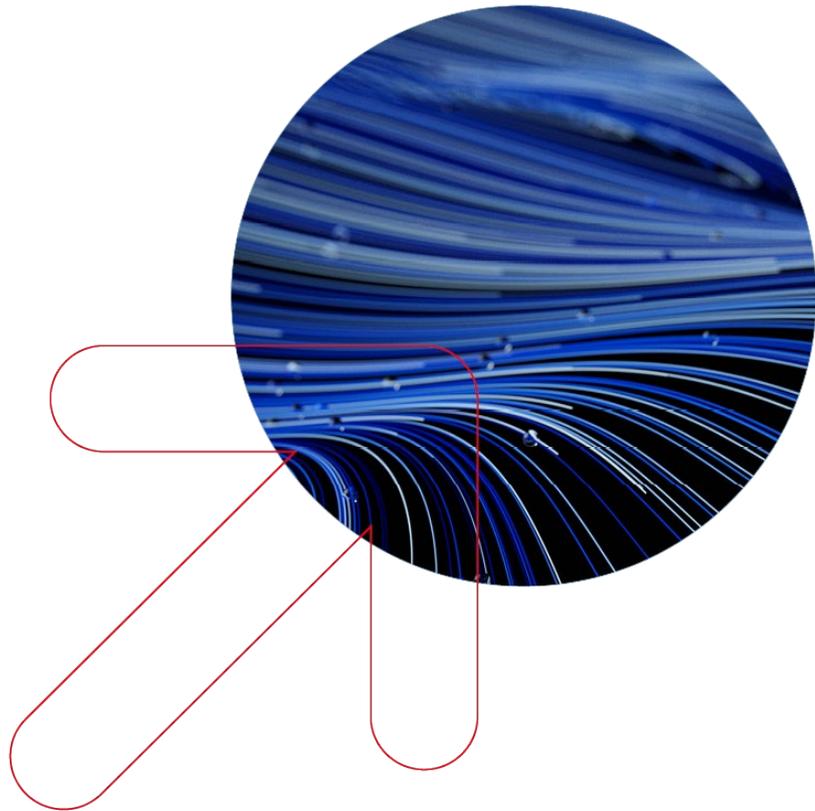


WIK • Diskussionsbeitrag

Nr. 484



Chancen digitaler Reifegradmodelle für KMU – eine vergleichende Untersuchung der Messkriterien

Autoren:

Andrea Liebe

Martin Lundborg

Pirmin Puhl

Katrin Marques Magalhaes

unter Mitarbeit von Philipp Thoste



WIK

Wissenschaftliches Institut
für Infrastruktur und
Kommunikationsdienste

Bad Honnef, Dezember 2022

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Stand: Dezember 2022

Bildnachweis Titel: © Robert Kneschke - stock.adobe.com

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.
ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Zusammenfassung	V
Summary	VII
1 Einleitung	1
2 Digitalisierung der deutschen Wirtschaft	4
2.1 Digitale Transformation von KMU	4
2.2 Messen von Digitalisierung in der deutschen Wirtschaft	5
2.2.1 Ansätze mit gesamtwirtschaftlichem Fokus	5
2.2.2 Digitale Reifegradmodelle als Instrument zur Bestimmung der individuellen digitalen Transformation	8
3 Screening digitaler Reifegradmodelle und Fokussierung	12
3.1 Gruppierung von Reifegradmodellen	12
3.2 Auswahl geeigneter Modelle und Aufbereitung	14
3.2.1 Auswahlkriterien	14
3.2.2 Aufbereitung im Steckbriefformat	17
4 Programmgestützte Analyse der Themencluster in den Modellen	20
4.1 Topic Modelling mit Unsupervised Learning	20
4.1.1 Aufbereitung der Inputdaten (Preprocessing)	21
4.1.2 Vektorisierung	22
4.1.3 Clustering mit k-Means	24
4.2 Ergebnisse der k-Means-Clustering und Generierung von Wortwolken	29
4.3 Grenzen der programmgestützten Analyse	39
5 Schwerpunktsetzung und Dimensionen der Reifegradmodelle	41
6 Überschneidung der Themen der Reifegradmodelle mit Hemmnissen und Treibern der Digitalisierung	47
7 Reifegradmodelle im Vergleich zur Messung von Digitalisierung in gesamtwirtschaftlichen Modellen	50
8 Herausforderungen, Grenzen und Handlungsempfehlungen	55
9 Schlussbetrachtung	58

10 Literaturverzeichnis	60
11 Anhang	64
11.1 Wichtige Charakteristika der KMU	64
11.2 Aufbereitung der Reifegradmodelle im Steckbriefformat	65
11.3 Konfigurationen der programmgestützten Analyse	88
11.4 Cluster-Schaubild als 2D-Darstellung	89
11.5 Wortwolken der einzelnen Reifegradmodelle	90
11.6 Auflistung, beispielhaft für die Studie untersuchter Modelle	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ermittlung des Digitalen Reifegrades durch Fragen am Beispiel des Digitalcheck Mittelstand	9
Abbildung 2:	Ergebnisdarstellung der einzelnen Dimensionen sowie insgesamt am Beispiel des Digitalcheck Mittelstand	9
Abbildung 3:	Schematisch dargestellte Reduktion der identifizierten digitalen Reifegradmodelle um einheitlich festgelegte Auswahlkriterien	15
Abbildung 4:	Prozessschritte der programmgestützten Analyse	20
Abbildung 5:	Prozessschritte	21
Abbildung 6:	Prozess der Clusterbildung mit k-Means-Algorithmus	25
Abbildung 7:	Bestimmung der Anzahl der Cluster nach Elbow-Methode	29
Abbildung 8:	Cluster Mitarbeiter	31
Abbildung 9:	Cluster Organisation	32
Abbildung 10:	Cluster Prozesse	33
Abbildung 11:	Cluster Strategie	34
Abbildung 12:	Cluster Produkte und Dienstleistungen	35
Abbildung 13:	Cluster Kunden und Zulieferer	36
Abbildung 14:	Cluster IT-Sicherheit	37
Abbildung 15:	Cluster Technologie und Infrastruktur	38
Abbildung 16:	Sonstiges (Grunddaten)	39
Abbildung 17:	Wortwolken zu den Modellen Nr. 3 (Digital Maturity Check) und 4 (Digital Readiness Self-Check) sowie Nr. 14 (Online Selbsteinschätzung) und 17 (Readiness-Check Industrie 4.0.)	45
Abbildung 18:	Anzahl der Studien, die aufgeführte Hemmnisse für KMU bei der Digitalisierung nennen (Mehrfachnennung möglich)	47
Abbildung 19:	Wortwolke über die Destatis Indikatoren	51
Abbildung 20:	Wortwolke über die Indikatoren des BMWK Index	52
Abbildung 21:	Wortwolke über alle Fragen aller Reifegradmodelle (incl. Stopwörter)	53
Abbildung 22:	Cluster in 2D-Darstellung	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswahl der näher zu betrachtenden Reifegradmodelle	15
------------	---	----

Tabelle 2:	Aufbereitung des Reifegradmodells „Digitalcheck Mittelstand“ im Steckbriefformat	18
Tabelle 3:	Analyse, welches Cluster in welchem Modell adressiert wird	42
Tabelle 4:	Ranking der Fragen je Modell nach Clustern	43
Tabelle 5:	Auflistung, beispielhaft für die Studie untersuchter Modelle	97

Zusammenfassung

Ziel der Studie ist die Erhöhung der Transparenz bei der Vielzahl an digitalen Reifegradmodellen und den Kriterien zur Messung des Digitalisierungsgrades von kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland. Zu diesem Zweck wird erfasst, welche digitalen Reifegradmodelle speziell für KMU in Deutschland zur Verfügung stehen und worin sich diese gleichen bzw. unterscheiden. Dazu werden die Schwerpunkte der Modelle und ihrer Fragen analysiert und relevante Cluster von Digitalisierungsthemen identifiziert. Als Methode wurde dabei Topic Modelling mit k-Means angewendet.

Am Markt gibt es viele Angebote, die dazu gedacht sind, den digitalen Reifegrad von KMU mittels Selbsteinschätzung zu erfassen und notwendige Handlungsoptionen aufzuzeigen. Sie lassen sich grob in vier Kategorien einordnen, wobei die Einordnung zum Teil auch in mehrere Kategorien erfolgen kann:

- Konzeptionelle Modelle,
- gesamtwirtschaftliche Modelle zur Indexbildung,
- kommerzielle Modelle sowie
- uneingeschränkt öffentlich zugängliche Modelle.

Von der großen Auswahl an digitalen Reifegradmodellen, wurden durch Ausschussverfahren anhand einheitlicher Kriterien 19 Modelle identifiziert. Aus den insgesamt 819 Fragen, die in den 19 Reifegradmodelle vorkommen, konnten mittels Topic Modelling 9 Themen von Fragen (thematische Cluster) identifiziert werden. Diese Cluster wurden anhand ihrer Schwerpunktsetzung definiert als:

- Mitarbeiter,
- Organisation,
- Prozesse,
- Strategie,
- Produkte und Dienstleistungen,
- Kunden und Zulieferer,
- IT-Sicherheit,
- Technologie und Infrastruktur sowie
- Sonstiges / Grunddaten.

Die untersuchten Reifegradmodelle bedienen sich unterschiedlicher Cluster und kombinieren somit unterschiedliche Themen. Dabei wird deutlich, dass kein Reifegradmodell dem anderen gleicht. Zwar gibt es zwischen mehreren Modellen große Überschneidungen bei den adressierten Clustern, jedoch gibt es ebenso viele Modelle, die komplett andere Cluster ins Auge fassen.

Einige der identifizierten Fragen-Cluster werden dabei von der Mehrzahl der digitalen Reifegradmodelle adressiert, während andere Cluster nur von Teilen der Modelle oder sogar einer Minderheit adressiert werden. Kritisch zu sehen ist dies in Teilen deshalb, da wichtige Themen, die in vielen KMU als Hemmnis oder Treiber der Digitalisierung gesehen werden so nicht näher untersucht werden. Dies gilt insbesondere für das Thema IT-Sicherheit.

Im Vergleich mit gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsindizes unterscheiden sich Reifegradmodelle deutlich. Nicht nur haben sie andere Zielsetzungen (Unternehmensperspektive vs. gesamtwirtschaftliche Perspektive), auch die Fragen bzw. Indikatoren, die zur Ermittlung des Digitalisierungsgrades genutzt werden, unterscheiden sich. Die Unterschiede zwischen den Reifegradmodellen und ihren thematischen Schwerpunkten sowie die Unterschiede zu gesamtwirtschaftlichen Digitalisierungsindizes zeigen, dass Digitalisierung unterschiedlich verstanden und gemessen werden kann. Es gibt nicht den einen Digitalisierungsgrad. Damit begründen beide Varianten ihre Daseinsberechtigung. Während gesamtwirtschaftliche Digitalisierungsindizes einen Überblick über den Digitalisierungsstand der gesamten bzw. besonderen Teilen der Wirtschaft schaffen sollen, stehen digitale Reifegradmodelle insbesondere für KMU zur Verfügung, die eine objektive Selbsteinschätzung benötigen.

Summary

The aim of the study is to create transparency in the large number of digital maturity models and the criteria for measuring the degree of digitization of small and medium-sized enterprises (SMEs) in Germany. The study assesses which digital maturity models are available for SMEs in Germany and how they differ. For this purpose, the focus of the models and their questions have been analyzed and clusters of relevant topics have been derived. The method thereby used is Topic Modeling based on Unsupervised Machine Learning.

There are many models which are designed to capture the digital maturity level of SMEs and identify necessary options for action. These are typically implemented as self-assessment tests. They can be categorized into four groups: Conceptual models, macroeconomic models for indexing, commercial models, and publicly available models. However, not all of these are designed to be used by SMEs in practice.

From the large selection of digital maturity models, 19 models were identified with the help of an exclusion process based on uniform criteria. From the total of 819 questions that appear in the 19 maturity models, we were able to use topic modeling to identify 9 clusters to which these questions can be assigned. We defined these clusters based on their focus as: Employees, Organization, Processes, Strategy, Products and Services, Customers and Suppliers, IT Security, Technology and Infrastructure, and Other / Basic Data.

The maturity models examined use different clusters and thus combine different topics. Nevertheless, no two maturity models are alike. While there is a great deal of overlap between several models in the clusters addressed, there are just as many models that target completely different clusters. Some of the identified clusters are addressed by the majority of digital maturity models, while other clusters are addressed only by parts of the models or even a minority. This can be seen as critical because important topics that are seen as obstacles or drivers of digitization in many SMEs are not examined in greater detail. This applies, especially, to IT security.

Compared with overall economic digitization indices, maturity models differ significantly. Not only do they have different objectives (company perspective vs. macroeconomic perspective), but the questions or indicators used to determine the degree of digitization also differ. The differences between the maturity models and their thematic focus as well as the differences to macroeconomic digitization indices show that digitization can be understood and measured differently. There is no unified perspective regarding the level of digitization. This gives both variants their rationale for existence. While macroeconomic digitization indices are intended to provide an overview of the level of digitization in the entire economy or in specific parts of the economy, digital maturity models are available in particular for SMEs that require an objective self-assessment.

1 Einleitung

Zahlreiche Untersuchungen und Studien halten fest, dass die Digitalisierung im deutschen Mittelstand nicht so weit fortgeschritten ist, wie es wünschenswert wäre.¹ Zwischen diesen Studien und der Selbsteinschätzung von mittelständischen Unternehmen lässt sich dabei eine deutliche Diskrepanz feststellen, die darin besteht, dass die Unternehmen ihren Digitalisierungsgrad in aller Regel sehr viel höher bewerten als objektive Untersuchungen mit Benchmarksetzung.² Daraus wiederum folgt, dass diese Unternehmen zu wenig Bewusstsein dafür haben, dass Handlungsbedarf besteht.

Dies wird auch durch die fehlende Digitalisierungsstrategie in vielen KMU deutlich. Viele Unternehmen setzen sich somit nicht ausreichend mit den Chancen der Digitalisierung auseinander.³ Ein Bewusstsein dafür, welche Möglichkeiten sich ihnen durch Digitalisierung eröffnen und welche Zukunftstechnologien ihnen zur Verfügung stehen, erlangen sie viel zu selten.⁴ Dies hängt auch mit der Unübersichtlichkeit der Angebote und Möglichkeiten zusammen, die je nach Größe, Branche sowie Digitalisierungsstand und -potenzial von KMU zu KMU unterschiedlich ausfallen. In jedem Unternehmen gilt es folglich individuell die Entscheidung zu treffen, welche Digitalisierungsangebote in Frage kommen und wo das Unternehmen noch Optimierungspotenzial hat. Dies hängt auch damit zusammen, welcher Grad an Digitalisierung angestrebt wird und in einem nächsten Schritt realistisch umzusetzen ist.

Anhaltspunkte dazu kann eine kritische, selbstreflektierend Auseinandersetzung mit möglichen organisatorischen, personellen oder technologischen Maßnahmen zur Digitalisierung sein. Darüber hinaus können aber auch Vergleiche mit Unternehmen derselben Branche oder einer vergleichbaren Unternehmensgröße Erkenntnisse liefern. Die Komplexität und Vielfalt, sowie die individuellen Handlungsbedarfe und -potenziale machen es für Unternehmen allerdings auch schwierig eben diese zu erkennen und für das eigene Unternehmen einzuordnen.

Digitale Reifegradmodelle sind ein Instrument für Unternehmen – oder auch einer unternehmerischen Organisationseinheit wie einer Abteilung oder eines Prozesses – um den aktuellen Stand und Handlungsbedarfe hinsichtlich der digitalen Transformation zu identifizieren. Es gibt sie in zahlreichen Ausführungen, angeboten von unterschiedlichen Anbietern, mit unterschiedlichen Zwecken.

Mit der vorliegenden Studie wird eine Analyse digitaler Reifegradmodelle vorgelegt. Damit sollen diese für mittelständische Unternehmen zugänglicher zu machen. Auf diese Weise kann ein Beitrag hin zu einer digitalen Wirtschaft und Gesellschaft geleistet

1 Vgl. Die Bundesregierung (2022) sowie Demary, V. et al. (2016).

2 Vgl. <https://www.dihk.de/resource/blob/35426/1350b2a6e99cf4f2aab4d8dce4333d6f/anhang-digitalisierungsumfrage-21-data.pdf> [Letzter Abruf 06.07.2022]

3 Vgl. Zimmerman, V. (2022).

4 Vgl. Hölzle, K., Gerhard, F., Petzolt, S. (2019).

werden, wie sie auch in der Digitalstrategie der Bundesregierung dargelegt ist.⁵ Den Unternehmen soll Hilfestellung bei der Auswahl eines individuell passenden Reifegradmodells gegeben werden und damit eng verbunden auch mehr Transparenz bei der Vielzahl an Modellen geschaffen werden. Der Fokus liegt auf den öffentlich zugänglichen Reifegradmodellen, die in aller Regel als Selbstcheck durchgeführt werden können. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass nicht jedes Modell passend für jedes Unternehmen ist. Die entsprechenden Schwerpunkte und Eignungen werden herausgearbeitet. Die Forschungsfragen lauten demzufolge:

- Welche digitalen Reifegradmodelle gibt es und wie lassen sich diese kategorisieren?
- Welche Schwerpunkte haben die digitalen Reifegradmodelle und welche Dimensionen zur Messung von Digitalisierung werden adressiert?
- Inwiefern unterscheiden sich das Digitalisierungsverständnis und die Messung von Digitalisierung in digitalen Reifegradmodellen und gesamtwirtschaftlichen Ansätzen zum Stand der Digitalisierung in Deutschland?

Um diese Forschungsfragen systematisch beantworten zu können, wird sich dem folgenden Forschungsdesigns bedient: Neben einer theoretischen Betrachtung wird eine Auswahl tatsächlich am Markt verfügbarer Digitaler Reifegradmodelle eingehend analysiert. Zunächst erfolgt ein Screening der am Markt verfügbarer Modelle, um zu einer Kategorisierung zu gelangen. Die so entstehende Longlist wird dann zu einer Shortlist verkürzt, indem verschiedene Auswahlkriterien hinsichtlich der Relevanz bestimmter Modelle und ihrer verfügbaren Dokumentation angewandt werden. Die Arbeit erfolgt literaturgestützt. Die Auswahl der Modelle wird dann wiederum einer systematischen Analyse unterzogen, um die Forschungsfragen zu adressieren. Um die Objektivität zu erhöhen, erfolgt diese Analyse programmgestützt mit Unsupervised Machine Learning (k-Means).

Ausgangspunkt der Studie und Gegenstand von Kapitel 2 ist die systematische Darstellung des gegenwärtigen Stands der Digitalisierung in der deutschen Wirtschaft. Dazu wird sich unter anderem der jährlichen Umfrage des Statistischen Bundesamtes und Eurostat bedient. Von besonderem Interesse sind die hier erhobenen Dimensionen der Digitalisierung.

Im Anschluss erfolgt in Kapitel 3 zunächst eine theoretische Abhandlung zu digitalen Reifegradmodellen. Darauf aufbauend lassen sich am Markt verfügbare Modelle kategorisieren. In Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand wird nach objektiven Kriterien eine Modellauswahl getroffen, für die dann wiederum vertiefende Untersuchungen durchgeführt werden. Dazu werden die einzelnen Reifegradmodelle aufbereitet und ihre Modellstruktur, ihre operative Umsetzung und ihre Ergebnisse erfasst.

⁵ Vgl. dazu <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/die-digitalstrategie-der-bundesregierung-1549554> [Letzter Abruf 13.06.2022].

Mit den so gesammelten Daten werden in Kapitel 4 programmgestützte, systematische Analysen vorgenommen und die aufgeworfenen Forschungsfragen adressiert.

Im Rahmen des Kapitels 5 werden die Reifegradmodelle anhand der identifizierten Dimensionen auf ihre Schwerpunktsetzungen untersucht und diese miteinander verglichen.

In Kapitel 6 erfolgt eine Gegenüberstellung mit den Hemmnissen und Treibern von Digitalisierung, die in anderen Studien festgestellt werden. Dadurch erfolgt ein Abgleich, inwiefern die Reifegradmodelle diese thematisieren.

Im Anschluss erfolgt in Kapitel 7 ein Abgleich der Erkenntnisse zu digitalen Reifegradmodelle mit den zuvor besprochenen Untersuchungen z. B. des Statistischen Bundesamtes, um die Aussagekraft derartiger Modelle in Relation zu setzen und die Unterschiede und Vorteilhaftigkeiten der Ansätze herauszuarbeiten.

Herausforderungen und Grenzen werden in Kapitel 8 aufgezeigt und Handlungsempfehlungen für Unternehmen, Politik und Entwickler digitaler Reifegradmodelle abgeleitet.

Die Studie schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Digitalisierung der deutschen Wirtschaft

Zur Einführung und zum besseren, einheitlichen Verständnis der Thematik erfolgt in diesem Kapitel zunächst ein kurzer Aufriss zum Stand der digitalen Transformation von KMU in Deutschland sowie deren besonderen Bedürfnisse und Herausforderungen. Es folgt eine kurze Darstellung zu verschiedenen Ansätzen, die versuchen den Stand der digitalen Transformation zu erfassen.

2.1 Digitale Transformation von KMU

Der Begriff Digitalisierung wird häufig verwendet, gleichwohl ist das Verständnis nicht immer einheitlich. Das Grundverständnis der Digitalisierung basiert auf der Vorstellung, etwas ursprünglich Analoges in eine digitale Form oder Variante zu überführen.⁶ Es kann aber auch etwas gänzlich Neues sein, was von vornherein nur in digitaler Form etabliert wird. Diese Interpretation ist etwas technischer geprägt als das Verständnis der Digitalisierung als Transformationsprozess, das in dieser Studie sowie in digitalen Reifegradmodellen Anwendung findet. In dieser Definition wird der Übergang eines Unternehmens von der analogen in die digitale Welt mit dem Ziel einer Effizienzsteigerung als Digitalisierung verstanden. Dafür ist eine Vielzahl von Adaptionen erforderlich, die sämtliche Bereiche im Unternehmen betreffen können und mit einer Vielzahl von Herausforderungen einhergehen. Der Prozess steht im Vordergrund und weniger eine ad-hoc-Aktivität. Digitalisierung umfasst in dieser Definition von daher die Virtualisierung von Produkten und Prozessen, die Vernetzung von Maschinen, Werkstücken und Menschen sowie das Teilen von Daten. Virtualisierung bezeichnet dabei die Darstellung physischer Elemente in digitaler Form, das heißt in Dateien basierend auf Daten, Datenmodellen und Algorithmen. Bei der Vernetzung werden Maschinen, Werkstücke, Menschen sowie Prozesse internetbasiert miteinander verbunden und bilden ein Gesamtsystem, das sich durch eine Netzwerkstruktur auszeichnet. Das Teilen von Daten unter verschiedenen Akteuren ermöglicht die gemeinschaftliche Nutzung und Skalierung von Geschäftsmodellen.⁷

Für die Definition der Unternehmensart kleiner und mittlerer Unternehmen (oft auch Mittelstand genannt) wird im Zuge dieser Studie der Definition des IfM Bonn gefolgt.⁸

Auch wenn aufgrund der Vielzahl von Unternehmen in unterschiedlichen Branchen KMU sehr heterogen sind, zeigen verschiedene Untersuchungen, dass sich kleine und mittlere Unternehmen besonders schwer tun, digitale Innovationen im Unternehmen zu schaffen und zu etablieren, Digitalisierungsstrategien zu entwickeln und die Chancen des Ausbaus ihrer Geschäftsmodelle in Richtung Digitalisierung zu nutzen.⁹ KMU haben einige prägende Charakteristika, die zur Erklärung dieses Phänomens herangezogen werden

⁶ Auf diese Art und Weise wurden in den vergangenen Jahren bereits zahlreiche Technologien substituiert. So wurde Korrespondenz zum Großteil durch den E-Mail-Verkehr abgelöst, Schallplatten und Kassetten von CDs abgelöst und Schreibmaschinen durch PCs. Vgl. O.V. (2016).

