



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DISSERTATION

Ein wertstrombasiertes Bewertungsmodell für den Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad produzierender Unternehmen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dipl. Wirt.-Ing. Wilfried Sihn
E330 Institut für Managementwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Dipl.-Ing. Andreas Schumacher

Matrikelnummer: 0826694
Josefstädter Strasse 51/2/11
1080 Wien/Österreich

Wien, Juli 2020

Begutachtung der Dissertation durch:

Univ.-Prof. Thomas Bauernhansl
Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
Allmandring 35, 70569 Stuttgart

Ao.Univ.-Prof. Burkhard Kittl
Technische Universität Wien
Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien
Getreidemarkt 9/311, 1060 Wien

Kurzfassung

Die integrierte Nutzung der Digitalisierung und Automatisierung (DuA) gilt derzeit als einer der bestimmenden Faktoren zur Wohlstands- und Effizienzsteigerung in Gesellschaft und Industrie. Mit Fokus auf industrielle Produktionsunternehmen schreitet die Erhöhung des Implementierungsgrades der DuA, etwa in Form der Industrie 4.0, verglichen mit den technologischen Möglichkeiten, langsam voran. Forschungsprojekte sowie Interviews mit Industrieunternehmen über die letzten 4 Jahre und die Analyse des State of the Art zeigen, dass vor allem hohe Abstraktheit und Themenkomplexität der DuA, sowie fehlende operationalisierte Ansätze zur systematischen Bewertung und Steigerung des Unternehmens-DuA-Grades für die schleppende Umsetzung verantwortlich sind.

Ziel dieser Dissertation ist es daher, die DuA auf Ebene industrieller Unternehmen zu analysieren, zu operationalisieren und mittels einer eigens entwickelten, praktisch anwendbaren Methoden in Produktionsunternehmen messbar, bewertbar und priorisierbar zu machen. Wissen über die eigene DuA-Reife, sowie priorisierte DuA-Handlungsfelder sollen Unternehmen befähigen, Zielzustände abzuleiten, Strategien zu definieren und letztendlich konkrete Investitionen in organisatorische und technologische Entwicklungen zu tätigen.

Die Umsetzung der Dissertation folgt dem Design Science-Vorgehen, welches punktuell mit weiteren Forschungsmethoden angereichert wurde. Zur Umsetzung wurde ein integriertes Rahmenmodell der DuA aus ca. 700 Publikationen und 59 analysierten Bewertungsmodellen abgeleitet und dieses in operativ beobachtbare und quantitativ messbare DuA-Bewertungsattribute überführt. Zur Anwendung in Produktionsunternehmen wurde eine Anwendungs- und Auswertungsmethode, sowie zugehörige Softwaretools entwickelt.

Resultat ist ein Bewertungsmodell, bestehend aus 143 Bewertungsattributen in neun Dimensionen, welches die DuA-Reife von Unternehmen in 13 Reifelevel erfasst und für jedes Attribut eine Handlungsbedarf-Index zwischen 0-100 ausgibt. Die Validierung der theoretischen Entwicklungsschritte der Dissertation erfolgte über Interviews und eine Umfrage mit 24 Experten