⁷ Vgl. Neligan, A. et al. (2021).

⁸ Vgl. IfM Bonn (2016).

⁹ Vgl. Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021).

können, aber auch echte Chancen zur Bewältigung aufzeigen. Diese Charakteristika spielen somit bei der Erfassung des digitalen Reifegrades eine wichtige Rolle. Im Anhang 11.1 ist eine Beschreibung solcher Charakteristika aufgeführt.

Das Thema Digitalisierung erfordert Strategien auf der einen Seite und Instrumente, die den Transformationsprozess begleiten, auf der anderen Seite. Unternehmen sollten ihre eigenen Potenziale erkennen und Strategien zur Realisierung dieser entwickeln. Hier ist die Unternehmensführung gefordert entsprechende Maßnahmen zu entwickeln.¹⁰ Die Entwicklung und Anwendung von Instrumenten, die Aussagen zum aktuellen Stand der Digitalisierung in Deutschland, und im Speziellen in der Wirtschaft machen, ist im Zuge des Transformationsprozesses hilfreich. Denn letztlich ist die Digitalisierung kein Selbstzweck, sondern eine Chance zur Effizienzsteigerung und eine Frage der Wettbewerbsfähigkeit. Entsprechend muss der Status des digitalen Wandels auch mess- bzw. greifbar sein.

Aufgrund der hohen politischen und gesellschaftlichen Relevanz der Digitalisierung wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Erhebungsinstrumente geschaffen, die den Digitalisierungsgrad abbilden. Diese quantitativen und qualitativen Messgrößen sind Gegenstand des folgenden Abschnittes. Dabei wird unterschieden zwischen Ansätzen mit einem vorwiegend gesamtwirtschaftlichen Fokus und Reifegradmodellen, deren Zielgruppe das einzelne Unternehmen ist.

2.2 Messen von Digitalisierung in der deutschen Wirtschaft

2.2.1 Ansätze mit gesamtwirtschaftlichem Fokus

Aussagen zum Stand der Digitalisierung, ggf. differenziert nach Branchen, Unternehmensgrößen und Regionen, werden in der Regel basierend auf Indikatoren getroffen. Die herangezogenen Indikatoren adressieren dabei die verschiedenen Dimensionen der Digitalisierung wie z. B. Strategie, Mitarbeiter, Kundenbeziehungen, Technologien etc. Sie können auf objektiven messbaren Kriterien (z. B. Anteil der technologieorientierten Unternehmen in einer Region, Anteil des Umsatzes eines Unternehmens, der über Onlinehandel erwirtschaftet wird) oder eher subjektiven Kriterien (z. B. Selbsteinschätzung zur Digitalkompetenz der befragten Unternehmen) basieren. Auch die Kombination beider Ansätze ist denkbar.

Um Aussagen zum Status der Digitalisierung in Deutschland insgesamt zu machen, werden sogenannte Digitalisierungsindizes gebildet. Diese wiederum werden durch die Aggregation von Einzelindikatoren, die gemessen und gewichtet werden, und ggf. auch Subindikatoren ausweisen, ermittelt. Die Einzelindikatoren werden nicht zwingend exklusiv dazu erhoben, sondern können auch aus bereits bestehenden Erhebungen stammen, die miteinander kombiniert werden. Neben unternehmensinternen Indikatoren, die direkt

¹⁰ Vgl. Berghaus, S., Back A. (2016).

vom Unternehmen beeinflusst werden können, fließen teilweise auch unternehmensexterne Indikatoren in den Index ein, die das Umfeld beschreiben, in dem die Unternehmen agieren und somit nicht unmittelbar beeinflusst werden können. Bei einer Mischung aus verschiedenen Indikatortypen bedarf es einer durchdachten und aufwendigen Systematik, die unterschiedliche Basiseinheiten (z. B. Prozentangaben, Indexwerte, absolute Zahlen, usw.) auf eine gemeinsame Bezugsgröße bringen muss sowie eine Gewichtung der einzelnen Indikatoren vornimmt.¹¹

Digitalisierungsindizes dienen dazu, Vergleiche verschiedener Gruppen (z. B. Regionen oder Unternehmensgrößen) anzustellen oder auch den Digitalisierungsgrad im Lauf der Zeit zu betrachten.¹² Der Fokus liegt somit nicht primär auf dem einzelnen Unternehmen. Gesamtwirtschaftliche Indizes werden von verschiedenen Ansätzen, in der Regel abhängig von der jeweils zugrundeliegenden Fragestellung einer Studie oder eines Gutachtens, unterschiedlich gebildet und begründet. Es ist kein übergreifender oder allgemeingültiger Standard zur Bildung von Digitalisierungsindizes vorhanden. Sie sind also immer in ihrem spezifischen Untersuchungskontext zu interpretieren.¹³

Digitalisierungsindizes werden in der Regel auf Basis der genutzten Indikatoren auf zwei unterschiedliche Art und Weisen dargestellt. Eine Möglichkeit besteht darin den maximal möglichen Indexwert auf 100 festzulegen und mit den Indikatoren zu errechnen welcher Wert auf dieser 100er-Skala im Erhebungsjahr erreicht wird. Die zweite Darstellungsweise sieht vor, den Wert für den Digitalisierungsindex in seinem Basisjahr auf 100 zu normieren und in den Folgejahren mit Hilfe der Indikatoren zu errechnen, ob der Digitalisierungsindex gemessen am Basisjahr größer oder kleiner ist.

Angaben zum aktuellen Stand und zur Entwicklung der Digitalisierung in Deutschland liefern unter anderem das Statistische Bundesamt¹⁴ und der Index des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWK)¹⁵. Für viele weitere Studien zu diesem Themenkomplex sei auf die Zusammenstellung von Papen, Lundborg und Tenbrock (2021) verwiesen.¹⁶ Während die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes im Europäischen Kontext erfolgen und dem Ziel eines internationalen Vergleiches dienen, intendiert der Digitalisierungsindex des BMWK die Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland, separat für Unternehmen und ihr Umfeld, möglichst umfassend abzubilden.

Das Statistische Bundesamt (Destatis) führt jährlich eine Erhebung über die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in deutschen Unternehmen

¹¹ Vgl. Büchel, J. et al. (2020).

¹² Vgl. Büchel, J. et al. (2021).

¹³ Vgl. Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021).

¹⁴ Vgl. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/IKT-in-Unternehmen-IKT-Branche/inhalt.html> [Letzter Abruf 08.08.2022]

¹⁵ Vgl. dazu und im Folgenden <https://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Indikatorentool/indikatorentool.html>. [Letzter Abruf 30.08.2022]

¹⁶ Vgl. Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021).

durch.¹⁷ Dieses geschieht in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Amt der Europäischen Union (Eurostat). Die Verbreitung und Nutzung von Computern mit Internetzugang in Unternehmen bilden den Schwerpunkt. Hinzu kommen Fragen zu Internetseiten, Cloud-Computing und E-Commerce. Eine laufende Überprüfung und Anpassung um neue Technologien stellen die Abbildung des aktuellen Standes sicher. Die Befragung hat einige Indikatoren, die jedes Jahr erhoben werden und einige, die wiederum von Jahr zu Jahr flexibel abgefragt werden. Hinzu kommen Sonderbereiche, um aktuelle Entwicklungen, wie etwa Künstliche Intelligenz oder die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie abzubilden. Die Daten werden für ganz Deutschland, differenziert nach Jahren, Beschäftigungsgrößenklassen und Wirtschaftszweigen, ausgewiesen.¹⁸

Der Digitalisierungsindex des BMWK stellt eine aggregierte Messgröße für den aktuellen Stand der Digitalisierung in Deutschland dar.¹⁹ Er basiert auf 37 Indikatoren, hinter denen wiederum Subindikatoren stehen, und die verschiedenen Dimensionen der Digitalisierung abbilden. Sie werden bei der Indexbildung unterschiedlich gewichtet, aber nicht zwingend für die Aggregation zum Digitalisierungsindex erhoben. Im Gegensatz zu den Destatis-Indikatoren erfolgt ihre Erhebung nicht in einer gemeinsamen Befragung über alle Indikatoren hinweg. Differenziert wird nach Branchen, (Gruppen von) Bundesländern, Regionen und Unternehmensgröße, wobei nicht alle Indikatoren auf allen Differenzierungsebenen vorliegen. Der Index des BMWK weist sowohl die Rahmenbedingungen (unternehmensexterne Sicht) als auch die Digitalisierung innerhalb der Unternehmen (unternehmensinterne Sicht) aus. Diese beiden Subindizes bestehen aus je fünf Kategorien, denen Einzelindikatoren zugeordnet sind. Die unternehmensexterne Sicht bilden die Dimensionen Technische Infrastruktur, Administrativ-rechtliche Rahmenbedingungen, Gesellschaft, Humankapital und Innovationslandschaft ab. Zu den unternehmensinternen Dimensionen zählen Prozesse, Produkte, Geschäftsmodelle, Qualifizierung sowie Forschungs- und Innovationsaktivität.²⁰ Der digitale Reifegrad eines Unternehmens ist Teil der internen Digitalisierung. Er berücksichtigt insbesondere Prozesse, Produkte und Dienstleistungen sowie Geschäftsmodelle und zeigt auf, wie digital das einzelne Unternehmen in diesen Bereichen ist.

17 Vgl. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=52911&option=table&info=off#abreadcrumb>. [Letzter Abruf 30.08.2022] Über Destatis für Deutschland verfügbar sind Daten für den Zeitraum 2007-2021 (z.T. über die Statistische Bibliothek abzurufen https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DESerie_mods_00001026). Gleichwohl wird die Europäische Studie zur Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Unternehmen seit 2002 jährlich durchgeführt. Ab 2009 basiert die Erhebung auf der neuen Wirtschaftszweigklassifikation (NACE Rev. 2). Dies führt zu Einschränkungen der Vergleichbarkeit, insbesondere auf der Ebene einzelner Wirtschaftsbereiche.

18 Vgl. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=52911&option=table&info=on#abreadcrumb>. [Letzter Abruf 30.08.2022]

19 Erstmals veröffentlicht wurde der Index Ende 2020. Die Erscheinungsweise ist jährlich. Das BMWK veröffentlicht diesen Index, erstellt wurde er von einem Konsortium bestehend aus IW, IW-Consult, ZEW und FIR e.V. Vgl. Büchel et al. (2021).

20 Vgl. ebenda.

2.2.2 Digitale Reifegradmodelle als Instrument zur Bestimmung der individuellen digitalen Transformation

Digitale Reifegradmodelle (oft auch mit der englischen Bezeichnung Digital Maturity Models verwendet) stellen ein Instrument dar, das es Unternehmen ermöglicht, den aktuellen individuellen Stand der digitalen Transformation zu bewerten. Sie werden häufig zu Beginn von Digitalisierungskampagnen, als Benchmarking mit anderen Unternehmen oder auch prozessbegleitend als Kontrollinstrument eingesetzt und sind in der Lage, eine Diskussionsgrundlage für verschiedenen Aspekte der Digitalisierung zu liefern. Einen Standard für Reifegradmodelle gibt es nicht. Verschiedene Konzepte sind am Markt vorhanden.²¹ Dabei sind Reifegradmodelle kein neues Instrumentarium. Sie haben bereits eine Historie in der Informatik und der Informationswissenschaften beim Management von Informationstechnologien. Die Modelle, die im Folgenden im Kontext der digitalen Transformation diskutiert werden, sind aber in aller Regel umfassender.

Für KMU können digitale Reifegradmodelle eine Hilfestellung bieten, indem sie die Dimensionen der Digitalisierung fokussieren, die von Seiten der Unternehmen beeinflussbar sind. Aufbauend auf den individuellen Ergebnissen sind Unternehmen dann in der Lage, Schritte zur weiteren Zielerreichung vorzunehmen. Indem sie Wissen zum aktuellen Stand liefern, bieten sie den Vorteil, dass Erkenntnisse vorliegen, die auf der einen Seite den Unternehmen Ansatzpunkte geben und auf der anderen Seite der Politik, um Fördermaßnahmen zielgerichtet zu implementieren.²² Es werden die verschiedenen Dimensionen und Maßnahmen im Prozess des Wandels abgebildet.²³

Reifegradmodelle erfassen üblicherweise verschiedene Dimensionen bzw. verschiedene Indikatoren, die diese Dimensionen beschreiben. Um die Dimensionen beschreiben zu können, müssen die zugrundeliegenden Indikatoren operationalisiert, d. h. sowohl beobachtbar als auch messbar, sein. Dazu werden für die einzelnen Indikatoren Fragen entwickelt, die den Erfüllungsgrad des Indikators erfassen sollen. Den Antworten auf die Fragen wird ein Punktwert zugeteilt, der zu einem Messwert (Score) zusammengerechnet wird. Neben einfachen Ja-Nein-Fragen, die erfassen, ob ein Indikator erfüllt ist oder nicht, wird insbesondere auf Fragen zurückgegriffen, die mit einer Likert-Skala beantwortet werden. Dabei wird mit mehreren (in der Regel fünf) Antwortoptionen erfasst, wie stark die Zustimmung zu der gestellten Frage ist. Je stärker die Zustimmung zur Frage, desto mehr Punkte werden dem Score hinzugerechnet. Dabei gilt: je größer die Zustimmung, desto höher die Punktzahl, desto höher der digitale Reifegrad.²⁴ Die folgende Abbildung 1 skizziert dieses Schema beispielhaft.

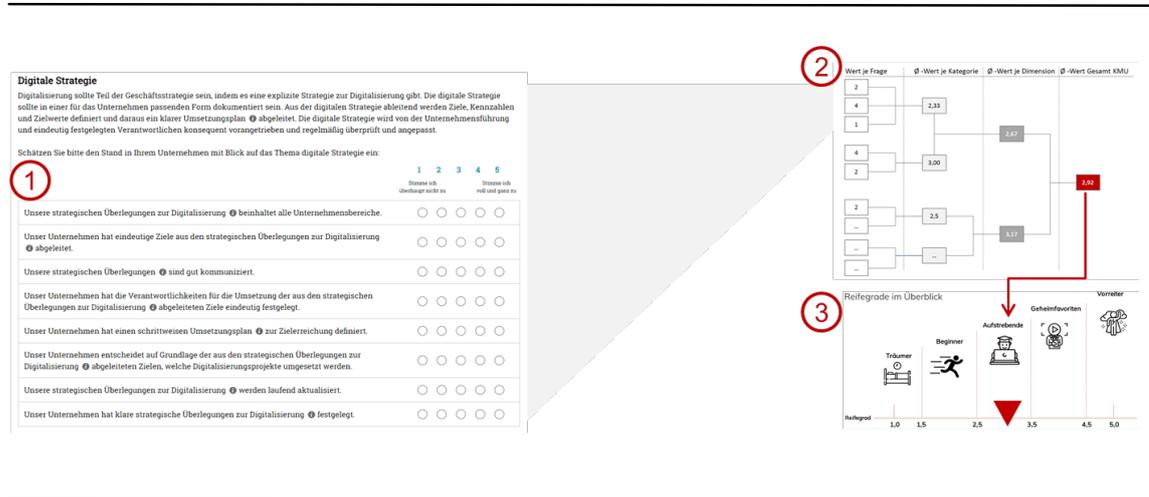
²¹ Vgl. Rossmann, A. (2016).

²² Vgl. Egeli, M. (2016).

²³ Vgl. O.V. (2016).

²⁴ In einzelnen Fällen erfolgt die Punktevergabe durch den Vergleich mit dem Antwortverhalten aller anderen Befragten. Diese aufwändige, aber im Vergleich durchaus präzise Methode, kann jedoch nur in

Abbildung 1: Ermittlung des Digitalen Reifegrades durch Fragen am Beispiel des Digitalcheck Mittelstand



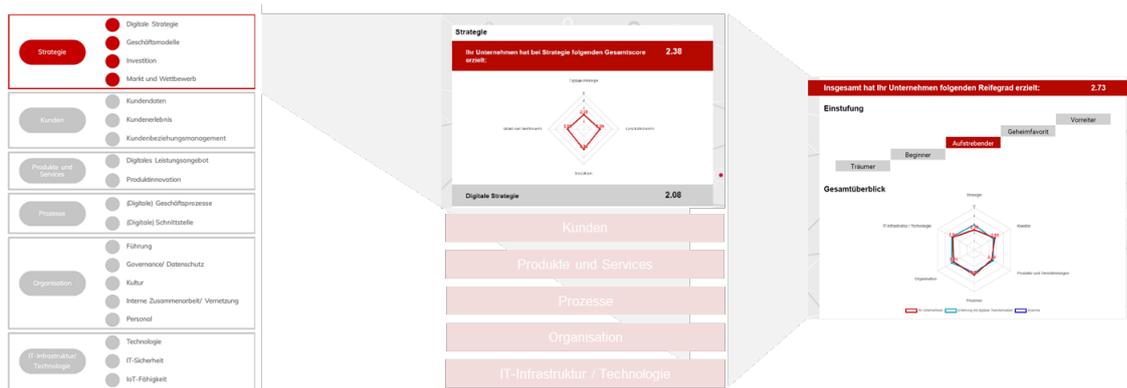
Quelle: WIK, eigene Darstellung. Screenshots von Digitalcheck Mittelstand, Hasso Plattner Institut / Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Berlin bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Berlin.

Der Messwert (Score) operationalisiert, wie zuvor beschrieben, ein solches Reifegradmodell und verdichtet die Ergebnisse somit zu einer oder, im Falle von Subindizes, mehreren Kennzahlen, die wiederum die verschiedenen Dimensionen abbilden (vgl. Abbildung 2). So wird eine einfachere Vergleichbarkeit und Kommunizierbarkeit erreicht. In der Regel wird dabei auf ein sogenanntes Stufenmodell zurückgegriffen (vgl. Abbildung 1, Schritt 3). Je nach erreichter Punktzahl, die über den Score erfasst wurde, wird das Unternehmen dann in eine der Reifegradstufen eingeteilt. Dabei umfasst eine Reifegradstufe eine gewisse Spannweite an Punkten. Erst mit Überschreiten der Punktschwelle wird der nächsthöhere Reifegrad erreicht.²⁵ Das Ergebnis wird in der Regel durch ein Netzdiagramm oder ein Stufendiagramm visuell dargestellt.

Abbildung 2: Ergebnisdarstellung der einzelnen Dimensionen sowie insgesamt am Beispiel des Digitalcheck Mittelstand

Digitalisierungsindizes oder einer Zwischenform von Digitalisierungsindizes und digitalen Reifegradmodellen erfolgen. Vgl. Berghaus, S.; Back, A.; Kaltenrieder, B. (2016).

25 In vielen Modellen ist zudem die Bedingung zu finden, dass in allen Dimensionen eine Mindestpunktzahl erreicht werden muss, um in die nächst-höhere Reifegradstufe eingeteilt werden zu können. Es ist somit nicht möglich eine höhere Reifegradstufe zu erreichen, wenn eine größere Differenz zwischen den Digitalisierungsgraden der einzelnen Dimensionen besteht.



Quelle: WIK, eigene Darstellung. Screenshots von Digitalcheck Mittelstand, Hasso Plattner Institut / Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Berlin bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Berlin.

Dabei ist es wichtig, dass zuvor Merkmale und Ausprägungen der verschiedenen Reifegrade, sog. Reifekriterien, für jede Stufe festgelegt werden. Die Literatur kennt zwei Herangehensweisen: Entweder werden in einem ersten Schritt die Dimensionen fixiert, deren Ausprägungen festgelegt und anschließend digitale Reifegrade zugeordnet werden oder es werden zuerst die Reifegrade festgelegt und im zweiten Schritt die Ausprägungen in ihren verschiedenen Dimensionen zugeordnet.²⁶ Eine etwas ältere Literaturlauswertung zeigt, dass der zweite Ansatz zur Definition von Reifegraden von der Mehrheit der Modelle verwandt wird.²⁷

Die Evaluation, d.h. die Messung, findet in aller Regel durch eine Selbsteinschätzung der Unternehmen statt. Unternehmenseigene Daten (z. B. Prozessdaten) werden nicht verwendet. Bei der Wahl des jeweiligen Verfahrens muss eine Abwägung zwischen Aufwand und Kosten sowie zwischen der avisierten Objektivität und Detailliertheit des Ergebnisses getroffen werden. Die meisten Modelle nutzen einen Fragebogen, der entweder in Form eines persönlichen Interviews oder aber online gestaltet sein kann. Die zweitgenannte Variante ist die, die nicht zuletzt aus Praktikabilitätsgründen weiter verbreitet ist. Durch die Online-Selbsteinschätzung stellen die mit den Indikatoren erhobenen Daten aufgrund des Interpretationsspielraums bei der Beantwortung der Fragen zu den Indikatoren und einer reduzierten Komplexität immer auch eine subjektive Sichtweise der ausfüllenden Personen dar.²⁸

Unterschiedliche Modelle fokussieren auf unterschiedliche Phasen oder, noch weiter differenziert, auch auf unterschiedliche Branchen, Unternehmensgrößen oder Lebenszyklen von Unternehmen und Produkten.²⁹ Dieses kann so sein, muss es allerdings nicht. Viele Modelle erheben den Anspruch sehr umfassend und branchenunabhängig zu sein. Des Weiteren stellt in einem derart dynamischen Prozess wie der digitalen

²⁶ Vgl. Lahrmann, G.; Marx, F.; Mettler, T.; Winter, R.; Wortmann, F. (2011).

²⁷ Vgl. Egele, M. (2016).

²⁸ Jording, T. (2018).

²⁹ Vgl. Rossmann, A. (2016).

Transformation die aktuell höchste digitale Reife keinen Endzustand dar, sondern ebenfalls lediglich eine Momentaufnahme.³⁰

Die wissenschaftliche Literatur betont, dass bei der Auswahl und Beschäftigung mit digitalen Reifegradmodellen durchaus Vorsicht geboten ist. Am Markt sind unzählige Modelle vorhanden, die aber häufig unzureichend fundiert sind.³¹ Selten wird ausreichend dargelegt, wie die Entwicklung eines Reifegradmodells motiviert war, in welchen Schritten es entwickelt wurde, ob und wie es evaluiert wurde und wie valide das neue Modell ist.³²

Auch KMU erhalten im Kontext Digitalisierung und bei der Feststellung des Status Quo z. B. durch digitale Reifegradmodelle zunehmend Aufmerksamkeit. Zum einen erfolgt bei den zuvor besprochenen Erhebungen mit gesamtwirtschaftlichem oder branchenbezogenem Fokus eine Unterscheidung von Unternehmensgrößenklassen und zum anderen werden KMU-fokussierte Studien durchgeführt. Vergleichsweise häufig lassen sich zur Erhebung und Durchführung von Studien Kooperationen von Beratungsunternehmen und universitären Forschungseinrichtungen finden.

Die bekannten Studien nehmen ihre Auswertungen nach Branchen und Unternehmensgrößen vor und legen Unterschiede hinsichtlich der Dimensionen und ihrer Ausprägungen offen. Auch ein Vergleich der digitalen Reife von KMU in verschiedenen Ländern ist zu finden.³³ Studienübergreifend deutet sich eine positive Korrelation zwischen Unternehmensgröße und Digitalisierungsgrad an.³⁴ Tenor sämtlicher Studien ist, dass der digitale Wandel voranschreitet, zukünftig aber zunehmend massive Investitionen getätigt werden müssen, diese aber wiederum gerade von den KMU nur schwer zu bewältigen sein werden. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass das Thema IT-Sicherheit einer besonderen Aufmerksamkeit bedarf. Die verschiedenen Studien legen offen, dass es teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den untersuchten Branchen gibt. Die Telekommunikationsbranche sowie Finanzdienstleister gelten als weiter fortgeschritten mit der Digitalisierung als das Gesundheitswesen oder das Baugewerbe.³⁵

³⁰ Vgl. Jüngst, J. (2016).

³¹ Vgl. Schmitt, F. (2021) sowie Rossmann, A. (2016).

³² Vgl. dazu Knackstedt, R., Pöppelbuß, J., Becker, J. (2009).

³³ Vgl. Gangl, K., Sonntag, A. (2020).

³⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Schmitt, F. (2021), sowie Rossmann, A. (2016).

³⁵ Vgl. Back, A., Berghaus, S. & Kaltenrieder, B. (2017).

3 Screening digitaler Reifegradmodelle und Fokussierung

Die Zahl der Reifegradmodelle erscheint auf den ersten Blick groß. Doch die Modelle sind längst nicht alle vergleichbar oder substitutiv zueinander. Auch der Zugang oder ihre Anwendung unterscheiden sich deutlich. Es folgt zunächst ein Überblick zu Reifegradmodellen und eine grobe Gruppierung. Im zweiten Schritt erfolgt eine für unseren Untersuchungsgegenstand spezifische Auswahl der näher zu betrachtenden Modelle auf Basis objektiver Kriterien.

3.1 Gruppierung von Reifegradmodellen

Im Rahmen unserer Untersuchung wurde eine Internetrecherche über Suchmaschinen sowie Literaturdatenbanken nach digitalen Reifegradmodellen durchgeführt. Dabei wurden zahlreiche Dokumente und Webseiten identifiziert, die mit den entsprechenden Schlagwörtern versehen sind. Die darin enthaltenen digitalen Reifegradmodelle wurden in eine Vorauswahl zur späteren Analyse aufgenommen. In einem nächsten Schritt wurden alle identifizierten Dokumente und Webseiten auf Verweise zu weiteren digitalen Reifegradmodellen untersucht, die sich z. B. in Literaturverzeichnissen oder tabellarischen Auflistungen befanden. Für diese Modelle wurden nach Möglichkeit die Quellen recherchiert und die Ergebnisse ebenfalls in unsere Vorauswahl aufgenommen.

Alle identifizierten Reifegradmodelle werden im Rahmen dieser Studie einer systematischen Analyse unterzogen. Sowohl Modelle von Forschungseinrichtungen, Verbänden als auch Unternehmensberatungen werden dabei betrachtet. Dabei muss es sich nicht zwingend um digitale Tools handeln. Einige wenige der identifizierten Modelle sind auch nur in Form von Dokumenten verfügbar. Entsprechend ihrer Autoren und ihrer Herkunft wurden zunächst vier Kategorien für digitale Reifegradmodelle definiert, wobei es auch Überschneidungen zwischen den Kategorien geben kann und einzelne Modelle ggf. in mehrere Kategorien eingruppiert werden könnten. Die Kategorien lauten:

- **Konzeptionelle Modelle:** Darunter fallen insbesondere wissenschaftliche Abhandlungen zum Thema digitale Reifegradmodelle, die das Vorgehen und die Anforderungen an ein Reifegradmodell beschreiben. In den Abhandlungen wird versucht Lücken zu identifizieren, die andere bisher existierende digitale Reifegradmodelle (vermeintlich oder tatsächlich) offengelassen haben, um daraus den Bedarf für neue Modelle abzuleiten. Letztlich wird bei vielen Abhandlungen aber offenlassen, ob ein solches Modell auch entwickelt und am Markt erprobt wurde. Es bleibt somit oft bei theoretischen Grundlagen, die laut Autoren bei der Entwicklung neuer Reifegradmodelle beachtet werden sollen.
- **Modelle mit dem Ziel der gesamtwirtschaftlichen Indexbildung:** Der Fokus dieser Modelle liegt nicht primär auf dem Einzelunternehmen. Mit diesen Modellen wird zum einen Unternehmen ein digitales Reifegradmodell zur Verfügung gestellt. Zum anderen sammeln die dahinterstehenden renommierten Institutionen

die Ergebnisse aller Beantwortungen und nutzen sie dazu, Erkenntnisse für wissenschaftliche Studien ableiten zu können. Bei diesem Vorgehen erhalten die Teilnehmenden in der Regel nicht sofort ein individuelles Ergebnis, sondern erst nachdem die Erhebung innerhalb eines bestimmten Zeithorizontes abgeschlossen ist. Auf Basis der individuellen und der Gesamtheit aller Ergebnisse kann dabei ein Benchmark vorgenommen werden. Unter die Modelle mit dem Ziel der gesamtwirtschaftlichen Indexbildung fallen auch die, die zwar in Studien skizziert werden, für die auch (gesamtwirtschaftliche) Ergebnisse präsentiert werden, allerdings kein detaillierter Einblick in das Modell erlangt werden kann.

- **Kommerzielle Modelle:** Unter diese Kategorie fallen die Modelle, die dem Bereich des kommerziellen Beratergeschäftes zuzuordnen sind. In der Regel ist für diese vor oder nach dem Ausfüllen eine Registrierung notwendig, um Zugriff auf die Fragen zu haben oder um die Auswertung der Ergebnisse zu erhalten. Die Registrierung ist dabei oft mit der Einladung zu einem (teilweise kostenpflichtigen) Beratungsgespräch verbunden, mit dem die Beratungsunternehmen auf Kundenakquise gehen und Digitalisierungsprojekte mit ihren potenziellen Neukunden auf Basis der Ergebnisse aus den Reifegradmodellen planen. Für die wenigsten der identifizierten kommerziellen digitalen Reifegradmodelle ist eine Dokumentation verfügbar, die über die Fragen hinausgeht.
- **Uneingeschränkt öffentlich zugängliche Modelle:** Hierunter fallen die digitalen Reifegradmodelle, die ohne Einschränkung jedem zur Verfügung stehen und direkt nach Beendigung des Ausfüllprozesses einen digitalen Reifegrad als Ergebnis ausgeben. Zum Großteil entstammen diese Modelle aus dem Bereich der öffentlichen Förderung. Sie werden in der Regel von wissenschaftlichen Einrichtungen erstellt. Für einige dieser Modelle sammelt die dahinterstehende Institution die Ergebnisse anonym und publiziert diese in wissenschaftlichen Studien.

Tabelle 5 im Anhang listet beispielhaft identifizierte Modelle der jeweiligen Kategorien in loser Aufzählung auf, um einen Eindruck zu den derzeit aktiven Modellen zu geben und eine grobe erste Kategorisierung vorzunehmen. Außer Frage ist an dieser Stelle, dass weitaus mehr Modelle im Rahmen der Studie gescreent worden sind, gleichwohl nicht in die engere Auswahl gekommen sind, weil sie unseren Auswahlkriterien nicht entsprochen haben.

Bei der Vorauswahl für die folgende Analyse wurde keine Bewertung der Qualität vorgenommen, die a priori zu einem Ausschluss geführt hätte. Dennoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass nicht alle der untersuchten digitalen Reifegradmodelle erkennen lassen, ob sie Grundsätzen wissenschaftlich fundierter Verfahren folgen, wie in der Literatur vorgeschlagen.³⁶

³⁶ Vgl. Becker, J., Knackstedt, R., Pöppelbuß, J. (2009).

3.2 Auswahl geeigneter Modelle und Aufbereitung

3.2.1 Auswahlkriterien

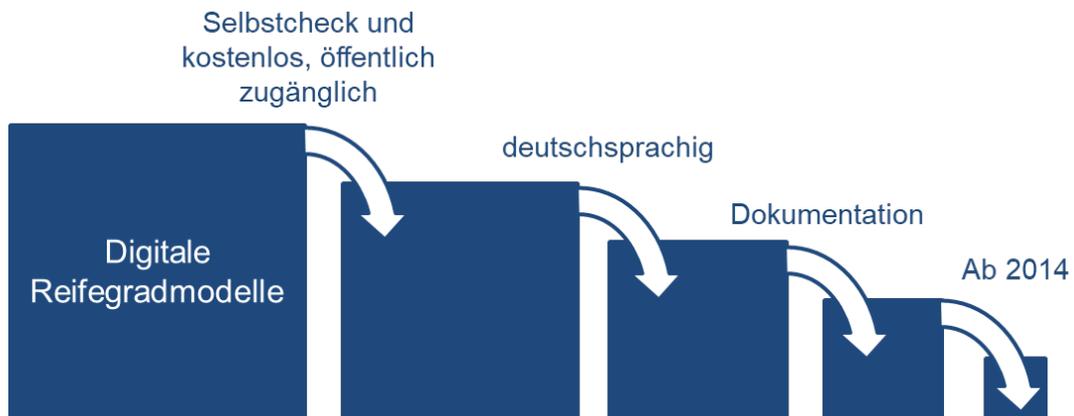
In der Erhebung werden solche Modelle berücksichtigt, die sowohl für deutsche KMU relevant und zugleich zur Auswertung mittels Topic Modelling (siehe Kapitel 4) geeignet sind. Für unsere Analyse ist demzufolge der Fragenkatalog der einzelnen Modelle von besonderem Interesse. Aus diesen kann herausgearbeitet werden, welches Modell welche Bereiche der Digitalisierung adressiert und für die Beurteilung des Status der digitalen Transformation im Unternehmen heranzieht. Aus diesem Grund sind Modelle, deren Fragenkataloge für einen Selbstcheck kostenlos und öffentlich zugänglich sind, in der ersten engeren Auswahl.

Für unseren Untersuchungsgegenstand sind deutschsprachige Modelle, die nach Möglichkeit auf KMU fokussieren, relevant. Dieses Kriterium ist für unsere spätere programmgestützte Analyse mit Topic Modelling (siehe Kapitel 4) zwingend notwendig, um sicherzustellen, dass die einzelnen Fragen der unterschiedlichen Modelle mittels Textanalyse verglichen werden können.

Des Weiteren werden Modelle aussortiert, die nicht über eine Dokumentation verfügen, die über den Fragenkatalog hinausgeht. Dieses Kriterium soll sicherstellen, dass ein Mindestmaß an Qualitätsanspruch erfüllt ist und der Ursprung – sowie im Idealfall die Entwicklung – des Modells rückverfolgt werden kann.

Gleiches gilt für Modelle, die nicht mehr in der Anwendung sind und deren Entwicklung bereits vor 2014 stattgefunden hat. Dadurch, dass im Zuge der Digitalisierung ständig neue Anforderungen an Unternehmen gestellt werden müssen, sollen nur Reifegradmodelle untersucht werden, die auf annähernd gleichen Grundlagen fußen.

Abbildung 3: Schematisch dargestellte Reduktion der identifizierten digitalen Reifegradmodelle um einheitlich festgelegte Auswahlkriterien



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

Die Liste der von uns gescreenten Modelle stellt sich nach Anwendung dieser Auswahlkriterien wie folgt dar. Es handelt sich um eine Mischung aus Modellen mit dem Ziel der Indexbildung, kommerzielle Modelle sowie uneingeschränkt öffentlich zugängliche Modelle. Sortiert wurde alphabetisch nach Kurztitel.

Tabelle 1: Auswahl der näher zu betrachtenden Reifegradmodelle

Nr.	Kurztitel	Entwickler / Autor ³⁷	Umfang Fragenkatalog
1	Analysetool Digitaler Reifegrad	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Neu-Ulm / Minnosphere	10
2	Das Digitale Reifegradmodell m2	Universität Hof	44
3	Digitaler Reifegradtest	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Bremen bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Bremen	42
4	Digital Maturity Check	Institut für Wirtschaftsinformatik der Universität St. Gallen / Crosswalk	64

³⁷ Die Namen der Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren haben sich aufgrund einer neuen Förderbekanntmachung zum Teil in Mittelstand-Digital Zentren geändert. Die Reifegradmodelle wurden dabei in der Regel übernommen. Publikationen sind darum unter beiden Namen zu finden.

Nr.	Kurztitel	Entwickler / Autor ³⁷	Umfang Fragenkatalog
5	Digital Readiness Self-Check	Spot Consulting	22
6	Digitalcheck Mittelstand	Hasso Plattner Institut / Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Berlin bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Berlin	93
7	Digitalisierungs-Checkup	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Magdeburg bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Magdeburg	79
8	Digitalisierungsscheck des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk	Handwerksinstitut Göttingen / Kompetenzzentrum Digitales Handwerk bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk	74
9	Digitalisierungsindex Mittelstand – Self Check	Deutsche Telekom	27
10	Mittelstand Self-Assessment-Tool	eStep	22
11	Industrie 4.0 Reifegradtest	Vision Lasertechnik GmbH/ bluebiz solutions GmbH/ Inceptum Business Solutions GmbH	74
12	Industrie 4.0-Readiness	Impuls Stiftung des VDMA/IW-Consult/fir RWTH Aachen	27
13	Modell der digitalen Reife	BSP Business & Law School Berlin / Mittelstand 4.0 Agentur Kommunikation	18
14	Online Selbsteinschätzung	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Saarbücken bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Saarbrücken	19
15	Quick-Check Fraunhofer Austria Industrie 4.0 Reifegradmodell	Fraunhofer Austria	26
16	Readiness-Check 4.0	My CPS	42

Nr.	Kurztitel	Entwickler / Autor ³⁷	Umfang Fragenkatalog
17	Readiness-Check Industrie 4.0	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Kaiserslautern bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern	54
18	Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse	Bitkom e.V.	12
19	Selbstcheck	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Chemnitz bzw. Mittelstand-Digital Zentrum Chemnitz	70

Quelle: WIK, Eigene Zusammenstellung.

Im Folgenden wird die Auswahl auf der Makroebene, also über alle Reifegradmodelle hinweg, betrachtet, um den grundsätzlichen Ansatz zur Messung von digitaler Transformation in Reifegradmodellen ihre tatsächliche Vorteilhaftigkeit für das einzelne Unternehmen gegenüber anderen Ansätzen zu eruieren. Darüber hinaus gilt es auf der Mikroebene zu schauen, welche offensichtlichen Unterschiede die Modelle aufweisen. Um eine erste Basis zu erhalten, werden die einzelnen Modelle im Steckbriefformat vorgestellt, um ein Grundverständnis ihrer Charakteristika und Herangehensweisen zu erhalten (siehe Anhang, Kapitel 11.2).

3.2.2 Aufbereitung im Steckbriefformat

Die Darstellung der ausgewählten 19 Reifegradmodelle im Steckbriefformat hat den Vorteil, dass die Modelle identisch aufbereitet werden und Unterschiede sehr schnell ersichtlich werden. Die Steckbriefe enthalten neben der Modellbezeichnung, dem Veröffentlichungsjahr und weiteren Informationen in Form von Verlinkungen, Aussagen zur Modellstruktur, zur Operativen Umsetzung sowie zum Output, d. h. der Auswertung bzw. den Ergebnissen. Nachstehend findet sich in Tabelle 2 beispielhaft die Aufbereitung eines Modells. Alle weiteren Modelle finden sich im skizzierten Format der besseren Lesbarkeit halber im Anhang 11.2. ³⁸

³⁸ Die Auswertung der Modelle im Steckbriefformat endete am 1.5.2022. Alle gegebenenfalls nachträglichen Änderungen und Updates wurden somit nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Aufbereitung des Reifegradmodells „Digitalcheck Mittelstand“ im Steckbriefformat

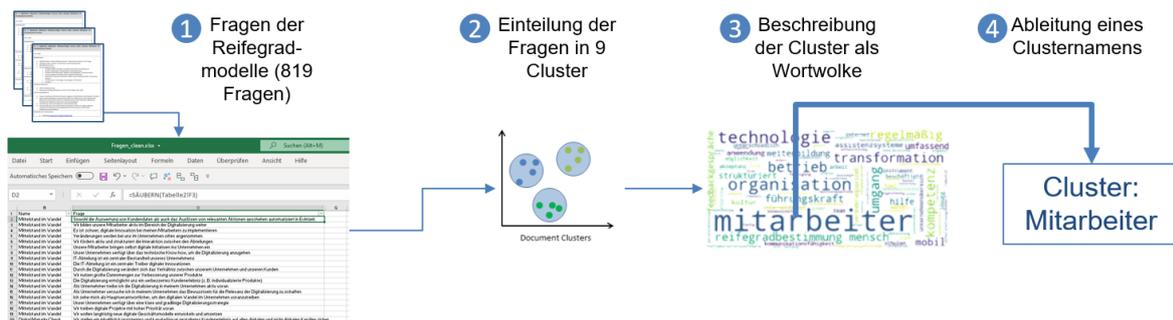
Nr. 5: Digitalcheck Mittelstand, Hasso Plattner Institut / Mittelstand-Digital Zentrum Berlin (ehemals Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Berlin)
Jahr: 2020
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Online-Selbstbewertung in 7 Dimensionen anhand von 93 Fragen • Zielgruppe: Kleine, mittlere Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: keine • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Strategie: Digitale Strategie, Geschäftsmodell, Markt und Wettbewerb ○ Kunden: Kundendaten, Kundenerlebnis, Kundenbeziehung ○ Produkte & Dienstleistungen: Digitales Leistungsangebot, Produktinnovation ○ Prozesse: Digitale Geschäftsprozesse, Digitale Schnittstellen ○ Organisation: Führung, Datenschutz, Kultur, Interne Zusammenarbeit / Vernetzung, Personal ○ IT-Infrastruktur / Technologie: Technologien, IT-Sicherheit ○ Umwelt: ---
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Fünf-stufigen Likert-Skala
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: Einstufung in fünf Stufen (Träumer, Beginner, Aufstrebender, Geheimfavorit, Vorreiter) • Berechnung des Reifegrades: arithmetisches Mittel der Indikatoren für jede Subdimension, Bildung des arithmetischen Mittels der Subdimensionen für jede Dimension, Bildung des arithmetischen Mittels der Dimensionen für Gesamtreifegrad • Visualisierung: Spinnennetzdiagramm, Standortbestimmung • Benchmarking nach Unternehmensgröße, Bundesland und Branche möglich; jährliche empirische Ermittlung des Umsetzungsstandes der Unternehmen, die die Online-Selbstbewertung durchführen
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: https://www.reifegrad-digital.de/#/

Quelle: WIK, eigene Darstellung.

4 Programmgestützte Analyse der Themencluster in den Modellen

Ziel der programmgestützten Analyse und Auswertung ist es, gemeinsame Themen in den Fragen der Reifegradmodelle zu identifizieren. Die Fragen der Reifegradmodelle werden dazu in Themengruppen (Cluster) mit gleichen Schlüsselwörtern eingeteilt. Für jedes Cluster wird eine Wortwolke mit den zugehörigen Wörtern aus den Fragen erstellt und eine Clusterbezeichnung abgeleitet. Dazu werden im ersten Schritt die Inputdaten der Reifegradmodelle aufbereitet und enthaltene Wörter für die Textanalyse zu Vektoren transformiert. Danach werden mit der Elbow-Methode die Anzahl an Topics (siehe Kapitel 4.1) bestimmt und mit dem k-Means-Algorithmus die Wörter aus den Reifegradmodellen entsprechend gruppiert. Als Visualisierung der Ergebnisse werden Wortwolken für jedes Topic erstellt. Im letzten Schritt werden die gewählten Methodenschritte kritisch reflektiert. In Abbildung 4 wird der Vorgang der Analyse und Auswertung graphisch dargestellt.

Abbildung 4: Prozessschritte der programmgestützten Analyse



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

4.1 Topic Modelling mit Unsupervised Learning

Bei dem eingesetzten Topic Modelling handelt es sich um ein Klassifikationsmodell mit dessen Hilfe Themengebiete, die in einer Sammlung von Dokumenten vorkommen, identifiziert und geclustert werden können. Dazu wurden die 819 Fragen in Verbindung mit den Dimensionen, die den einzelnen Fragen im Modell zugeordnet sind, in einem Dokument gesammelt.

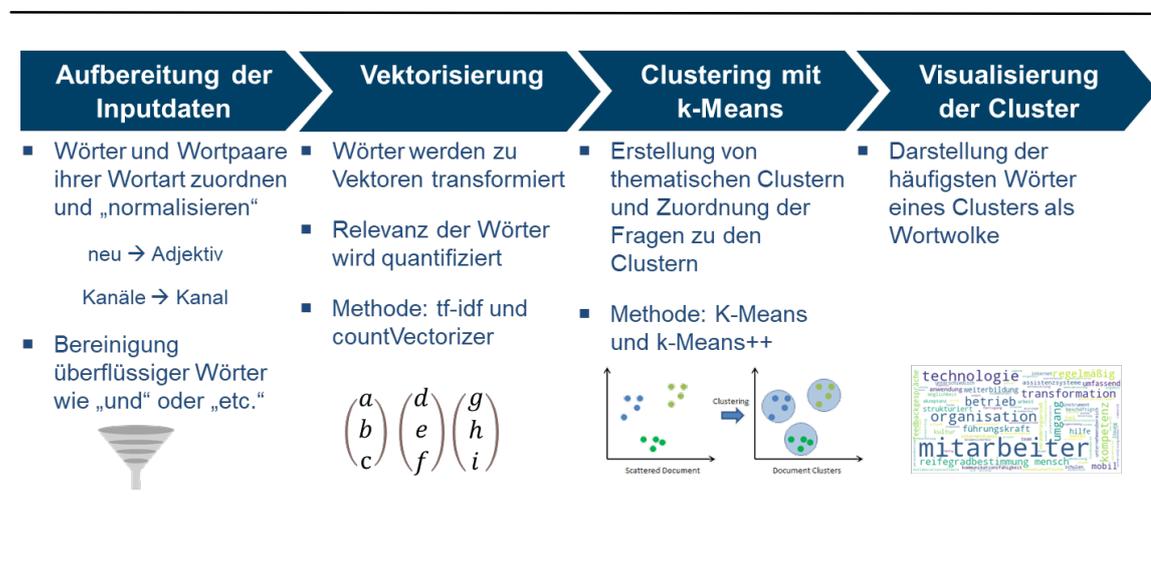
Als Methode wurden die Frequenzen von Wörtern mittels „einfaches Zählen der Wörter“ („CountVectorizer“) sowie die relative Frequenz von Wörtern in Verhältnis zu der invertierten Frequenz der Dokumente, welche die jeweiligen Wörter enthalten (Algorithmus: tf-idf, siehe Kapitel 4.1.2) herangezogen. Um allerdings die Frequenzen richtig ermitteln zu

können, ist eine Aufbereitung der Inputdaten („Fragen der Reifegradtests“), auch Preprocessing genannt, erforderlich (siehe Kapitel 4.1.1).

Für die Frequenzen der Wörter wurden dann Cluster anhand der k-Means-Methode berechnet (siehe Kapitel 4.1.3). Für jedes Cluster wurden anschließend Wortwolken gebildet, die das jeweilige Cluster (auf Basis der am häufigsten vorkommenden Wörter) beschreibt.

Die Prozessschritte sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt und in den folgenden Unterüberschriften beschrieben.

Abbildung 5: Prozessschritte



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

4.1.1 Aufbereitung der Inputdaten (Preprocessing)

Der Input-Datensatz besteht aus den Fragen der zuvor in Abschnitt 3.2.2 ausgewählten neunzehn Reifegradmodelle. Damit die Vektorisierung in dem nachfolgenden Schritt valide Ergebnisse ermöglicht, müssen die Fragen und deren Wörter aufbereitet werden.

Die Fragen wurden in den Datentyp „String“ (UTF-8-Kodierung) umgewandelt und weisen somit eine ähnliche und damit homogene Syntax auf.³⁹ Sie wurden um Sonderzeichen bereinigt, da diese keinen inhaltlichen Mehrwert liefern. Die einzelnen Wörter wurden Wortarten, wie z. B. Adjektiv, Verben, Nomen und Eigennamen zugeordnet (sogenanntes Part of speech tagging oder POS tagging). Wortarten geben oft wichtige Informationen, da der Hauptinhalt eines Textes vor allem an den benutzten Substantiven und Verben

³⁹ Vgl. Wartena, C. (2010).

erkannt werden kann, während Adjektive häufig wenig dazu beitragen. Artikel, Präpositionen und Hilfsverben liefern in der Regel wenig Information.

Dieser Schritt wurde mithilfe des HanoverTagger aus der Python-Bibliothek ausgeführt. Das Hanover-Tagging-Modell ist ein auf dem deutschen Tiger-Korpus – einer deutschsprachigen Text- bzw. Wortsammlung – trainiertes Sprachmodell. Das Hanover-Tagging-Modell verfügt über eine sehr hohe Trefferquote von 97% beim Tiger-Korpus.⁴⁰

Der Tiger-Korpus ist eine 50.000 Sätze und 900.000 Token⁴¹ umfassende Sammlung aus Artikeln der Frankfurter Rundschau.⁴² Neben der Klassifizierung der Wortarten bietet der Hanover-Tagger die Möglichkeit, Wortstämme der in die Analyse eingeflossenen Wörter zu bilden („stemming“), so dass beispielsweise Konjugationen oder Pluralbildungen die Anzahl der Wörter nicht künstlich erhöhen.

Wörter mit großer Häufigkeit und gleichzeitig geringer Bedeutung (z. B.: als, hoch, etc., neu) werden herausgefiltert. Dieses erfolgt mithilfe der sogenannten Stopwörter-Sammlung der immanenten Python-Bibliothek NLTK (Natural Language Toolkit). Zusätzlich zu den Stopwörtern in NLTK, wurden ausgewählte Stopwörter ergänzt, die für die Analyse keinen Mehrwert bringen, jedoch häufig vorkommen. Diese sind in Anhang 11.3 aufgelistet.

Das Ergebnis des ersten Schrittes ist ein Input-Datensatz mit bereinigten Fragen, die für die weiteren Analysen geeignet ist.

4.1.2 Vektorisierung

Da die Machine Learning-Berechnungen auf numerischen Werten aufsetzen, ist im Kontext der Textanalyse eine Quantifizierung erforderlich. Der Text muss daher in Vektoren transformiert werden. Für die Vektorisierung wird die Frequenz der Wörter herangezogen.

Als einfache Methode der Quantifizierung von Texten kann ein sogenannter CountVectorizer verwendet werden, der die Häufigkeit von Begriffen in Dokumenten abzählt und somit den häufigsten Begriffen den höchsten Wert zuweist. Ergebnis dieses CountVectorizers ist eine Matrix mit der Gesamtheit aller Dokumente und aller Wörtern, in der die Anzahl jedes Wortes als ein Wert in der Matrix hinterlegt ist. Nachteilig bei der Verwendung dieser Methode ist, dass eine Vergleichbarkeit von Dokumenten unterschiedlicher Länge erschwert wird. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Studie „tf-idf“ als Methode zur Bestimmung der Häufigkeit ausgewählt, mit der Wörter vorkommen. tf-idf steht dabei für „term frequency-inverse document frequency“. Es wird eine Gewichtung

⁴⁰ Vgl. <https://github.com/wartaal/HanTa>. [Letzter Abruf 15.07.2022]

⁴¹ Jedes der Wörter (und Satzzeichen), aus denen ein Text besteht, wobei jedes Vorkommen einzeln gezählt wird.

⁴² Vgl. <https://www.ims.uni-stuttgart.de/forschung/ressourcen/korpora/tiger/>. [Letzter Abruf 15.07.2022]

errechnet, die wiederum das statistische Maß für die Relevanz eines Wortes für ein Dokument in Relation zur Gesamtheit der Wörter eines Korpus ist.

tf = „term frequency“, d. h. die Häufigkeit eines Wortes in einem Dokument

idf = „inverted document frequency“, d. h. Der Kehrwert der Anzahl Dokumente, die das Wort beinhaltet

tf-idf = f(tf, idf)

Die mathematische Formel für tf-idf lautet für einen Dokumentkorpus D (in unserer Analyse alle 819 Fragen in den Reifegradmodellen), ein einzelnes Dokument $d \in D$ (in unserem Fall die einzelnen Fragen) und ein Wort w :

Formel 1: Formel für tf-idf:

$$w_d = f_{w,d} * \log\left(\frac{|D|}{f_{w,D}}\right)$$

Für jedes $d \in (1, \dots, |D|)$ wird die oben genannte Formel angewandt. Die Werte in den Vektoren $w_{1, \dots, w_{|D|}}$ beschreiben durch tf-idf die Relevanz eines Wortes in einem Dokument relativ zum Dokumentenkorpus (d.h. alle 819 Fragen). Der Term $f_{w,d}$ steht für die Häufigkeit eines Wortes in Dokument d , $f_{w,D}$ steht für die Häufigkeit des Wortes in Dokument des Korpus D und $|D|$ steht für die Größe des Korpus. Das Verhältnis der Größe des Korpus wird logarithmiert und multipliziert mit der Häufigkeit des Wortes im spezifischen Dokument. Der Wert steigt also mit steigender Häufigkeit des Wortes, geringerer Häufigkeit in den anderen Dokumenten und sinkt ceteris paribus mit größer werdendem Dokumentenkorpus. Entsprechend deutet ein steigender tf-idf-Wert eine große Relevanz für dieses Dokument in Absenz von großer Bedeutung für andere Dokumente.⁴³

Einfache Methoden zur Häufigkeit von Wörtern (z. B. CountVectorizer) gewichten häufige Wörter zu hoch, während tf-idf diese Abwägung berücksichtigt und seltenere, aber relevantere Begriffe überproportional gewichtet.⁴⁴ Für die Analysen der Fragen der Reifegradtests werden sowohl der CountVectorizer als auch der tf-idf-Vectorizer aus der Python-Bibliothek ScikitLearn angewendet. Bei den Ergebnissen hat der tf-idf-Vectorizer die relevanten spezifischeren Begriffe höher gewichtet und somit eindeutiger Ergebnisse geliefert (d.h. „allgemeine Wörter“ bei der Clustering in wenigerem Ausmaß berücksichtigt).

⁴³ Vgl. Ramos, J. (2003).

⁴⁴ Vgl. Aizawa, A. (2002).

Durch die Wahl des tf-idf-Algorithmus kann die Relevanz nicht nur auf die einzelne Frage, sondern darüber hinaus ebenfalls in Relation zu allen Wörtern der Gesamtheit der Fragen bestimmt werden. Die aus der Vektorisierung der Wörter folgende Matrix beinhaltet den fragenspezifischen Relevanz-Wert für jedes Wort der Fragengesamtheit.

In der natürlichen Sprache kommen Wortpaare (Bigramme), wie zum Beispiel „digitales Reifegradmodell“, „Europäische Kommission“ oder „New Work“, und manchmal auch Trigramme vor. In dem tf-idf-Vecotrizer von ScikitLearn können ebenfalls Bigramme und Trigramme, also inhaltlich verbundene Wortketten, berücksichtigt werden. Für die Analyse der Fragen der Reifegradmodelle wurden Bigramme berücksichtigt. Aufgrund der Länge der Fragen hat sich eine Berücksichtigung der Trigramme für das Clustering als wenig ergiebig herausgestellt (bzw. der Unterschied zu einer Berücksichtigung von nur Bigrammen konnte nicht identifiziert werden).

Das Ergebnis der Vektorisierung ist eine Matrix mit relativen Häufigkeiten der Wörter je nach Frage und bildet den Input für das anschließende k-Means-Clustering.

4.1.3 Clustering mit k-Means

Die Datenanalyse von Texten lässt sich in zwei übergeordnete Kategorien unterscheiden: die explorative Analyse auf der einen und die konfirmatorische Analyse auf der anderen Seite.⁴⁵ Der k-Means-Algorithmus, eingesetzt im Bereich der Text-Analyse, nimmt eine explorative Analyse für das „unsupervised learning“ vor. Beim „unsupervised learning“, auch „unsupervised machine learning“, werden Algorithmen des maschinellen Lernens verwendet, um Datensätze zu analysieren und zu clustern. Der Algorithmus legt versteckte Muster oder Datencluster ohne menschliches Eingreifen offen. Seine Fähigkeit Ähnlichkeiten und Unterschiede in den Informationen objektiv (bzw. ohne „menschlichen Eingriff“) zu erkennen, qualifiziert es unter anderem für die explorative Datenanalyse.⁴⁶
47

Unsupervised learning Modelle haben drei wesentliche Anwendungsgebiete: Clustering, Assoziation und Dimensionsreduktion. Im Fokus der Analyse der Reifegradtests steht das Clustering. Clustering ist eine Machine Learning-Methode, bei der nicht beschriftete Daten auf der Grundlage ihrer Ähnlichkeiten oder Unterschiede gruppiert werden. Clustering-Algorithmen werden verwendet, um rohe, nicht klassifizierte Datenobjekte in

⁴⁵ In der konfirmatorischen Analyse wird ein zugrundeliegendes Modell oder eine Hypothese genutzt, um die Daten zu erklären, Vgl. Jain, A. K. (2010).

⁴⁶ Die Kundensegmentierung oder die Entwicklung von Cross-Sellings-Strategien sind weitere Anwendungsgebiete. Vgl. dazu z.B. <https://www.ibm.com/cloud/learn/unsupervised-learning>.

⁴⁷ Im Gegensatz zu den unsupervised Lernalgorithmen verwenden supervised Lernalgorithmen gekennzeichnete Daten. Mit Hilfe dieser Daten werden entweder künftige Ergebnisse vorhergesagt oder die Daten auf der Grundlage des zu lösenden Regressions- oder Klassifizierungsproblems bestimmten Kategorien zugewiesen. Diese Algorithmen sind zwar in der Regel genauer als Modelle des unsupervised learning, erfordern aber im Vorfeld menschliche (subjektive) Eingriffe, um die Daten entsprechend zu kennzeichnen. Da eine solchen Kennzeichnung der Daten nicht vorliegt, wurde für die Studie auf unsupervised Learning abgestellt. Vgl. dazu detaillierter auch <https://www.ibm.com/cloud/blog/supervised-vs-unsupervised-learning>.

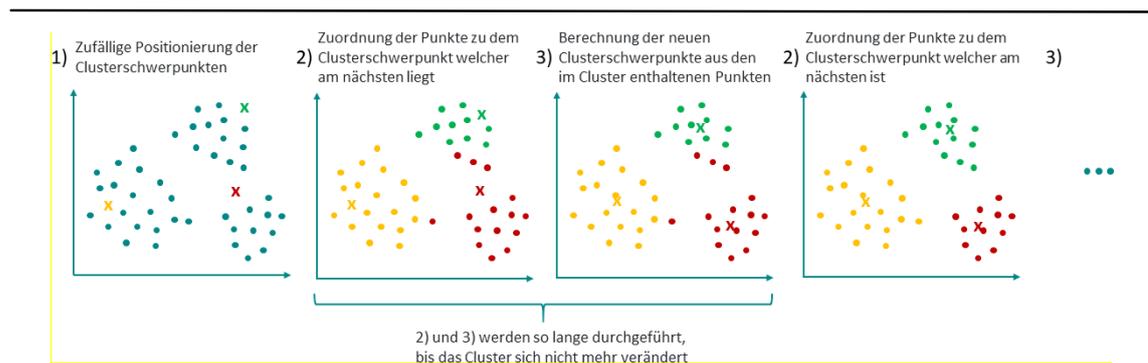
Gruppen einzuteilen, die durch Strukturen oder Muster in den Informationen repräsentiert werden. Clustering-Algorithmen können in einige Typen unterteilt werden, insbesondere in exklusive, überlappende, hierarchische und probabilistische. Hier steht das exklusive Clustering im Fokus.

Exklusives Clustering ist eine Form der Gruppierung, die vorsieht, dass ein Datenpunkt in genau einem Cluster vorkommen kann. Dieses wird auch als "hartes" Clustering bezeichnet.⁴⁸ Der k-Means-Clusteralgorithmus ist ein Beispiel für das exklusive Clustering und wird bereits seit Ende der 1950er-Jahre in unterschiedlichen Forschungsfeldern eingesetzt. Trotz immer wieder neuer Analysemethoden findet er nach wie vor eine breite Anwendung, weil seine Implementierung einfach und seine Effizienz hoch ist.

Der verwendete **k-Means-Algorithmus** folgt einem mehrstufigen Prozess. Die Anzahl an Clustern wird folgend mit K angegeben und ist modellexogen festzulegen, d.h. K muss somit im Vorfeld festgelegt werden. Da keine eindeutige Lösung zur Bestimmung der Clusteranzahl existiert, wird im späteren Verlauf auf eine bewährte Technik, der sogenannten „Elbow-Methode“, zurückgegriffen. Ziel des k-Means-Prozesses ist es, die Unterschiede von Datenpunkten innerhalb eines Clusters zu minimieren und gleichzeitig die K Cluster so unterschiedlich wie möglich zu halten. Somit wird sichergestellt, dass sich Wörter bzw. Wortpaare möglichst ähnlich sind, während die Cluster so unterschiedlich wie möglich sein sollen. Die Elbow-Methode wird unten im weiteren Verlauf beschrieben.

Die nachstehende Abbildung 6 zeigt beispielhaft diesen Prozess des k-Means-Algorithmus mit einer vollständigen Iteration.

Abbildung 6: Prozess der Clusterbildung mit k-Means-Algorithmus



Quelle: <https://datatab.de/tutorial/k-means-clusteranalyse> [Letzter Abruf 17.05.2022].

Im ersten Schritt werden K Cluster-Mittelpunkte (μ_1, \dots, μ_K) zufällig ausgewählt (vergl. Punkt 1) in Abbildung 6). Im zweiten Schritt werden die Daten den Clustern zugeordnet.

⁴⁸ Überlappende Cluster unterscheiden sich von exklusiven Clustern dadurch, dass Datenpunkte zu mehreren Clustern mit unterschiedlichen Zugehörigkeitsgraden gehören können. Das "weiche" oder unscharfe k-Means-Clustering ist ein Beispiel für überlappendes Clustering.

Dabei gibt n die Anzahl der Datenpunkte an. Jeder Datenpunkt x_i mit $i = 1, \dots, n$ wird in genau jenes Cluster eingeordnet, welches den geringsten Abstand zwischen Cluster-Mittelpunkt und Datenpunkt hat. Dieser Abstand wird für alle n Datenpunkte berechnet und eine erste Clusterbildung liegt vor (vergl. Punkt 2) in Abbildung 6). Im dritten Schritt werden von den K gebildeten Clustern die Mittelpunkte ermittelt. Für jedes Cluster wird der Mittelpunkt so gewählt, dass die Distanz zwischen jedem Punkt im Cluster und dem gesuchten Mittelpunkt minimiert ist. Diese Mittelpunkte unterscheiden sich i. d. R. von zufällig gewählten Startpunkten. Nach der Neufestlegung der Mittelpunkte müssen dann die Zuordnung der Datenpunkte zu den Clustern neu durchgeführt werden. Die Schritte 2) und 3) werden deshalb iterativ wiederholt, bis sich die Position der Cluster-Mittelpunkte lediglich marginal verändert und ein Konvergenzverhalten ersichtlich ist.

Für einen verbesserten Einsatz von k-Means wird k-Means++ eingesetzt: Dieser Algorithmus kann die Festsetzung der Start-Mittelpunkte optimieren.⁴⁹ Er verbessert die Laufzeit, da Cluster-Mittelpunkte schneller konvergieren. Darüber hinaus senkt es das Risiko, dass zu Beginn bereits Start-Mittelpunkte gewählt werden, welche in unterschiedlichen Clustern liegen. Im Gegensatz zu dem standardmäßigen k-Means-Prozess werden hier nicht alle Cluster-Mittelpunkte zufällig ausgewählt, sondern nur der erste Cluster-Mittelpunkt. Die Distanz zwischen dem zufällig ausgewählten Startpunkt und jedem Punkt wird berechnet. Der Punkt mit der größten Entfernung zum ersten Mittelpunkt hat die höchste Wahrscheinlichkeit, als zweiten Cluster-Mittelpunkt ausgewählt zu werden. Bei weiteren Clustern wird die Prozedur fortgesetzt und es werden die Wahrscheinlichkeiten so gesetzt, dass jene Punkte sehr wahrscheinlich einen neuen Cluster-Mittelpunkt annehmen, welche die größte Distanz zu vorherigen Mittelpunkten hat. Somit liegen die Mittelpunkte weiter auseinander und die Cluster können schneller und präziser identifiziert werden.

Nachdem k-Means++ alle K Clustermittelpunkte sequenziell initiiert hat, wird jeder Punkt dem Cluster-Mittelpunkt zugeordnet, welche die geringste quadratische Abweichung zum entsprechendem Datenpunkt hat. Nachdem alle Punkte zugeteilt sind, entsteht eine erste Clusterstruktur. In diesem Cluster wird nun der Mittelpunkt berechnet, welcher sich i. d. R. von den Start-Mittelpunkten unterscheidet. Im weiteren Verlauf wird die Zuordnung der Cluster-Mittelpunkte und die geringste Distanz algorithmisch so lange wiederholt angepasst, bis sich die quadratische Abweichung nur noch marginal ändert. Der Wechsel der Clusterzugehörigkeit von Datenpunkten verringert sich in dieser Approximation, bis keine Gruppierungsveränderungen auftreten oder der maximal festgesetzte Durchlauf des Algorithmus erreicht ist.

Formal minimiert k-Means bzw. k-Means++ die Summe der quadrierten Abweichungen aller Punkte zum Cluster-Mittelpunkt. Gegeben sei das Set $X = \{x_i\}$, $i = 1, \dots, n$, wobei x_i ein Vektor der Länge $|D|$ darstellt. Diese sollen in K Cluster des Sets $C = \{c_1, \dots, c_K\}$

⁴⁹ Vgl. Arthur, Vassilvitskii, (2007).

eingeteilt werden. Die quadratische Abweichung $J(c_k)$ mit $k = 1, \dots, K$ für ein Cluster $c_k \in C$ lautet:

Formel 2: Quadratische Abweichung der Punkte vom Cluster-Mittelpunkt μ_k :

$$J(c_k) = \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - \mu_k\|^2.$$

Quelle: Jain, A. K. (2010)

Die quadratische Abweichung wird für alle K Cluster berechnet. Ziel der k-Means-Optimierungsfunktion ist die Minimierung der Summe der quadratischen Abweichungen $J(C)$ und stellt sich dementsprechend dar als:

Formel 3: Optimierungsfunktion im k-Means-Prozess

$$\begin{aligned} \min_C J(C) &= \min_{c_1, \dots, c_K} \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - \mu_k\|^2. \\ &\Leftrightarrow \min_{c_1, \dots, c_K} J(c_1) + \dots + J(c_K) \end{aligned}$$

Quelle: Jain, A. K. (2010).

In der Optimierungsfunktion wird deutlich, dass der Abstand zwischen zwei Datenpunkte innerhalb eines Clusters minimiert wird (Intracluster Distanz), während der Abstand zwischen zwei Datenpunkten von unterschiedlichen Clustern maximiert wird (Intercluster Distanz).⁵⁰ Es werden somit K verschiedene Cluster gefunden, indem die quadratische Abweichung minimiert wird und in diesen Gruppen werden die K Cluster-Mittelpunkte als Mittelwert gesetzt.

Bei k-Means ist die **Anzahl der Cluster K** modellexogen vorgegeben und muss im Vorfeld festgelegt werden.⁵¹ Dabei gilt es die Zahl der Cluster entsprechend Formel 3 zu

⁵⁰ Die Intercluster Abstände werden maximiert, da nicht mehrere Cluster-Mittelpunkte in einem Mittelwert derselben Gruppierung liegen soll. Das bedeutet, dass ein Cluster-Mittelpunkt nicht der Mittelpunkt von mehr als einem Cluster sein darf.

⁵¹ Die Datenpunkte werden in K Gruppen eingeteilt, wobei K (die Anzahl der Cluster) einen elementaren Einfluss auf die Performance und Ergebnisgenauigkeit des k-Means Prozesses hat. Ein höherer Wert K relativ zur Anzahl an Datenpunkten deutet auf kleinere Gruppierungen mit höherem Zerlegungsgrad hin. Ein geringer K -Wert hat weniger Cluster, was größere Gruppierungen mit geringerer Granularität zur Folge hat. Ziel ist es, eine geringe Clusteranzahl zu erreichen und gleichzeitig Datenpunkte so präzise wie möglich einzuordnen. Häufiges Anwendungsgebiet von k-Means ist, wie auch in unserem Fall, das Clustering von Dokumenten.

minimieren, da sich mit steigender Anzahl der Cluster zwar die Passgenauigkeit der zugeordneten Werte steigt, gleichzeitig aber auch der Aussagegehalt sinkt. In diesem Fall spricht man auch von „Overfitting“.⁵²

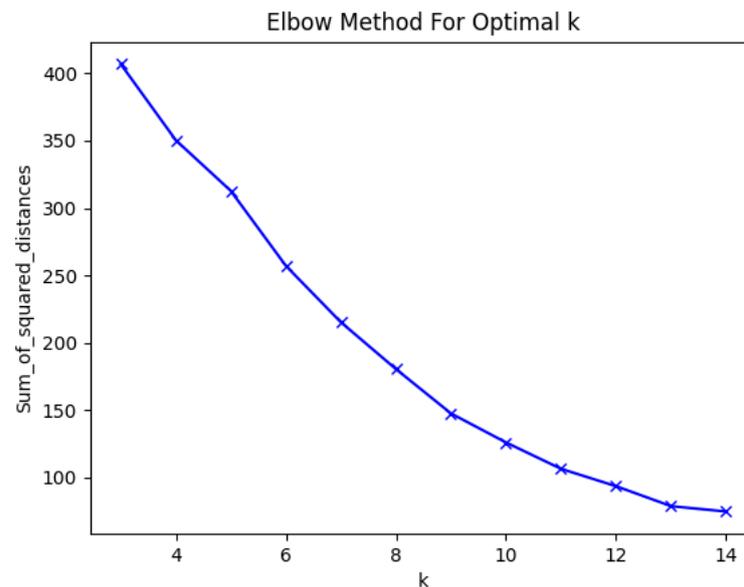
Ein Verfahren, um die Anzahl der Cluster festzulegen, ist die „Elbow Method“.⁵³ Sie liefert auf Basis der abnehmenden Grenzgewinnen weiterer Cluster einen guten Indikator dafür, wann ein weiteres Cluster nur noch einen begrenzten Beitrag zur Minimierung für Formel 3 liefert. Für die „Elbow Method“ werden die gruppeninhärenten summierten quadrierten Differenzen aus Formel 3 abgeleitet und in Abbildung 7 auf der y-Achse dargestellt. Die Anzahl der Cluster K wird auf der x-Achse des Diagramms abgetragen. Die Heuristik besagt demnach, dass der Punkt, an dem die Steigung maximal abnimmt, ein guter Kandidat für die Anzahl der Cluster K ist. Wie oben erläutert, sinken die Abweichungen mit jedem hinzugefügten Cluster, da sich mehr Mittelpunkte bilden können. Bei 9 Clustern hat die Elbow-Kurve die stärkste negative Steigung und somit ist der Rückgang der Summe aller quadratischen Abweichungen mit dieser Anzahl an Clustern am größten und stellt ein optimales K dar. Die Wahl der optimalen Cluster unterliegt im letzten Schritt der Einschätzung der Forscher, gleichwohl dazu Methoden vorhanden sind.⁵⁴

⁵² Vgl. Jain, A. K. (2010).

⁵³ Vgl. Tibshirani et al. (2001).

⁵⁴ Neben der hier verwendeten „Elbow Method“ findet die „Silhouette Method“ von Rousseeuw (1987) oft Anwendung, die für jeden Punkt in einem Cluster die Nähe zu den anderen Punkten berechnet und bei großer Ähnlichkeit einen positiven Wert und vice versa ausgibt. Haben viele Punkte einen negativen Wert, erklären entweder zu viele oder zu wenige Cluster die Datenpunkte und es kommt entweder zum Over- oder Underfitting. Ein Underfitting liegt vor, wenn eine zu geringe Anzahl an Cluster ausgewählt wurde, sodass die Passgenauigkeit der Datenpunkte zu dem jeweiligen Cluster unzureichend ist. Im Gegensatz dazu liegt Overfitting vor, wenn die Passgenauigkeit sehr präzise ist, jedoch die Anzahl an Cluster für die zugrunde liegende Analyse zu hoch ist. Beide Methoden bieten Hilfestellung für die Entscheidung hinsichtlich des Trade-Offs und finden eine Balance zwischen beiden Fitting-Problemen. Im Rahmen unserer Analyse ausschließlich die Elbow Method zum Einsatz, da sie intuitiver in der Anwendung ist und letztlich auch weiter verbreitet. Für mehr Informationen vgl. Rousseeuw (1987), „Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis“.

Abbildung 7: Bestimmung der Anzahl der Cluster nach Elbow-Methode



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

4.2 Ergebnisse der k-Means-Clustering und Generierung von Wortwolken

Nachdem die implementierten Methoden für die Datengewinnung, Datenaufbereitung sowie der Clustering-Prozess vorgestellt wurden, gilt es die Anwendung und die generierten Ergebnisse der Reifegradanalyse vorzustellen. Da zur Bestimmung der Startpunkte k-Means++ als effizientere Methode gilt und ihr zugeschrieben wird, weniger anfällig für lokale Minima zu sein, wird diese Methode für das Clustering gewählt.⁵⁵

⁵⁵ Für die in der Python-Bibliothek „sklearn“ implementierten k-Means-Methode ist es zudem möglich, den Optimierungsprozess mehrfach mit unterschiedlichen Startpunkten zu beginnen, was ebenfalls einer Optimierung auf lokale Minima vermeiden soll. Mit lokalen Minima sind Punkte in einer mehrdimensionalen Ebene gemeint, die durch ein lokales Minimum dem Algorithmus melden das Optimum wäre erreicht, wenngleich diese Punkte nicht dem globalen Minimum entsprechen. Dadurch konvergiert der Algorithmus gegen diesen vermeintlich optimalen Punkt, was die Aussagekraft des Modells verringern würde. Wird der Prozess mehrfach iteriert, steigt die Wahrscheinlichkeit geeignete Punkte zu erreichen. Der Parameter für die Iteration wurde in im Rahmen der vorgenommenen Konfiguration auf 10 gesetzt. Um ein angemessenes Verhältnis von Rechenaufwand und Optimierung der Ergebnisse zu erhalten, gilt es die maximale Anzahl der Minimierungsiterationen festzulegen. Im vorliegenden Fall wurde sie auf 200 gesetzt. Vgl. Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2006). k-means++: The advantages of careful seeding. Stanford.

Im Rahmen des Clustering-Prozesses werden die einzelnen Fragen den 9 Clustern, welche die Elbow-Methode errechnet hat, zugewiesen. Die einem Cluster zugewiesenen Fragen werden zur Themenbestimmung, ihrer Frequenz entsprechend, in Wortwolken eingespeist. Die Visualisierung erleichtert die Vergabe von Clustertiteln. Der Titel entspricht in einigen Fällen das am häufigsten vorkommende Wort, jedoch erfolgte die finale Zuweisung mittels kontextgebundenen Expertenwissens manuell. Im Folgenden werden die Titel der Themen randomisiert aufgeführt:

- Cluster 1: Mitarbeiter
- Cluster 2: Organisation
- Cluster 3: Prozesse
- Cluster 4: Strategie
- Cluster 5: Produkte und Dienstleistungen
- Cluster 6: Kunden und Zulieferer
- Cluster 7: IT-Sicherheit
- Cluster 8: Technologie und Infrastruktur
- Cluster 9: Sonstiges (Grunddaten)

Nachstehend erfolgt nun eine Beschreibung und Charakterisierung der Cluster auf der Basis ihrer Wortwolken. Eine Wortwolke, auch Schlagwortwolke oder Stichwortwolke genannt, ist ein Instrument zur Visualisierung von Informationen. Eine Liste aus Wörtern wird dabei flächig angezeigt und die Wörter entsprechend ihrer Gewichtung unterschiedlich groß oder auf andere Weise abgestuft voneinander dargestellt. So wird ein unmittelbarer und recht intuitiver Einblick in die semantische Anlage von Texten gegeben. Vom Grundsatz her wird die Größe eines Schlagwortes in der Wortwolke durch seine Häufigkeit im zu analysierenden Text bestimmt.⁵⁶

Die Positionierung des Wortes und dessen Farbwahl innerhalb einer Wortwolke sind zu Anschauungszwecken zufällig gewählt und es können somit keine Rückschlüsse für die Textanalyse daraus geschlossen werden. Die maximale Schriftgröße der Wörter wird auf 50 gesetzt und die maximale Anzahl an Wörtern eines Schaubildes wird auf 100 begrenzt, um die Verständlichkeit der Analyseergebnisse zu gewährleisten. Bei Wortwolken mit mehr als 100 Wörtern werden die Ergebnisse mit geringster Häufigkeit nicht dargestellt. Da es sich um ein Visualisierungstool handelt, ist diese Restriktion unerheblich.

Die Clustertitel wurden dabei durch das am größten dargestellte Wort festgelegt. In einzelnen Fällen wurde zur besseren Beschreibung auch das zweitgrößte Wort hinzugekommen, um den Titel dem Inhalt treffender anzupassen.

⁵⁶ Vgl. dazu <https://blog.hwr-berlin.de/elerner/word-clouds-wie-sinnvoll-sind-wortwolken/>.

Cluster IT-Sicherheit

Abbildung 14: Cluster IT-Sicherheit



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

IT-Sicherheit ist eines der zentralen Themen, das bei allen Digitalisierungsbestrebungen im Unternehmen beachtet werden sollten. Aus diesem Grund wird in den Fragen in diesem Cluster thematisiert ob entsprechende *Maßnahmen* auch *vorhanden* sind bzw. ob diese auch *ausreichend* sind. Zum Großteil werden einzelne Komponenten aus dem Bereich IT-Sicherheit abgefragt, wie *Datenübertragung* und *Datenschutz*. Hinzu kommen Fragen zur *Vernetzung* bzw. der *Segmentierung* von einzelnen Komponenten oder zu *Speichermedien*. Übergeordnete Richtlinien und Verfahren, die in ein Gesamtkonzept passen, werden nur in den wenigsten Fragen behandelt. Dabei wird fast ausschließlich der Begriff IT-Sicherheit genutzt, auch wenn viele Fragen zu Datensicherheit und Datenschutz zwei weitere Säulen behandeln, die alle zusammen eher unter den Begriff Informationssicherheit zusammenzufassen wären.

großer Datensätze abzielt. Der Bereich der digitalen Reifegradmodelle hingegen erfährt zwar eine wachsende Aufmerksamkeit, umfasst im deutschsprachigen Raum jedoch eine eher begrenzte Anzahl an Fragebögen und erläuternden Texten und ist darüber hinaus oft sehr themenspezifisch. Daraus resultierend ist die Anwendung verfügbarer neuronaler Netzwerke (Bspw. Word2Vec oder GloVe), die ebenfalls zur Vektorisierung von Texten verwendet werden, nicht zielorientiert, da diese auf der einen Seite einen quantitativ sehr hohen Bedarf an Textdaten haben und auf der anderen Seite diese Daten qualitativ etwas weniger gleichgerichtet sein sollten, als es bei unserer Untersuchung der Fall ist.

Aus diesem Grund werden in diesem Forschungsbeitrag mit tf-idf und k-Means-Methoden angewandt, die auch im Kontext geringerer Datenmengen praktikabel sind. Diese quantitativen Ansätze stellen eine Möglichkeit dar, sich der Einordnung von Reifegradmodellen zu nähern, sind dabei jedoch komplementär zur qualitativen Analyse zu betrachten. Gleichwohl bekräftigen die Ergebnisse dieses Verfahrens die vorher erbrachte qualitative Einordnung. Für die Zukunft ist jedoch weitere Forschung notwendig, die sich insbesondere der Robustheit der Methode und der Sensitivität gegenüber anderen Methoden widmet. In diesem Kontext könnte eine größere Datenbasis bestehend aus mehr Fragen und mehr Tests unter Umständen die aus dieser Analyse entstammende thematische Abgrenzung der Fragen stärken. Eine weitere Möglichkeit zur Validierung der Ergebnisse könnten weitere Methoden zur kontext-berücksichtigenden Vektorisierung von Texten bieten, und so die Robustheit der Ergebnisse gestärkt werden.

Die hier angewandte programmgestützte Analyse ist in der Lage, ein sehr gutes Gespür dafür zu geben, welche Themen in den digitalen Reifegradmodellen in Deutschland adressiert werden. Die Cluster sind mitnichten überschneidungsfrei, sondern trotz ihrer Gruppierung miteinander vernetzt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Inputdaten – genauer gesagt die verwendeten Wörter der Reifegradmodelle – sich nicht uneingeschränkt gruppieren lassen und jede Wortwolke durch das übergeordnete Thema „Reifegradmodell“ zusammenhängt und daher Interdependenzen bestehen.

5 Schwerpunktsetzung und Dimensionen der Reifegradmodelle

Für ein besseres Verständnis der untersuchten Reifegradmodelle wird im Folgenden analysiert, welche Cluster die einzelnen Reifegradmodelle adressieren. Mit zwei verschiedene Heatmaps kann intuitiv und schnell einen Überblick zu den 19 Reifegradmodelle und die 9 identifizierten Cluster geschaffen werden. Markante Gemeinsamkeiten und Unterschiede können mit dieser Methode ebenfalls leicht erkannt werden.

Die erste Heatmap (vgl. Tabelle 3) zeigt, welches Cluster in welchem Modell adressiert wird (blaue Felder) und welches Cluster in welchem Modell nicht adressiert wird (weiße Felder). Dabei wird deutlich, dass kein Modell alle Cluster bedient. Im Durchschnitt werden sechs Cluster pro Modell bedient. Es gibt fünf Modelle, die nur drei bzw. vier Cluster adressieren und damit sehr spezialisiert sind, aber auch zwei Modelle die acht Cluster adressieren und damit sehr breit aufgestellt sind. Die anderen zwölf Modelle adressieren zwischen fünf und sieben Cluster. Diese decken also, in unterschiedlichen Kombinationen, eine breite Menge an Themen ab. Insgesamt gibt es 18 Kombinationen der Clusterverteilung, was bedeutet, dass fast kein Modell dem anderen gleicht. Die Anzahl der Cluster, die in einem Modell vorkommen sagen aber nicht zwingend etwas über dessen Qualität aus. Vielmehr kann eine Fokussierung auf einen bestimmten Themenbereich stattfinden oder eine allgemeine Untersuchung vorgenommen werden.

Die Reihenfolge der Cluster in Tabelle 3 wurde nach der sinkenden Häufigkeit geordnet, nach der sie den unterschiedlichen Reifegradmodellen zugeordnet werden. Erkennbar ist, dass einzig das Cluster Sonstiges und Grunddaten in allen Reifegradmodellen vorkommt.

Rund drei Viertel der Modelle behandeln die Cluster Mitarbeiter, Produkte & Dienstleistungen sowie Prozesse. Diese Cluster scheinen somit ein wichtiger Bestandteil fast aller Reifegradmodelle zu sein.

In ca. zwei Drittel der Modelle finden sich die Cluster Strategie sowie Kunden & Zulieferer wieder. Die überwiegende Mehrheit der Untersuchten Modelle widmet sich also diesen Themen.

Die drei übrigen Cluster Technologie & Infrastruktur, Organisation sowie IT-Sicherheit werden nur noch von Teilen der Reifegradmodelle adressiert. Während noch etwa die Hälfte der Modelle das Cluster Technologie & Infrastruktur sowie das Cluster Organisation adressieren, wird nur fünf Modellen (ein Viertel der Modelle) das Cluster IT-Sicherheit zugeordnet.

Tabelle 3: Analyse, welches Cluster in welchem Modell adressiert wird

		Cluster Ranking 1-3								
		Sonstiges/Grunddaten	Mitarbeiter	Produkte & Dienstleistungen	Prozesse	Strategie	Kunden & Zulieferer	Technologie-Infrastruktur	Organisation	IT-Sicherheit
Reifegradmodell	Analysetool Digitaler Reifegrad									
	Das Digitale Reifegradmodell m2									
	Der Digitale Reifegradtest									
	Digital Maturity Check									
	Digital Readiness Self-Check									
	Digitalcheck Mittelstand									
	Digitalisierungs Checkup									
	Digitalisierungscheck des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk									
	Digitalisierungsindex Mittelstand									
	eStep Mittelstand Self-Assessment-Tool									
	Industrie 4.0 Reifegradtest									
	Industrie 4.0-Readiness Online-Selbst-Check für Unternehmen									
	Mittelstand im Wandel									
	Online Selbsteinschätzung									
	Quick-Check Fraunhofer Austria Industrie 4.0 Reifegradmodell									
	Readiness-Check									
	Readiness-Check Digitalisierung									
	Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse									
	Selbstcheck									

Legende: Cluster wird adressiert Cluster wird nicht adressiert

Quelle: WIK, eigene Darstellung.

Die zweite Heatmap bietet eine Analyse, in welcher Tiefe die einzelnen Cluster untersucht werden (vgl. Tabelle 4). Dafür wurde die Anzahl der Fragen pro Modell über ein Ranking normiert, um diese miteinander vergleichbar zu machen und um zu erfahren, bei welchen Clustern konkret Schwerpunkte gesetzt werden.⁵⁷ Für eine erleichterte Übersicht wird nur die Top 3 farblich abstuft dargestellt.

Es zeigt sich kein eindeutiger Trend, welche Cluster – abgesehen von Sonstiges und Grunddaten – mit besonders vielen Fragen (Cluster Ranking 1 – 3) in vielen Modellen tiefergehend untersucht werden. Sowohl Cluster, die in vielen Modellen vorkommen, als auch Cluster, die nur in wenigen Modellen vorkommen, können die meisten, zweitmeisten oder drittmeisten Fragen aufweisen. Für einen besseren Vergleich und um eine Gewichtung herzustellen, wird nachfolgend untersucht, in wie viel Prozent der Fälle ein Cluster eine Top 3 Platzierung in unserer Tabelle erzielt.

Die beiden Cluster Mitarbeiter sowie Produkte und Dienstleistungen kommen in 15 von 19 der Modelle vor. Das Cluster Mitarbeiter wird in mehreren Modellen etwas genauer adressiert. Während es Mitarbeiter neun Mal in die Top 3 des Rankings schafft (und damit in 60 % der Fälle), ist dies für Produkte und Dienstleistungen nur fünf Mal der Fall (und damit in nur 33 % der Fälle). Hinzu kommt, dass das Cluster Produkte und Dienstleistungen zu den wenigen gehört, die nie den ersten Platz beim Ranking der Fragen belegen.

Das Cluster Prozesse kommt in 14 von 19 der Modelle vor und landet dabei acht Mal in den Top 3 der Cluster mit den meisten Fragen (in 57 % der Fälle). Damit kommt es zwar in etwas weniger Modellen als der Cluster Produkte und Dienstleistungen vor, wird aber in mehr Modellen ausgiebig untersucht.

⁵⁷ Das Cluster mit den meisten Fragen im jeweiligen Modell bekommt also das Ranking 1, das Cluster mit den zweitmeisten Fragen im jeweiligen Modell das Ranking 2, das Cluster mit den drittmeisten Fragen im jeweiligen Modell das Ranking 3, usw.

Die Cluster Strategie sowie Kunden und Zulieferer sind in 12 von 19 der Modelle vertreten. Dabei ist das Cluster Strategie sieben Mal und das Cluster Kunden und Zulieferer fünf Mal in den Top 3 der Fragenanzahl vertreten (58 % bzw. 42 % der Fälle). Auffällig ist, dass das Cluster Kunden und Zulieferer als eines von nur zwei Clustern nie die Top 1 Platzierung erreicht und als einziges Cluster keine Top 3 Platzierung, dafür aber fünf Mal eine Top 2 Platzierung hat.

Das Cluster Technologie und Infrastruktur kommt in 11 der Modelle vor. Dabei belegt es vier Mal einen Top 3 Platz bei der Anzahl der Fragen (36 % der Fälle). Auffällig dabei ist, dass es zwar als einziges Cluster mehr als einmal das Cluster mit den meisten Fragen ist (nämlich zwei Mal), sonst aber in der Regel nur wenige Fragen zu dem Thema gestellt werden. Womöglich hängt dies damit zusammen, dass Technologie bei den anderen Clustern vorwiegend als Querschnittsthema behandelt wird.

Eine weitere Besonderheit stellt das Cluster Organisation dar. Es findet sich zwar nur in 9 der 19 der Modelle wieder, belegt dort bei der Anzahl der Fragen aber in 8 von 9 Fällen einen Top 3 Platz (89 % der Fälle). Somit kommt das Cluster zwar nur in etwas weniger als der Hälfte der Modelle vor, ist aber fast immer eines der Cluster, das am tiefsten analysiert wird.

Das Thema IT-Sicherheit hat in der programmgestützten Analyse zwar zu einem eigenen Cluster geführt, insgesamt werden aber nur in 5 Modellen Fragen dazu gestellt die, mit Ausnahme von einem Modell, nicht zu den Top 3 Schwerpunkten zählen (20 % der Fälle). Es ist damit das Cluster, zu dem in den wenigsten Modellen überhaupt Fragen gestellt werden und das am seltensten in den Top 3 vertreten ist.

Tabelle 4: Ranking der Fragen je Modell nach Clustern

Reifegradmodell	Cluster Ranking 1-3								
	Sonstiges/Grunddaten	Mitarbeiter	Produkte & Dienstleistungen	Prozesse	Strategie	Kunden & Zulieferer	Technologie-Infrastruktur	Organisation	IT-Sicherheit
Analysetool Digitaler Reifegrad	1	3	2					3	
Das Digitale Reifegradmodell m2	3	4		2	6		5	1	
Der Digitale Reifegradtest	2	4	4	4	3	4	1		
Digital Maturity Check	1		5	7	3	2	6	3	
Digital Readiness Self-Check	1	4	5	3	6	2	6		
Digitalcheck Mittelstand	8	5	7	2	1	2	6	2	
Digitalisierungs Checkup	1	2	5	8	4	7	6	2	
Digitalisierungscheck des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk	1	3	6	2		4	7		5
Digitalisierungsindex Mittelstand	1	5	3	5		2			4
eStep Mittelstand Self-Assessment-Tool	1	3	3	3				2	
Industrie 4.0 Reifegradtest	4	4	3	4		2	1		
Industrie 4.0-Readiness Online-Selbst-Check für Unternehmen	1	3	4		2				4
Mittelstand im Wandel	1	2	5		3	6	3		
Online Selbsteinschätzung	1	2				4		3	
Quick-Check Fraunhofer Austria Industrie 4.0 Reifegradmodell	1		3		2				
Readiness-Check	1	2	4	5	5			2	5
Readiness-Check Digitalisierung	6	1	5	2	3	7	4		
Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse	2			1			3		
Selbstcheck	4		3	2		6	6	5	1

Legende: 1 = Cluster mit den meisten Fragen 2 = Cluster mit den zweitmeisten Fragen 3 = Cluster mit den drittmeisten Fragen

Quelle: WIK, eigene Darstellung.

Die Detailanalyse zeigt, dass die untersuchten Modelle ganz unterschiedliche Kombinationen und Schwerpunkte ihrer Fragen wählen. Ähnliches zeigt sich auch, wenn man noch einmal auf die Steckbriefe schaut, deren Datenbasis die Selbstauskunft der

Reifegradmodelle ist. Hier werden letztlich je nach Modell ähnliche Dimensionen, in unterschiedlichen Differenzierungen und Bezeichnungen⁵⁸ kombiniert. Obwohl das Thema IT-Sicherheit für eine nachhaltige Digitalisierung essenziell ist, wird es nur selten, und dann auch nur wenig detailreich, analysiert.

Sowohl die programmgestützte Analyse als auch die einfache Analyse der Steckbriefe zeigen, dass Reifegradmodelle sehr genau auf die unternehmensinternen Faktoren schauen, um Digitalisierung zu messen. Sie fragen nach Strategien, nach organisatorischen Strukturen, nach Prozessen und der Verknüpfung des Netzwerkes innerhalb des Unternehmens (Mitarbeiter) mit den Stakeholdern (Kunden, Lieferanten etc.) durch Kommunikation. Gerade diese Faktoren sind eng miteinander verknüpft.

Als Exkurs, aber auch um diese Analyse noch etwas weiter zu stützen, erscheint die Betrachtung von Wortwolken für die gewählten Reifegradmodelle interessant. Die Wortwolken sind nach dem Preprocessing, d. h. basierend auf dem bereinigten Datensatz erstellt worden (siehe Kapitel 4.1.1). Die Betrachtung der entsprechenden 19 Wortwolken, von denen hier 4 beispielhaft dargestellt werden (vgl. Abbildung 17),⁵⁹ zeigt, dass sich die Modelle, auch wenn sie grundsätzlich die gleichen Themen adressieren, also die gleichen Wörter in den Wortwolken enthalten sind, in ihrer Schwerpunktsetzung unterscheiden, d. h. unterschiedliche Wörter hervorgehoben, d. h. größer dargestellt, werden. Die Modellauswahl erfolgte randomisiert und enthält Modelle sowohl mit über- als auch unterdurchschnittlichem Fragenumfang.

⁵⁸ So werden die Begriffe Organisation und Prozesse mal als eine Dimension und mal als zwei Dimensionen ausgewiesen sowie Prozesse auch mal als Prozessdigitalisierung bezeichnet.

⁵⁹ Die entsprechenden Darstellungen der weiteren Modelle finden sich im Anhang.

Abbildung 17: Wortwolken zu den Modellen Nr. 3 (Digital Maturity Check) und 4 (Digital Readiness Self-Check) sowie Nr. 14 (Online Selbsteinschätzung) und 17 (Readiness-Check Industrie 4.0).



Quelle: WIK, eigene Darstellung.

Aus der Analyse der Wortwolken für die Reifegradmodelle kann folgendes festgehalten werden:

- Es zeigt sich, dass Themen wie Mitarbeiter, Management, Produkt/Dienstleistung, Strategie oder auch Prozess Gegenstand fast aller Modelle sind.
- Während nahezu sämtliche Modelle den Mitarbeiter in den Vordergrund stellen, gibt es Modelle, die darüber hinaus im Schwerpunkt z. B. technologische Aspekte (Nr. 3, 6, 7, 8) thematisieren.
- Einer der Schwerpunkte von Modell 14 ist branchenbezogen der Bereich des Handwerks.
- Die Modelle 4 und 13 fokussieren auf Innovationen und
- die Modelle 4, 5, 9 und 11 eher auf den Vertrieb und den Kunden.

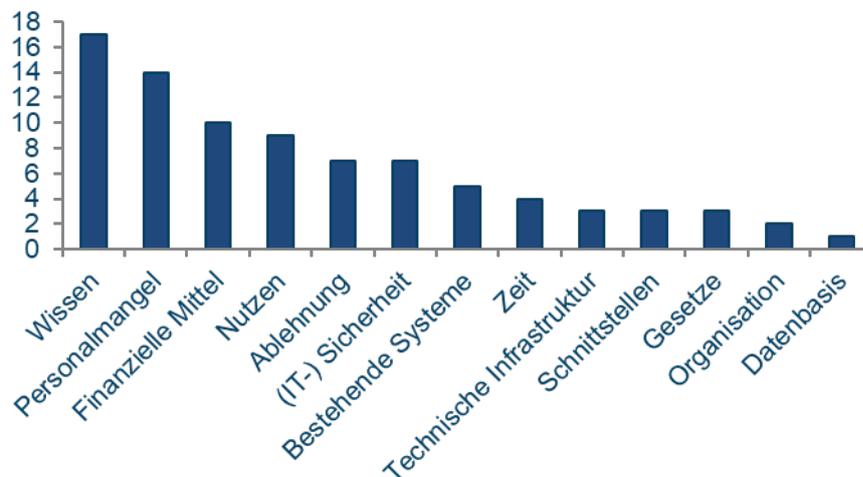
Dabei zeigt sich, dass viele Themen die Struktur und die interne Organisation der Unternehmen tangieren und versucht wird, einen Einblick in die Strukturen der Unternehmen, die Abläufe zu erlangen, um darauf aufbauend den Stand der Digitalisierung beurteilen zu können. Themenbereiche wie Technologien, Infrastruktur und IT-Sicherheit werden

ebenfalls betrachtet, rangieren im Ranking aber weiter hinten und werden vielmehr als Enabler der Digitalisierung gesehen.

6 Überschneidung der Themen der Reifegradmodelle mit Hemmnissen und Treibern der Digitalisierung

Wie zu Beginn beschrieben, stellen Reifegradmodelle ein Instrument dar, dass es Unternehmen ermöglicht, den aktuellen individuellen Stand der digitalen Transformation zu bewerten. Eine kritische, selbstreflektierende Auseinandersetzung gelingt allerdings nur dann, wenn in den digitalen Reifegradmodellen auch essenzielle Punkte für eine digitale Transformation eines KMU hinterlegt sind. Aus diesem Grund werden nachfolgend die Cluster mit gängigen Hemmnissen und Treibern verglichen, die deutsche KMUs betreffen. Als Referenz dient, soweit nicht anderweitig vermerkt, Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021): 360-Grad-Überblick über den Digitalisierungsstand in KMU, da in dieser Metastudie eine Vielzahl an Studien auf Hemmnisse und Treiber analysiert wurden.⁶⁰

Abbildung 18: Anzahl der Studien, die aufgeführte Hemmnisse für KMU bei der Digitalisierung nennen (Mehrfachnennung möglich)



Quelle: WIK, eigene Darstellung basierend auf Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021).

Es zeigt sich, dass viele Cluster die in der Metastudie identifizierten Hemmnisse und Treiber thematisieren.

⁶⁰ Die in den Studien genannten Hemmnisse und Treiber sind bei der Namensgebung teilweise identisch mit den 9 identifizierten Clustern. Dies bedeutet allerdings nicht, dass bei diesen Hemmnissen und Treibern nicht auch Themen angesprochen werden, die bei unserer Einteilung der Cluster in verschiedenen Clustern thematisiert werden. Hinzu kommt, dass Treiber und Hemmnisse aus den Studien in von uns identifizierte Cluster eingeteilt werden können, auch wenn die Namensgebung unterschiedlich ist.

- Mit dem Cluster *Mitarbeiter* werden in den digitalen Reifegradmodelle mehrere der größten Hemmnisse bei der Digitalisierung untersucht, die in vielen Studien thematisiert werden. Fehlendes Wissen sowie fehlendes (qualifiziertes) Personal stellt für viele KMU eine sehr große Herausforderung bei der Digitalisierung dar. Nicht nur müssen vorhandene Mitarbeitende fortlaufend zu stetig neuen Themen geschult werden, die mit der digitalen Transformation auftauchen. Auch die Gewinnung neuer Mitarbeitenden mit gewissen Kompetenzen stellt viele KMU vor große Hürden. Bei den Erfolgsfaktoren spielen Mitarbeitende ebenfalls eine entscheidende Rolle. Vorhandenes bzw. erlangtes Wissen und Qualifizierung tragen in Unternehmen erheblich zu einer gelungenen digitalen Transformation bei. Daneben gilt auch die frühzeitige und transparente Kommunikation mit den Beteiligten als entscheidender Erfolgsfaktor bei der Digitalisierung und deren Akzeptanz unter den Mitarbeitenden. Fragen aus diesem Cluster scheinen daher besonders geeignet zu sein, ein selbstkritisches Bild des Unternehmens erstellen zu können.
- In der Studiauswertung zeigt sich, dass u. a. die *Produktion* zu den Wertschöpfungsbereichen gehört, die besonders geeignet für Digitalisierungsmaßnahmen erscheinen. Dies deckt sich auch mit der Motivation vieler Unternehmen für Digitalisierungsmaßnahmen. Dort stehen Effizienzgewinne für die Produktion mit an oberster Stelle. Daher erscheint es äußerst wichtig, dass auch diese Thematik bei den Reifegradmodellen untersucht wird.
- Das Thema *Prozesse* ist ebenfalls eng mit den Herausforderungen und Hürden verbunden, die sich KMU durch bestehende und etablierte Strukturen stellen. Prozessabläufe sind dabei ein wichtiger Bestandteil, der in vielen Unternehmen digitalisiert werden muss, sie aber dabei vor Herausforderungen stellt. Studiauswertungen zeigen, dass Effizienzgewinne für Prozesse eine der größten Motivationen für Digitalisierung darstellen. Somit scheint es auch bei dieser Thematik sinnvoll zu sein sie in Reifegradmodellen näher zu untersuchen.
- Fragen zur *Strategie* im Unternehmen sind insbesondere daher interessant, da KMU die Digitalisierung mit konkreten Plänen angehen sollten. Obwohl gerade kleine, regional agierende Unternehmen sowie Unternehmen ohne Innovationen Digitalisierungsprojekte haben, verfügen sie selten über eine Digitalisierungsstrategie. Es zeigt sich jedoch, dass Unternehmen mit Digitalisierungsstrategie die Digitalisierung deutlich aktiver angehen.⁶¹ Fragen zur Strategie sind daher in Reifegradchecks ebenfalls sinnvoll.
- Die ausgewerteten Studien zeigen, dass sich bei Wertschöpfungsbereichen besonders die Schnittstellen zum *Kunden* geeignet für Digitalisierungsmaßnahmen erscheinen. Dies spiegelt sich auch bei der Motivation der Unternehmen für Digitalisierung wider. Transparenz, größere Kundennähe und eine gesteigerte -

⁶¹ Vgl. Zimmermann, V. (2022b).

zufriedenheit gelten als eines der führenden Motive für die Digitalisierung. Auch diese Thematik ist daher in vielen Reifegradmodellen sinnvoll aufgehoben.

Zwei weitere Clustern, die in etwa der Hälfte der Modelle identifiziert wurden, thematisieren Hemmnisse und Treiber, die in verhältnismäßig wenigen Studien genannt werden.

- *Technologie und Infrastruktur* (technische Infrastruktur) sind für viele KMU ebenfalls sehr wichtige Themen bei der Digitalisierung. Allerdings wird dieses Thema in verhältnismäßig wenigen Studien als Hemmnis identifiziert. Womöglich hängt dies damit zusammen, dass die Herausforderungen, die mit technischer Infrastruktur gesehen werden, bereits unter den zuvor genannten Themen subsumiert sind.
- Durch Fragen aus dem Cluster *Organisation* wird ein weiteres Hemmnis bei der Digitalisierung in KMU überprüft. Festgefahrene Hierarchien sowie starre Organisationsstrukturen erschweren den Transformationsprozess in vielen Unternehmen. Der Mittelstand ist dabei besonders oft betroffen. Es wird allerdings in verhältnismäßig wenigen Studien als konkretes Hemmnis für KMU aufgeführt. Daher ist es nicht verwunderlich, dass dieses Cluster nicht in allen Reifegradmodellen vorkommt.

Eine auffällige Besonderheit stellt das Thema *IT-Sicherheit* dar. Fragen zur IT-Sicherheit sind insbesondere deshalb wichtig, da diese ein fundamentaler Bestandteil einer nachhaltig erfolgreichen Digitalisierung ist und sie eine der größten Herausforderungen für KMU im Zuge der digitalen Transformation darstellt.⁶² Das Nicht-Beachten dieser äußerst wichtigen Thematik in vielen Reifegradmodellen erscheint daher erstaunlich.

Die in den Reifegradmodellen identifizierten Cluster decken sich zum Großteil sehr gut mit vielen Hemmnissen und Treibern, die in Studien zu der Thematik genannt werden. Die Cluster, die im Großteil der Reifegradchecks vorkommen, adressieren genau diese Hemmnisse und Treiber. Darüber hinaus gibt es weitere Cluster, die in etwa der Hälfte der untersuchten Reifegradmodelle vorkommen, die sich mit Thematiken beschäftigen, die in vielen Studien nicht zwingend als Hemmnis oder Treiber erkennbar sind. Kritisch gesehen werden kann allerdings, dass das Thema IT-Sicherheit in nicht allen Checks aufgegriffen wird. Hinzu kommen einige weitere Hemmnisse und Treiber (z. B. Fragen nach finanziellen Aufwendungen, zeitlicher Aufwand und Personalaufwand), die von uns nicht bzw. kaum in den Checks identifiziert werden konnten, aber für viele KMU und deren digitale Transformation entscheidend sein dürften.

⁶² Vgl. Zimmermann, V. (2022a).

7 Reifegradmodelle im Vergleich zur Messung von Digitalisierung in gesamtwirtschaftlichen Modellen

Im folgenden Abschnitt stehen die Differenzen zu den gesamtwirtschaftlich ausgerichteten Messungen der Digitalisierung im Vordergrund. Dabei geht es um die Frage, inwiefern sich das Digitalisierungsverständnis und die Messung von Digitalisierung in digitalen Reifegradmodellen und gesamtwirtschaftlichen Ansätzen zum Stand der Digitalisierung in Deutschland unterscheiden.

Reifegradmodelle liefern dann einen Mehrwert, wenn sie nicht exakt das Gleiche tun und Digitalisierung auf identische Art und Weise messen wie Modelle mit gesamtwirtschaftlichem Fokus. Der Fokus liegt bei Modellen mit gesamtwirtschaftlichem Fokus nämlich nicht primär auf dem einzelnen Unternehmen, da die Adressaten der Erkenntnis eher die Politik und die Forschung sind. Sie werden basierend auf dem jeweiligen Forschungsinteresse gebildet und die Fragen auch danach konzipiert. Die untersuchten Indikatoren sind daher auch nur zum Teil von den Unternehmen beeinflussbar. In der Gesamtheit sollen diese Modelle gesamtwirtschaftliche Angaben zum aktuellen Stand und zur Entwicklung der Digitalisierung in Deutschland liefern.

Es stellt sich also die Frage, ob sich die Herangehensweisen zum Beispiel des Statistischen Bundesamtes oder des BMWK von der der digitalen Reifegradmodelle unterscheiden. Es gilt daher das Digitalisierungsverständnis und die Dimensionen der Messung dahingehend näher zu betrachten.

In einem ersten Schritt sollen die im Zuge des Clustering identifizierten Schwerpunkte und Dimensionen der Digitalisierung der Reifegradmodelle den **Schwerpunkten des Destatis Index** gegenübergestellt werden. Zweitgenannte werden in Form einer Wortwolke in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Wortwolke über die Destatis Indikatoren



Quelle: WIK, eigene Darstellung auf Basis Destatis.⁶³

Die Wortwolke verdeutlicht, dass Destatis Themen wie *Künstliche Intelligenz*, *IT-Sicherheit*, *Website*, *Verkauf* und *Cloud Services* intensiv abfragt. Fragen nach Schwierigkeiten und Problemen scheinen ebenfalls zu den Top-Themen zu gehören. Es fällt auf, dass die Themenbereiche, die bei den Reifegradmodellen im Vordergrund stehen, wie Mitarbeiter, Organisation und Prozesse und Strategien scheinbar gar nicht aufgegriffen werden. Die im Mittelpunkt stehenden Themen sind tendenziell eher an quantitativen Messkriterien zur Nutzung von nicht individualisierbaren Technologien orientiert. Die Fragen zielen auf Infrastruktur, Ausstattung und Leistungsfähigkeit, z. B. in Form von *Bandbreiten* und *Geschwindigkeiten*, ab. Der Begriff *EDI* (elektronischer Datenaustausch) deutet darauf hin, dass gerade die Vernetzung des Unternehmens nach außen von Bedeutung ist.

Das gleiche Prinzip wurde für die **Schwerpunkte des BMWK Digitalisierungsindex** angewandt. Die zugehörige Wortwolke findet sich in Abbildung 20.

⁶³ Vgl. dazu <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=3&levelid=1656497222936&levelid=1656497142828&step=2#abreadcrumb>.

Transformation zu geben. Daraus resultiert, dass ihre Ergebnisse ggf. sehr viel individueller ausfallen und zu messende Dimensionen auf interne Gegebenheiten abzielen.

Grundsätzlich kann ein Unternehmen, das für sich ein Reifegradmodell zu Rate zieht, auch an den Befragungen des Statistischen Bundesamtes oder des BMWK teilnehmen. Die für das Unternehmen zu erwartenden Erkenntnisse unterscheiden sich von denen der Anwendung Digitaler Reifegradmodelle und das Antwortverhalten vermag anders ausfallen. Im Falle der gesamtwirtschaftlichen Modelle obliegt es dem Unternehmen selbst die Ergebnisse für sich zu interpretieren. Es vermag bei den quantitativen Messkriterien zur Nutzung von nicht individualisierbaren Technologien (z. B. Bandbreiten, Geschwindigkeiten) abzuleiten, ob es hier durchschnittlich, über- oder unterdurchschnittlich ausgestattet ist, kann die eigene Situation in diesem Fall aber z. B. nicht selbst beeinflussen. Bei Fragen, die mit ja/nein beantwortet werden, kann das Unternehmen ebenfalls eine Einordnung nach diesem Prinzip vornehmen, muss dann aber selbst beurteilen, ob dieses individuellen Handlungsbedarf impliziert.

Es kann vermutet werden, dass die Abfrage oder die Beurteilung und Einordnung individueller unternehmerischer Konstellationen in der Selbstauskunft eine weniger hohe Reliabilität aufweist als Fragen, die an den nicht individualisierbaren Technologien orientiert sind. Den nicht individualisierbaren Technologien ist nämlich immanent, dass sie leichter zu quantifizieren sind. Gleichwohl haben die Unternehmen bei den digitalen Reifegradmodellen aber den Anreiz, möglichst valide Auskünfte zu geben, da die Auswertung letztlich nur für sie individuell erfolgt und ihnen als Kompass in der digitalen Transformation dient. Subjektive Auskünfte sind hier sogar gewünscht.⁶⁵ In aller Regel erfolgen die Online Selbsttests in anonymisierter Form. Hier spielt daher auch noch einmal das Setting eine Rolle. In Summe wird es für z. B. Destatis schwieriger sein zu messen, was die Reifegradmodelle messen.

Ebenso wie bei den gesamtwirtschaftlichen Modellen werden auch im Falle der Reifegradmodelle die individuellen Handlungsempfehlungen nicht zwangsläufig mitgeliefert. Diese sind in vielen Fällen eine kostenpflichtige Zusatzleistung. Auch kann aus der Analyse der Reifegradmodelle nicht abgeleitet werden, dass die Benchmarks, die die meisten Modelle mitliefern, aussagekräftiger sind als die der gesamtwirtschaftlichen Modelle. Die Reifegradmodelle nutzen als Benchmark in der Regel alle Unternehmen, die das Modell genutzt haben, wohingegen die gesamtwirtschaftlichen Modelle repräsentativ befragen und in der Regel zumindest nach Branchen und Unternehmensgrößen differenzieren. Dies dürfte im Falle der Reifegradmodelle lediglich bei den branchenspezifischen Befragungen der Fall sein.

Im Folgenden werden die Herausforderungen und Grenzen von Reifegradmodellen diskutiert und Handlungsempfehlungen sowohl für die Unternehmen als auch die Politik abgeleitet.

⁶⁵ Vgl. Hölzle, K. et al. (2020).

8 Herausforderungen, Grenzen und Handlungsempfehlungen

Digitale Reifegradmodelle, die das Ziel haben, den aktuellen Stand der digitalen Transformation eines Unternehmens zu messen, stehen vor diversen Herausforderungen und haben zwangsläufig auch ihre Grenzen. Das Ergebnis der Messung ist abhängig von der Auswahl der Indikatoren in den verschiedenen Dimensionen. Diese in ein valides Fragebogendesign zu übersetzen, welches den Befragten angemessen leitet, ist essenziell und stellt eine Herausforderung dar.

Einfluss auf die Validität des Outputs von Reifegradmodellen haben des Weiteren der Umfang des Fragenkataloges und die Auswahl der Person im Unternehmen, die die Fragen beantwortet. Beim Umfang der Fragen ist zu beachten, dass mehr Fragen zwar auf der einen Seite eine höhere Messgenauigkeit bringen können, auf der anderen Seite aber zu Lasten der Reliabilität gehen können, indem die Aufmerksamkeit des Befragten mit dem Umfang des Fragenkataloges negativ korreliert. Ein großer Umfang spricht folglich nicht zwangsläufig für einen hohen Detail- und Genauigkeitsgrad, da durchaus in Frage gestellt werden muss, ob die Unternehmen überhaupt in der Lage sind, die Fragen zu beantworten.⁶⁶

Auskunft geben sollte sinnvoller Weise eine Person im Unternehmen, die auch in der Lage ist, sämtliche Dimensionen realistisch einschätzen zu können und über entsprechende Kenntnisse verfügt. Andererseits geht es häufig auch um operative Fragen und die Art der Kommunikation im Unternehmen. Diese Informationen sind oftmals wiederum von Angestellten oder Arbeitern ohne Führungsaufgaben mit einer höheren Reliabilität zu geben. Dadurch, dass die meisten Modelle auf einer Selbsteinschätzung beruhen, sind sie anfällig für subjektive Verzerrungen (Dunning-Kruger-Effekt).⁶⁷ Dies wäre insbesondere dann eine Herausforderung, wenn Reifegradmodelle genutzt werden sollen, um die Weiterentwicklung von Unternehmen zu beobachten.

Sofern Unternehmensverantwortliche neue Informationen zu Digitalisierungsmöglichkeiten z. B. durch einen Workshop erhalten, wird ihnen deutlich gemacht, wo eventuell bisher unerkanntes Digitalisierungspotenzial steckt, dessen sie sich bisher gar nicht bewusst waren. Ein Ausfüllen vor und nach dem Informationszuwachs kann also dazu führen, dass ein Verantwortlicher sein Unternehmen danach schlechter bewertet als zuvor, da er sich der Möglichkeiten noch nicht bewusst war.

Unsere Analyse und Aufbereitung kann KMU als Navigator/Kompass durch die Vielzahl an existenten Reifegradmodellen dienen und die Frage beantworten, welchen Nutzen die einzelnen Modelle für Unternehmen in verschiedenen Stadien der Transformation haben können (siehe Steckbriefe im Anhang). Sie können Aussagen zum aktuellen Stand machen, auf Basis derer dann wiederum Handlungsoptionen abgeleitet werden können. Zu Beginn des Prozesses können sie bei der Implementierung einer Strategie zur

⁶⁶ Vgl. Hölzle, K. et al. (2020).

⁶⁷ Vgl. Kruger, J., Dunning, D. (2002)

Transformation essenziell sein und im Zuge des Transformationsprozesses wiederum wertvolle Hinweise liefern. Sie stoßen aber dann an ihre Grenzen, wenn es darum geht Handlungsoptionen umzusetzen. Die erfolgreiche Umsetzung jedoch liegt außerhalb ihres Einflussbereiches.

Der Adressatenkreis unserer Untersuchung und die abzuleitenden Handlungsempfehlungen richten sich insbesondere an KMU:

- Digitale Reifegradmodelle können als Kompass dienen. Entsprechend der eigenen Bedürfnisse zeigt die vorliegende Untersuchung geeignete Modelle auf.
- Die ehrliche, selbstkritische und objektive Beantwortung der Modellfragen minimiert die Gefahr verzerrter Ergebnisse.
- Gerade die internen und weichen Faktoren verdienen bei der digitalen Transformation ein besonderes Augenmerk der Unternehmen. Dazu zählen neben der Strategie Mitarbeiter, Organisation, Prozesse sowie Produkte und Dienstleistungen.
- Die Unterschiede in den untersuchten Reifegradmodellen deuten darauf hin, dass das Durchlaufen unterschiedlicher Checks sowohl unterschiedliche Ergebnisse als auch Handlungsempfehlungen mit sich bringt. Für eine intensive und thematisch breite Auseinandersetzung mit der digitalen Transformation des eigenen Unternehmens empfiehlt es sich also verschiedene Checks zu durchlaufen, um ein umfassenderes Bild des eigenen Digitalisierungsstandes zu bekommen.
- Die Leistungsfähigkeit der eigenen IT-Abteilung gilt es zu reflektieren und ggf. durch die Einbindung externer Experten zu stärken.

Die Untersuchung wurde unter anderem auch dadurch motiviert, dass eine zunehmende Digitalisierung ein erklärtes gesamtwirtschaftliches Ziel ist, das mit zahlreichen staatlichen Projekten insbesondere auch für den Mittelstand gefördert wird.⁶⁸ Entsprechend werden auch Handlungsempfehlungen an die Politik abgegeben, die sich aus der Untersuchung ableiten:

- Digitalisierung hat offensichtlich zahlreiche Dimensionen und nicht allein einen gesamtwirtschaftlichen Blickwinkel. Politikmaßnahmen sollten daher mehrere Perspektiven einbeziehen.
- Es gibt nicht den einen richtigen Digitalisierungsgrad. Der Digitalisierungsgrad ist immer kontextbezogen und kann sich je nach Branche, Technologie, Geschäftsmodell, usw. unterscheiden. Die Messung des aktuellen Standes und des Fortschritts der Digitalisierung sind daher nicht eindeutig objektiv und hängen zudem von den gestellten Fragen ab.
- Zum Mehrwert und zur Auswahl von Reifegradmodellen gilt es durch neutrale Stellen Transparenz herzustellen. Die Politik sollte darüber hinaus für eine breite

⁶⁸ Vgl. dazu <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung>, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/digital-jetzt.html>, <https://www.mittelstand-digital.de/MD/Navigation/DE/Home/home.html>.

Auswahl an neutralen Angeboten sorgen, die KMU bei der Selbsteinschätzung hilft.

Anhand der Analysen der Reifegradmodelle können folgende mögliche Empfehlung für Reifegradmodelldesigner abgeleitet werden:

- KMU können bei der Vielzahl an digitalen Reifegradmodellen kaum den Überblick bewahren. Der thematische Schwerpunkt entwickelter Reifegradmodelle sollte daher offen kommuniziert werden.
- Transparenz ist für die Forschung wichtig. Die Bereitstellung methodischer Vorgehensweisen sowie ein öffentlicher Zugang unterstützen nicht nur KMU sondern auch bei der Weiterentwicklung bestehender Modelle auf wissenschaftlich fundierter Basis.
- Bei der Entwicklung neuer Modelle oder der Weiterentwicklung bestehender Modelle ist die Abdeckung der identifizierten Themen-Cluster zu beachten. Dies gilt explizit für Themen rund um die IT-Sicherheit.

9 Schlussbetrachtung

Die Frage des Fortschritts der Digitalisierung im deutschen Mittelstand steht im Fokus der Politik und den KMU. Um den tatsächlichen Fortschritt zu messen und Bedarfe zu identifizieren, sind Reifegradmodelle entwickelt worden.

Obwohl es zahlreiche Modelle auf dem Markt gibt, sind diese bei weitem nicht identisch. Mittels Recherche und der anschließenden Vorauswahl konnten einige für KMU geeignete Modelle identifiziert werden. Die anschließende Aufarbeitung im Steckbriefformat diente nicht nur dem Zweck eine Vergleichbarkeit für unsere weitere Studie zu schaffen, sondern auch um diese KMU selbst eine geeignete Übersicht über die verschiedenen Modelle zu bieten.

Mit der Clusteranalyse wurde eine Metaebene zur Analyse der Reifegradmodelle eingenommen. Diese Perspektive erlaubt es, den Mehrwert von Reifegradmodellen aufzuzeigen und die adressierten Themen in der Gesamtschau zu sehen. Durch das programmgestützte Topic Modelling der Reifegradmodelle konnte aufgezeigt werden, welche Themen über alle Modelle hinweg untersucht werden. Die Fragen können den Clustern

- Mitarbeiter,
- Organisation,
- Prozesse,
- Strategie,
- Produkte und Dienstleistungen,
- Kunden und Zulieferer,
- IT-Sicherheit,
- Technologie und Infrastruktur sowie
- Sonstiges (Grunddaten) zugeordnet werden.

Bei der vergleichenden Analyse wurde jedoch auch deutlich, dass nicht alle Modelle gleich aufgestellt sind. Während einzelne Modelle ein sehr breites Spektrum abbilden wollen und Fragen zu fast allen Clustern stellen, andere Modelle sich auf nur einzelne Cluster spezialisieren, versucht die große Mehrheit der untersuchten Modelle einen Mittelweg zu gehen. Dabei gelingt es im Großteil der Modelle wichtige Themen der Digitalisierung zu adressieren. Auffällig ist jedoch, dass das Thema IT-Sicherheit noch keine breite Adressierung in den digitalen Reifegradmodellen findet.

Digitale Reifegradmodelle haben gegenüber Modellen, die Digitalisierung in einem gesamtwirtschaftlichen Kontext messen, einen klaren Mehrwert. Dies wird durch die Analyse der Wortwolken nochmals sichtbar.

Für die zukünftige Forschung zu digitalen Reifegradmodellen bietet die von uns genutzte programmgestützte Analyse viele Vorteile und Anknüpfungspunkte. Durch die Vielzahl der mittlerweile entwickelten Reifegradmodelle und die teilweise nur geringen Unterschiede wird es immer schwieriger diese manuell miteinander zu vergleichen. Die Analyse mittels Machine Learning erlaubt es Modelle miteinander zu vergleichen, ohne die Auswertung durch menschliche Beurteilungen im Vorfeld zu verzerren.

Anknüpfungspunkt an unsere Studie könnte die Analyse englischsprachiger und weiterer anderssprachiger Reifegradmodelle bieten. Von Interesse wäre dabei, ob identische bzw. ähnliche Cluster gebildet werden oder ob die Clusterbildung auf Basis der Fragen beeinflusst wird. Ein Anknüpfungspunkt bei einem Blick ins Ausland wäre auch im Rahmen eines Benchmarkings möglich.

Wie in der Studie angesprochen ist zudem weitere Forschung notwendig, die sich insbesondere der Robustheit der Methode und der Sensitivität gegenüber anderen Methoden widmet. Die Auswertung weiterer, bislang nicht identifizierter oder neu entstehender Reifegradmodelle könnte eine größere Datenbasis bieten und die thematische Abgrenzung der Fragen stärken. Darüber hinaus sollte mittels weiterer Methoden die Robustheit der Ergebnisse gestärkt werden.

10 Literaturverzeichnis

- Aizawa, A. (2002). An information-theoretic perspective of tf–idf measures.
- Arthur, D.; Vassilvitskii, S. (2007), k-means++: The Advantages of Careful Seeding
- Berghaus, S.; Back, A.; Kaltenrieder, B. (2016). Digital Maturity & Transformation Report 2016 (Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen und Crosswalk AG, Hrsg.). St. Gallen: Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen und Crosswalk AG.
- Back, A., Berghaus, S. & Kaltenrieder, B. (2017). Digital Maturity & Transformation Report 2017 (Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen und Crosswalk AG, Hrsg.). St. Gallen: Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen und Crosswalk AG.
- Becker, J., Knackstedt, R., Pöppelbuß, J. (2009): Developing Maturity Models for IT Management – A Procedure Model and its Application
- Berghaus, S., Back A. (2016): Gestaltungsbereiche der digitalen Transformation von Unternehmen: Entwicklung eines Reifegradmodells, in: Die Unternehmung, Jg. 70, Heft 2, S. 98-123. Online verfügbar unter <https://www.nomos-elibrary.de/10.5771/0042-059X-2016-2-98.pdf> [Letzter Abruf 07.06.2022].
- Büchel, J. et al. (2020): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland – Methodik des Digitalisierungsindex 2020. Verfügbar unter <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download-methodik-des-digitalisierungsindex.pdf? blob=publicationFile&v=8> [Letzter Zugriff 05.10.2022].
- Büchel, J. et al. (2021): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland – Digitalisierungsindex 2020. Online verfügbar unter <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download-Langfassung-digitalisierungsindex-2020.pdf? blob=publication-File&v=5> [Letzter Zugriff 09.06.2022].
- De Massis, A. et al. (2017): Innovation with Limited Resources: Management Lessons from the German Mittelstand. Journal of Product Innovation Management, 35(1), p. 125–146. Online verfügbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jpim.12373> [Letzter Abruf 08.06.2022].
- Demary, V. et al. (2016): Digitalisierung und Mittelstand: Eine Metaanalyse, online verfügbar <https://www.iwkoeln.de/studien/vera-demary-barbara-engels-klaus-heiner-roehl-christian-rusche-digitalisierung-und-mittelstand.html> [Letzter Abruf 13.06.2022].
- Die Bundesregierung (2022): Digitalstrategie – Gemeinsam digitale Werte schöpfen, online verfügbar https://digitalstrategie-deutschland.de/sta-tic/1a7bee26afd1570d3f0e5950b215abac/220830_Digitalstrategie_fin-barriere-frei.pdf [Letzter Abruf 15.09.2022]
- Kruger, J., Dunning, D. (2002): Unskilled and Unaware - But why? A Reply to Krueger and Mueller. Journal of Personality and Social Psychology, 82(2), S. 189-192.

Egeli, M. (2016): Erfolgsfaktoren von Mobile Business: Ein Reifegradmodell zur digitalen Transformation von Unternehmen durch mobile IT, Wiesbaden.

Gangl, K. , Sonntag, A. (2020) Digitale Kompetenzen in österreichischen KMUs, online verfügbar https://www.researchgate.net/publication/341932100_Gangl_K_Sonntag_A_2020_Digitale_Kompetenzen_in_osterreichischen_KMUs_Digital_Competences_in_Austrian_SMEs_Project_report_for_the_Federal_Ministry_Republic_of_Austria_on_Digital_and_Economic_Affairs [Letzter Abruf 20.06.2022].

Hölzle, K. et al. (2020): Digitalcheck Mittelstand: Reifegradmessung von KMU in der Dimension Strategie, online verfügbar unter https://digitalzentrum.berlin/wp-content/uploads/2021/10/202009114_Studie_RGM_FINAL.pdf [Letzter Abruf 30.06.2022].

Hölzle, K., Gerhard, F., Petzolt, S. (2019): Reifegradmessung zur digitalen Transformation von KMU, online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/334161594_Reifegradmessung_zur_digitalen_Transformation_von_KMU [Letzter Abruf 07.06.2022].

<http://www.tfidf.com/> [Letzter Abruf 8.4.2022]

<https://blog.hwr-berlin.de/elerner/word-clouds-wie-sinnvoll-sind-wortwolken/> [Letzter Abruf 30.05.2022].

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/731859/umfrage/unternehmen-in-deutschland-nach-unternehmensgroesse/> [Letzter Abruf 08.06.2022].

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/731913/umfrage/verteilung-des-umsatzes-der-unternehmen-in-deutschland-nach-unternehmensgroesse/> [Letzter Abruf 08.06.2022].

<https://github.com/wartaal/HanTa> [Letzter Abruf 18.05.2022].

<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/digital-jetzt.html> [Letzter Abruf 30.06.2022].

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung> [Letzter Abruf 30.06.2022].

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/die-digitalstrategie-der-bundesregierung-1549554> [Letzter Abruf 13.06.2022].

<https://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Indikatorentool/indikatorentool.html> [Letzter Abruf 20.06.2022].

https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/IKT-in-Unternehmen-IKT-Branche_inhalt.html [Letzter Abruf 20.06.2022].

<https://www.dihk.de/resource/blob/35426/1350b2a6e99cf4f2aab4d8dce4333d6f/anhang-digitalisierungsumfrage-21-data.pdf> [Letzter Abruf 06.07.2022].

<https://www.ibm.com/cloud/blog/supervised-vs-unsupervised-learning> [Letzter Abruf 17.05.2022].

- <https://www.ibm.com/cloud/learn/unsupervised-learning> [Letzter Abruf 17.05.2022].
- <https://www.ims.uni-stuttgart.de/forschung/ressourcen/korpora/tiger/>
- <https://www.mittelstand-digital.de/MD/Navigation/DE/Home/home.html> [Letzter Abruf 30.06.2022].
- https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DESerie_mods_00001026 [Letzter Abruf 13.06.2022])
- <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=3&levelid=1656497222936&levelid=1656497142828&step=2#abreadcrumb> [Letzter Abruf 29.06.2022]
- <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=52911&option=table&info=off#abreadcrumb> [Letzter Abruf 13.06.2022].
- IfM Bonn (2016): KMU-Definition des IfM Bonn. Online verfügbar unter <https://www.ifm-bonn.org/definitionen/-kmu-definition-des-ifm-bonn> [Letzter Abruf 08.06.2022].
- Jain, A. K. (2010), Data clustering: 50 years beyond K-means, online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167865509002323> [Letzter Abruf 30.05.2022].
- Jording, T. (2018): Entwicklung und Konzeption eines Reifegradmodells des Supply Chain Managements - Der Supply Chain Management Maturity Cube (SCMMC), in: Logistik und Supply Chain Management, Band 18. Bamberg.
- Jüngst, J. (2016): Reifegradmodell zur digitalen Kundeninteraktion im Internet. Stuttgart.
- Knackstedt, R., Pöppelbuß, J., Becker, J. (2009): Vorgehensmodell zur Entwicklung von Reifegradmodellen, online verfügbar https://www.researchgate.net/publication/221201114_Vorgehensmodell_zur_Entwicklung_von_Reifegradmodellen [Letzter Abruf 14.06.2022].
- Lahrman, G.; Marx, F.; Mettler, T.; Winter, R.; Wortmann, F. (2011): Inductive Design of Maturity Models: Applying the Rasch Algorithm for Design Science Research, in: In: Jain, H.; Sinha, A. P.; Vitharana, P. (Hrsg.): Service-Oriented Perspectives in Design Science Research. 6th International Conference, Milwaukee, USA, S. 176–191.
- Lindner, D., Leyh, C. (2019): Digitalisierung von KMU – Fragestellungen, Handlungsempfehlungen sowie Implikationen für IT-Organisation und IT-Servicemanagement, HMD 56, S. 402–418. <https://doi.org/10.1365/s40702-019-00502-z>.
- Neligan, A. et al. (2021): Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz im Unternehmen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie – Hauptbericht, online verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/adriana-neligan-digitalisierung-als-enabler-fuer-ressourceneffizienz-in-unternehmen.html>, [Letzter Abruf 09.06.2022].
- O.V. (2016): Mittelstand im Wandel – Wie ein Unternehmen seinen digitalen Reifegrad ermitteln kann, Leitfaden Mittelstand 4.0 Agentur Kommunikation, online

Verfügbar unter http://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf [Letzter Abruf 07.06.2022].

Papen, M.-C., Lundborg, M., Tenbrock, S. (2021): 360-Grad-Überblick über den Digitalisierungsstand in KMU, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 480, Bad Honnef, online verfügbar https://www.wik.org/uploads/media/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_480.pdf [Letzter Abruf 09.06.2022].

Ramos, J. (2003), Using TF-IDF to Determine Word Relevance in Document Queries

Rossmann, A. (2016): Digitale Reifegradmodelle: Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung, online verfügbar https://www.researchgate.net/publication/334509326_Digitale_Reifegradmodelle_theoretische_Grundlagen_und_praktische_Anwendung [Letzter Abruf 14.06.2022].

Rousseeuw, P. J. (1987), Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis.

Schmitt, F. (2021): Die Innovationsleistung im Verhältnis zum digitalen Reifegrad eines KMU – eine Analyse, online verfügbar https://www.researchgate.net/publication/357555827_Die_Innovationsleistung_im_Verhaeltnis_zum_digitalen_Reifegrad_eines_KMU_-_eine_Analyse [Letzter Abruf 14.06.2022].

Tibshirani, P. et al. (2001), Estimating the number of cluster in a data set via the gap statistic

Wartena, C. (2010): A Probabilistic Morphology Model for German Lemmatization.

Welter, F. et al. (2015): Mittelstand zwischen Fakten und Gefühl, IfM-Materialien, No. 234, Institut für Mittelstandsforschung (IfM) Bonn, Bonn.

Zimmermann, V. (2022a): Vielfältige Hemmnisse bremsen die Digitalisierung im Mittelstand, KfW Research, Nr.380, 29. April 2022, Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Zimmermann, V. (2022b): Mittelständische Unternehmen mit Digitalisierungsstrategie gehen die Digitalisierung aktiver an, KfW Research, Nr. 387, 9. Juni 2022, Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

11 Anhang

11.1 Wichtige Charakteristika der KMU

Typisch für KMU ist die Einheit von Eigentum und Leitung. Durch sie ist der Erfolg des Unternehmens sehr eng mit der Haftung und Vermögenssituation der Führung verbunden. Es kann erwartet werden, dass dies einen besonderen Anreiz für den Unternehmenserfolg darstellt, aber auch gefürchtet werden, dass gegebenenfalls sehr viel vorsichtiger agiert wird, als dieses in einem Unternehmen mit einer anderen Geschäftsführungskonstellation der Fall gewesen wäre.⁶⁹ Die Eigentümer sind somit selbst für die digitale Transformation verantwortlich. Dies gilt insbesondere bei kleinen Unternehmen mit wenigen Mitarbeitenden, die in der Regel über keine gesonderten Experten verfügen, die diese Thematik vorantreiben. Das bedeutet auch, dass sich die Eigentümer über Potenziale durch Digitalisierung im eigenen Unternehmen bewusst sein müssen und für die Transformation verantwortlich sind; neben den sonstigen Aufgaben, die bei der Unternehmensleitung anfallen.

KMU haben eine Tendenz zu nachhaltigem Wachstum verbunden mit einer oft sehr hohen Expertise in Nischenmärkten. Dort agieren sie sehr erfolgreich und verfügen oft über einen engen Kontakt zum Kunden. Die hohe Expertise geht mit einer langfristigen Mitarbeiterbindung einher. Die Mitarbeitenden fungieren oft als alleinige Wissensträger, ihr Abgang ist stets mit einem immensen Kapitalverlust verbunden.⁷⁰ Die enge Beziehung zu den Mitarbeitenden und deren Pflege, nicht zuletzt durch Aus- und Weiterbildung, prägt die Unternehmenskultur in KMU ganz wesentlich.⁷¹ Dies bedeutet auch, dass die digitale Transformation ganz besonders von den Mitarbeitenden abhängig ist. Nur in enger Zusammenarbeit mit den (spezialisierten) Mitarbeitenden kann der Transformationsprozess gelingen. Eine Aufgabe, die es neben den üblichen Tätigkeitsschwerpunkten integrativ zu bewerkstelligen gilt.

KMU agieren am Markt oft sehr flexibel und können sich an Marktveränderungen schnell anpassen. Hauptgründe dafür sind insbesondere kurze Entscheidungswege mit flachen Hierarchien, eine geringere Größe und häufig eine geringere Komplexität der Prozesse.⁷² Im Vergleich zu Großunternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten ist die Finanzkraft von KMU in der Regel geringer. Investitionen werden daher meist so getätigt, dass mit einem kurzfristigen Wirkeintritt zu rechnen ist und Ausgaben mit einer höheren Unsicherheit zurückgestellt werden. Genauso verhält es sich dann mit Investitionen in Digitalisierungsmaßnahmen. Hier wird weitaus weniger langfristig und strategisch gedacht.⁷³

⁶⁹ Vgl. Welter, F. et al. (2015), Hölzle, K., Gerhard, F., Petzolt, S. (2019).

⁷⁰ Vgl. Ebenda sowie Lindner, D. (2019).

⁷¹ Vgl. De Massis, A. et al. (2017).

⁷² Vgl. Lindner, D., Leyh, C. (2019).

⁷³ Vgl. Hölzle, K., Gerhard, F., Petzolt, S. (2019), Lindner, D. (2019).

11.2 Aufbereitung der Reifegradmodelle im Steckbriefformat

Die Darstellung der ausgewählten 19 Reifegradmodelle im Steckbriefformat hat den Vorteil, dass die Modelle identisch aufbereitet werden und Unterschiede sehr schnell ersichtlich werden. Die Steckbriefe enthalten neben der Modellbezeichnung, dem Veröffentlichungsjahr und weiteren Informationen in Form von Verlinkungen, Aussagen zur Modellstruktur, zur Operativen Umsetzung sowie zum Output, d.h. der Auswertung bzw. den Ergebnissen

Die Modelle werden beschrieben, indem festgehalten wird, wie die notwendigen Daten erhoben werden; in den vorliegenden Fällen – mit einer Ausnahme – durchweg als Online-Selbstbewertung mit einer bestimmten Anzahl von Fragen. Die Zahl der Fragen reicht von 10 bis hin zu 93. In Summe enthalten alle von uns in den Steckbriefen aufbereiteten Reifegradchecks (Shortlist) 819 Fragen. Des Weiteren sind, soweit ausgewiesen, die Dimensionen aufgeführt. Lediglich zwei Modelle benennen keine Dimensionen. Die Zielgruppe umfasst insbesondere KMU, in einigen Fällen jedoch auch Großunternehmen, d.h. nicht alle Modelle richten sich ausschließlich an KMU. Ebenso ist vermerkt, ob die Modelle branchenspezifisch oder branchenübergreifend ausgelegt sind. Im Zuge der operativen Umsetzung wird aufgezeigt, wie Digitalisierung in ihren Dimensionen und mit ihren Indikatoren jeweils messbar gemacht wird. Dazu zählen Ausprägungen von Indikatoren und Auswahlmöglichkeiten sowie noch einmal die Frage nach der Umsetzung der Datenerhebung.

Im Absatz zum Output wird, soweit die Modelle dieses auch selbst benennen, die Anzahl der Reifegrade ausgeführt und wie diese bestimmt werden. Dazu zählt auch die Frage, ob ein Gesamtindex gebildet wird, wie dazu die einzelnen Dimensionen gewichtet werden und ob diese auch einzeln ausgewiesen werden. Darüber hinaus wird die Information gegeben, ob eine Relativierung, bzw. ein Benchmarking des individuellen Reifegrades gegeben wird. Die Frage, wozu sich die Ergebnisse eignen, z. B. Standortbestimmung, Wirkungsanalyse etc., wird ebenfalls, soweit dazu eine Einschätzung möglich ist, beantwortet. Ebenso weisen die Steckbriefe aus, ob abhängig vom jeweiligen Reifegrad, Handlungsempfehlungen oder auch weitere Beratungsoptionen angeboten werden.

Nr. 1: Analysetool Digitaler Reifegrad, Minosphere & Hochschule Neu-Ulm
Jahr: 2017
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Online-Selbstbewertung anhand von 10 Fragen • Zielgruppe: kleine, mittlere und große Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: Erfassung aktueller Stand der digitalen Reife und geplante digitale Reife in drei Jahren • Bewertungsdimensionen: keine
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Fünf-stufigen Likert-Skala
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: Reifegrad heute und in drei Jahren auf Skala von 1 bis 5 • Berechnung des Reifegrades: arithmetisches Mittel aller Antworten • Eignung für Standortbestimmung sowie Soll-Ist-Vergleiche; Lieferung von generischen Handlungsempfehlungen • Prozentualer Vergleich, wie viel Prozent des eigens gesetzten Ziels erreicht wurden • Benchmark mit allen anderen Unternehmen, die die das Tool genutzt haben, für den heutigen Reifegrad sowie den geplanten Reifegrad in drei Jahren auf Skala von 1 bis 5 (2022: ~ 2.000 Unternehmen)
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: http://reifegradanalyse.hs-neu-ulm.de/questions.php
<p>Wortwolke: Analysetool Digitaler Reifegrad</p> 

Nr. 4: Digital Readiness Self-Check, Spot Consulting
Jahr: 2020
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Selbstbewertung in fünf Dimensionen anhand von 22 Fragen • Zielgruppe: kleine, mittlere und große Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: keine klare Abgrenzung bei der Einteilung in die unterschiedlichen Dimensionen • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Strategie ○ Organisation ○ Produkte und Dienstleistungen ○ Kundeninteraktion ○ Technologie und Infrastruktur
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Vier-stufigen Likert-Skala
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: Reifegrade und Einteilung unklar • Berechnung des Reifegrades: Genaue Punktevergabe unklar • Kein Vergleich mit anderen Unternehmen • personalisierte Handlungsempfehlung (auf Anfrage)
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: https://www.spotconsulting.de/digital-readiness/
<p>Wortwolke: Digital Readiness Self-Check</p> 

<p>Nr. 7: Digitalisierungs Checkup, Mittelstand-Digital Zentrum Magdeburg (ehemals Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Magdeburg)</p>
<p>Jahr: 2022</p>
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Selbstbewertung in sechs Dimensionen anhand von 37 Fragen + 5 allgemeinen Angaben zum Unternehmen • Zielgruppe: kleine und mittlere Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: 37 weitere Fragen zur Einschätzung der Relevanz vor jeder eigentlichen Frage • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Organisation ○ Strategie ○ Mobilität ○ Kultur ○ Kundenbeziehungen ○ IT und Automation
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Sechs-stufigen Likert-Skala
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: kein finaler Indexwert; Reifegrad, Relevanzeinschätzung und Gegenüberstellung von Digitalisierungsgrad und Relevanzeinschätzung werden für alle sechs Dimensionen und Fragen separat angegeben • Einstufung des Reifegrades, Relevanzeinschätzung und Gegenüberstellung von Digitalisierungsgrad und Relevanzeinschätzung je Dimension und Frage in 6 Stufen • Berechnung des Reifegrades: Genaue Punktevergabe unklar • Allgemeine Handlungsempfehlungen, nicht basierend auf Ergebnissen, in einem individuellen Abschlussreport • Benchmarking mit anderen Unternehmen für Reifegrad, Relevanzeinschätzung und Gegenüberstellung von Digitalisierungsgrad und Relevanzeinschätzung, Benchmark mit Ergebnissen aller anderen teilnehmenden Unternehmen
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: https://checkup.vernetzt-wachsen.de/
<p>Wortwolke: Digitalisierungs Checkup</p> 

<p>Nr. 13: Modell der Digitalen Reife, BSP Business School Berlin GmbH / Mittelstand 4.0 Agentur Kommunikation</p>
<p>Jahr: 2016</p>
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Selbstbewertung in sechs Dimensionen anhand von 18 Fragen • Zielgruppe: primär kleine und mittlere Unternehmen, aber auch große Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: Keine • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mitarbeiter ○ Kultur ○ Technologie ○ Kundenbeziehung ○ Leadership ○ Strategie
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung anhand einer Checkliste • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Fünf-stufigen Likert-Skala (0 = trifft überhaupt nicht zu; 4 = trifft voll und ganz zu)
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: Einstufung in vier Stufen je nach Gesamtpunktzahl (Digitaler Anfänger, Digitaler Intermediär, Digitaler Fortgeschrittener, Digitaler Experte) • Berechnung des Reifegrades: Addition aller Punkte aus den Antworten ergibt eine Gesamtpunktzahl • Vergleich mit anderen Unternehmen möglich; Ergebnisse der Quartalsumfrage des Verbandes „Die Familienunternehmer“ vom Juli 2016 • Eignung für Standortbestimmung; Keine aktiven Handlungsempfehlungen jedoch allgemeine Handlungsempfehlungen für KMU
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf
<p style="text-align: center;">Wortwolke: Mittelstand im Wandel</p> 

<p>Nr. 14: Online Selbsteinschätzung, Mittelstand-Digital Zentrum Saarbrücken (ehemals Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Saarbrücken)</p>
<p>Jahr: 2022</p>
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Selbstbewertung in vier Dimensionen anhand von 12 Fragen + 7 allgemeinen Angaben zum Unternehmen • Zielgruppe: kleine und mittlere Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Digitalisierungsstrategie ○ Organisation ○ Technik ○ Mitarbeiter und Innovationsaffinität
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Fünf-stufigen Likert-Skala (+ „keine Angabe“)
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: kein finaler Indexwert, Reifegrad wird für alle vier Dimensionen separat angegeben • Einstufung des Reifegrades in 3 Stufen (Anfänger, Fortgeschrittener, Erfahren) • Berechnung des Reifegrades: Genaue Punktevergabe unklar • Keine visuelle Darstellung, sondern nur textbasiert • Kein Vergleich mit anderen Unternehmen • Handlungsempfehlungen basierend auf den Ergebnissen
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: https://survey.lamapoll.de/Readiness_Check/
<p>Wortwolke: online Selbsteinschätzung</p> 

Nr. 18: Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse, Bitkom e.V.
Jahr: 2020
<p>Modellstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modellcharakter: Selbstbewertung in vier Dimensionen anhand von 12 Fragen • Zielgruppe: Kleine, mittlere und große Unternehmen, branchenübergreifend • Besonderheiten: • Bewertungsdimensionen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Daten: Datenerhebung, Datenbereitstellung, Datenverwendung ○ Qualität: Sicherheit, Ausführung, Prozessbeschreibung ○ Organisation: Change Management, Qualifikation, Digitalisierungs-Strategie ○ Technologie: Technologiebasis, Tools im Prozess, Systemintegration
<p>Operative Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Online-Selbstbewertung anhand einer Checkliste für einzelne Geschäftsprozesse • Messung der Reifegradindikatoren auf einer Fünf-stufigen Likert-Skala (nicht digital; überwiegend nicht digital; teilweise digital; überwiegend digital; vollständig digital.) • Programmgestützte Umsetzung über Excel
<p>Auswertung/Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Output: Einstufung in fünf Stufen („vollständig digital“ bis „nicht digital“) • Kein finaler Indexwert, Ergebnis wird für alle 12 Subdimensionen (Kriterien) separat ausgegeben • Berechnung des Reifegrades: arithmetisches Mittel der Indikatoren für jede Subdimension • Visualisierung: Spinnennetzdiagramm, Standortbestimmung • Kein Vergleich mit anderen Unternehmen (ausgenommen drei Anwendungsfälle) • Eignung für Wirkungsanalysen sowie Soll-Ist-Vergleiche; Keine aktiven Handlungsempfehlungen jedoch Diskussionsmöglichkeit und drei Anwendungsfälle anderer Unternehmen
<p>Weiterführende Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlinkung: <ul style="list-style-type: none"> ○ https://www.bitkom.org/sites/main/files/2020-04/200406_if_reifegradmodell_digitale-geschäftsprozesse_final.pdf
<p>Wortwolke: Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse</p> 

11.3 Konfigurationen der programmgestützten Analyse

Für die Durchführung von KMeans++ wurde Python mit dem Bibliothek SKlearn verwendet.

Die maximale Anzahl an Iterationen für einen Durchlauf wurde auf 300 gesetzt. Die Startwerte der Clustermittelpunkte werden mit 10 unterschiedlichen Zufallswerten berechnet, wobei der beste Wert in Bezug auf die geringste Summe der quadratischen Abweichung gewählt wird. Dies entspricht der Standardeinstellung der Funktion.

Die folgenden Stopwörter in der deutschen Sprache aus der Bibliothek NLTK wurden genutzt:

['aber', 'alle', 'allem', 'allen', 'aller', 'alles', 'als', 'also', 'am', 'an', 'ander', 'andere', 'anderem', 'anderen', 'a', 'bin', 'bis', 'bist', 'da', 'damit', 'dann', 'der', 'den', 'des', 'dem', 'die', 'das', 'dass', 'daß', 'derselbe', 'derselb', 'dein', 'deine', 'deinem', 'deinen', 'deiner', 'deines', 'denn', 'derer', 'dessen', 'dich', 'dir', 'du', 'dies', 'diese', 'einen', 'einer', 'eines', 'einig', 'einige', 'einigem', 'einigen', 'einiger', 'einiges', 'einmal', 'er', 'ihn', 'ihm', 'e', 'wir', 'wird', 'wihaben', 'hat', 'hatte', 'hatten', 'hier', 'hin', 'hinter', 'ich', 'mich', 'mir', 'ihr', 'ihre', 'ihrem', 'rst', 'wo', 'wollen', 'wollte', 'würde', 'würden', 'zu', 'zum', 'zur', 'zwar', 'zwischen']

Folgende Stopwörter wurden zusätzlich in dem Preprocessing-Schritt angewendet (Kapitel 4.1.10):

['sowohl', 'klare', 'bringen', 'klar', 'aktiv', 'setzen', 'unsere', 'unserer', 'hohe', 'hoher', 'wir', 'als', 'voran', 'zb', 'unternehmen', 'ziele', 'stellt', 'sehe', 'schaffen', 'große', 'treibe', 'schnell', 'neuen', 'versuche', 'ziele', 'fördern', 'externe', 'digital', 'digitale', 'fördern', 'normalen', 'langfristig', 'nutzen', 'digitalisierung', 'zb', 'z', 'b', 'erkennt', 'vollem', 'treibt', 'etc', 'treiben', 'informationstechnologie', 'digitalen', 'digitale', 'offen', 'trotz', 'verfügt', 'neue', 'neuer', 'daran', 'einzelne', 'neu', ' ', '-', '«', '»', 'bitte', 'ab', 'geben', 'inhalt', '0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', ',', '[', ']', '[]', 'hoch', 'hoch', 'mittel', 'gering', 'gering', 'persönlich', 'angabe', 'persönlich', 'datum', 'zusendung', 'auswertungsergebnisses', 'vorname', 'nachname', 'funktion', 'geschäftlich', 'email', 'firma', 'persönlich', 'angabe', 'ja', 'nein', 'folgend', 'frage', 'treffen', 'treffen', 'vollständig', 'pp', 'nn', 'ne', 'janein', 'adja', 'vvfin', 'adjd', 'eg', 'jahr', 'allgemein', 'bzw', 'aktuell', 'eindeutig', 'nächster', 'unterstützen', 'relevanz', 'nutzung', 'system', 'möglich', 'zentral', 'digitization', 'schwer', 'tag', 'montag', 'inwiefern', 'rahmen', 'bezug', 'normal', 'thema', 'anteil', 'beispiel', 'bestandteil', 'wesentlich', 'groß', 'medium', 'ausmaß', 'monat', 'stark', 'auswertung', 'basis', 'erfolg', 'einzeln', 'fehlend', 'wichtig', 'eigen', 'letzter', 'grundlage', 'stehen', 'gebiet', 'vorgeschlagen', 'information', 'völlig', 'relevant', 'bzgl', 'reifegrad', 'digitalisierungsgrad', 'name', 'usw', 'pzn', 'upik', 'bi', 'freitext', 'gm']

11.4 Cluster-Schaubild als 2D-Darstellung

Da die Analyseergebnisse eine Matrix mit 819 Zeilen und 13 Spalten sind, müssen Vorkehrungen für eine Visualisierung aller Cluster vorgenommen werden. Die Zeilen stehen hier für jede Frage aus den unterschiedlichen Reifegradmodellen und die Spalten stellen die Wörter und Wortpaare dar. Diese 13 Spalten sind erheblich kleiner als die 5.174 verwendeten Wörter im Text. Grund dafür sind zum einen die Bereinigung der Fragen durch die Stopwörter, zum anderen wurde eine obere und untere Grenze bei der Transformation der Wörter in Vektoren mit dem tf-idf Vectorizer verwendet. Dieser Filter entfernt besonders hochfrequente Wörter, welche durch die Stopwörter nicht gefiltert wurden, und besonders niedrigfrequente Wörter, welche beispielsweise nur einmal vorkommen, aus der Analyse.

Um die Einträge in der Matrix als neun Cluster in einem Schaubild darstellen zu können, muss die Anzahl der Dimension auf zwei reduziert werden. Die Werte können dann entsprechend der x-Achse und y-Achse abgetragen werden (vgl. Abbildung 22). Hier wird die Hauptkomponentenanalyse implementiert. Sie stellt ein Teilgebiet des Unsupervised Learning im Bereich der Dimensionsreduktion dar. Die 13 Spalten bzw. Vektoren werden in dieser Methode zu den 13 Hauptkomponenten transformiert, welche unabhängig voneinander sind. Der Varianzanteil, der von den Komponenten erklärt wird, ist abnehmend, somit enthält die erste Hauptkomponente die meiste Variation der Analyseergebnisse. Konkret bedeutet dies, dass 31,7 Prozent der Varianz der Analyseergebnisse durch die ersten zwei Komponenten erklärt wird. Im nachfolgenden Streudiagramm finden sich die Analyseergebnisse komprimiert in den zwei genannten Dimensionen. Es bietet eine gute Möglichkeit, um die Gruppierungen visuell darzustellen und gegenüberzustellen und eine erste Intuition zu erhalten. Bei der Interpretation der konkreten Datenpunkte ist jedoch Vorsicht geboten und auch die Restvarianz in diesem Schaubild kann gegebenenfalls bei einer so starken Dimensionsreduktion nicht unerheblich sein.

11.6 Auflistung, beispielhaft für die Studie untersuchter Modelle

Tabelle 5: Auflistung, beispielhaft für die Studie untersuchter Modelle

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	Schumacher et al. (2016)	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909
DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY model)	Carolis et al. (2017)	https://www.researchgate.net/publication/319377653_A_Maturity_Model_for_Assessing_the_Digital_Readiness_of_Manufacturing_Companies
Entwicklung eines Reifegradmodells zur Bewertung des Digitalisierungsgrades von Geschäftsprozessen	Große-Schwiep et al. (2020)	https://www.researchgate.net/publication/343181812_Entwicklung_eines_Reifegradmodells_zur_Bewertung_des_Digitalisierungsgrades_von_Geschäftsprozessen
Industrie 4.0-Reife	FH Joanneum	http://bizepaper.fh-joanneum.at/Whitepaper_I4.0_V2.0.pdf
IWI/P-IC-Modell - Metrik zur Erfassung des Digitalisierungsgrades in produzierenden Unternehmen	Industriewissenschaftliches Institut – IWI	https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:a0700612-6a83-40ee-a943-e0e0193a5c97/BMK%20Metrik%20zur%20Erfassung%20des%20Digitalisierungsgrades%20in%20produzierenden%20Unternehmen%20-%20Finaler%20Endbericht_bf.pdf

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
Reifegradmodell Industrie 4.0	Jodelbauer und Schagerl (2016)	https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/1035;jsessionid=F2A5C18E0A47AE77C2FB867D1CB8767D
Digital Maturity Check	Universität St. Gallen	https://iwi.unisg.ch/lehrstuhl-back-dienstleistungen/#marktstudien http://www.digital-maturity-check.ch/
Digitale Transformation von KMUs in Österreich 2019 - Erfassung des Digitalisierungsindex	WKÖ/Arthur D Little	https://www.wko.at/branchen/information-consulting/unternehmensberatung-buchhaltung-informations-technologie/kmu-digitalisierungsstudie-2019.pdf
Digitalisierungsindex Mittelstand	Techconsult/Telekom	https://www.digital-x.eu/de/magazin/digitalisierungsindex
Industrie 4.0 Maturity Index	acatech	https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/
Industrie 4.0-Readiness	Impuls Stiftung des VDMA/IW-Consult/fir RWTH Aachen	https://www.industrie40-readiness.de/
Quick-Check Fraunhofer Austria Industrie 4.0 Reifegradmodell	Fraunhofer Austria	https://app.umfrageonline.com/s/Industry40_Assessment
Studie Digitalisierungsindex bei KMU in NRW	FHM – Fachhochschule des Mittelstands	https://www.fh-mittelstand.de/fileadmin/pdf/Projekte/FHM_Digitalisierungsindex_NRW_Digital.pdf

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
DigiCheck	Cosmo Consult	https://de.cosmoconsult.com/service/digitalisierungscheck/
Digital Readiness Assessment, 2bahead Digitalisierung und Automatisierung im Unternehmen	ABSC	https://www.zukunft.business/foresight/trendanalysen/analyse/das-digital-readiness-assessment-von-2b-ahead-und-kpmg/
Digital Readiness Self-Check	Spot Consulting	https://www.surveymonkey.de/r/HJCCHPQ
Digitale Reifegradanalyse	Digitalfex	http://survey.digitalfex.com/index.php/871611?lang=de
digitalization readiness check	abas	https://static.abas-erp.com/de/digitalisierung-test.html
EY's Digital Readiness Assessment	EY	https://digitalreadiness.ey.com/
FP Office Index Benchmarktool	Francotyp-Postalia Holding AG	https://www.fp-francotyp.com/fpbenchmark
Industrie 4.0 Reifegradtest	connected production	https://www.connected-production.de/industrie-4-0-reifegrad-test/#:~:text=Connected%20Production%20pr%C3%A4sentiert%20Ihnen%20den,Ihres%20Unternehmens%20einordnen%20zu%20k%C3%B6nnen.
Industry 4.0 Assessment	Reply	https://www.reply.com/de/topics/industrie-4-0/#:~:text=Industrie%204.0%20ist%20die%2

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
		0Antwort,Produkten%20in%20einer%20Smart%20Factory.
Industry 4.0 Self-Assessment	TÜV Süd	https://www.tuvsud.com/en/i40-readiness-self-assessment
Industry 4.0 Quick Check	Festo	https://ip.festo-didactic.com/I4.0QuickCheck/
Limendo Unternehmensberatung Digitalisierungsindex	Limendo Consulting	https://limendo.com/digitalisierungs-index/
MFC Digital Readiness Self Assessment tool	Microfinance Centre	https://mfc.org.pl/digital-readiness-self-assessment-tool-drsat/
Online Self-Check	Iskander Business Partner Swiss	https://i-b-partner.ch/online-self-check/
Onlinetest	Selfbits	https://selfbits.de/en/digitization-assessment/
Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse	bitkom	https://www.bitkom.org/Themen/Technologien-Software/Digital-Office/Reifegradmodell-Digitale-Geschaeftsprozesse.html
SELF4.0	punto impresso digitale	
Analysetool Digitaler Reifegrad	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Neu-Ulm / Minnosphere	http://reifegradanalyse.hs-neu-ulm.de/
Das Digitale Reifegradmodell m2	Hochschule Hof und Media Solutions GmbH	https://www.kompetenzzentrum-digitale-verwaltung.de/reifegradmodell.html

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
Digitalcheck Mittelstand	Hasso Plattner Institut / Mittelstand-Digital Zentrum Berlin	https://digitalzentrum.berlin/digitalcheck-mittelstand
Digitaler Reifegradtest	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Bremen	https://kompetenzzentrum-bremen.digital/digitaler-reifegradtest/
Digitalisierungscheck des Kompetenzzentrums Digitales Handwerk	Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk, Handwerksinstitut Göttingen	https://bedarfsanalyse-handwerk.de/
Digitalisierungs-CheckUp	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Magdeburg	https://www.vernetzt-wachsen.de/themen/digitalisierungs-checkup/
Mittelstand Self-Assessment-Tool	eStep	https://projekte.fir.de/estep/projekt/self-assessment-tool
Modell der digitalen Reife	BSP Business School Berlin GmbH / Mittelstand 4.0 Agentur Kommunikation	https://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden-Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf
Online Digital Maturity Assessment Tool	Kärntner Betriebsansiedlungs- und Beteiligungsgesellschaft	https://www.smartindustry-carinthia.at/
Online Selbsteinschätzung	Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Saarbrücken	https://kompetenzzentrum-saarbruecken.digital/ihr-einstieg/
Projekt KMU 4.0 (Interreg Bayern-Österreich 2014-2020)	Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH	https://www.kmu40.eu/
Readiness-Check 4.0	My CPS	https://mycpstoolbox.de/readiness/
Readiness-Check Industrie 4.0	Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern	https://digitalzentrum-kaiserslautern.de/unser-angebot/self-service/readiness-check

Modell	Autor / Herausgeber	Link [zuletzt abgerufen am 06.07.2022]
Selbstcheck	Mittelstand-Digital Zentrum Chemnitz	https://digitalzentrum-chemnitz.de/werkzeuge/selbstchecks/selbst-check-digitalisierung/

- Nr. 467: Serpil Taş, Lukas Wiewiorra (in Zusammenarbeit mit dem Weizenbaum-Institut):
Multihoming bei Plattformdiensten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Dezember 2020
- Nr. 468: Menessa Ricarda Braun, Julian Knips, Christian Wernick:
Die Angebotsentwicklung auf dem deutschen Mobilfunkmarkt 2017-2020, Dezember 2020
- Nr. 469: Isabel Gull, Lisa Schrade-Grytsenko, Martin Lundborg:
Cloud-Lösungen und KI-as-a-Service – Aktuelle und potenzielle Anwendungsszenarien und Marktentwicklungen, Dezember 2020
- Nr. 470: Bernd Sörries, Matthias Franken, Dajan Baischew, Stefano Lucidi:
Einfluss von Versorgungsaufgaben auf die Mobilfunkabdeckung in der EU, Dezember 2020
- Nr. 471: Julian Knips, Christin Gries, Christian Wernick:
Consumer-IoT in Deutschland – Anwendungsbereiche und möglicher Regelungsbedarf, Dezember 2020
- Nr. 472: Saskja Schäfer, Ahmed Elbanna, Werner Neu, Thomas Plückerbaum:
Mögliche Einsparungspotentiale beim Ausbau von 5G durch Infrastructure Sharing, Dezember 2020
- Nr. 473: Gabriele Kulenkampff, Martin Ockenfels, Konrad Zoz, Gonzalo Zuloaga:
Kosten von Breitband-Zugangsnetzen, Clusterbildung und Investitionsbedarf unter Berücksichtigung des bestehenden Ausbaus – bottom-up Modellierung und statistische Analyse –, Dezember 2020
- Nr. 474: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Ausgestaltung und Umsetzung eines Universaldienstregimes (insbesondere mit Blick auf die Realisierung einer Versorgung mit schnellem Internet) in anderen Ländern, November 2021
- Nr. 475: Christin-Isabel Gries, Martin Lundborg, Peter Stamm:
Digitale Arbeitswelten im Mittelstand - Auswertung von Studien zu Arbeit 4.0, November 2021
- Nr. 476: Menessa Ricarda Braun, Julian Knips, Christian Wernick:
Analyse der Angebotsentwicklung für leitungsgebundene Breitbanddienste für Privatkunden im deutschen Festnetzmarkt von 2017-2020, Dezember 2021
- Nr. 477: Christian Märkel, Marcus Stronzik, Martin Simons, Matthias Wissner, Martin Lundborg:
Einsatz von Blockchain in KMU: Chancen & Hemmnisse, Dezember 2021
- Nr. 478: Matthias Wissner, Ahmed Elbanna, Bernd Sörries, Thomas Plückerbaum:
Open RAN und SDN/NFV: Perspektiven, Optionen, Restriktionen und Herausforderungen, Dezember 2021
- Nr. 479: Dajan Baischew, Ahmed Elbanna, Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Thomas Plückerbaum:
Die Grundzüge von 6G, Dezember 2021
- Nr. 480: Marie-Christin Papen, Martin Lundborg, Sebastian Tenbrock:
360-Grad-Überblick über den Digitalisierungsstand in KMU, Dezember 2021
- Nr. 481: Nico Steffen, Lukas Wiewiorra, Peter Kroon, unter Mitarbeit von Philipp Thoste:
Wettbewerb und Regulierung in der Plattform- und Datenökonomie, Dezember 2021
- Nr. 482: Dr. Cara Schwarz-Schilling, Dr. Sonia Strube Martins:
Kupfer-Glas-Migration in Frankreich und im Vereinigten Königreich, Juli 2022
- Nr. 483: Dr. Karl-Heinz Neumann; Dr. Cara Schwarz-Schilling, Dr. Sonia Strube Martins:
Übergang von Kupfer- auf Glasfasernetze: Phasen und Prozesse der Migration, November 2022
- Nr. 484: Dr. Andrea Liebe; Martin Lundborg, Pirmin Puhl, Katrin Marques Magalhaes, Mitarbeit: Philipp Thoste:
Chancen digitaler Reifegradmodell für KMU, Dezember 2022

ISSN 1865-8997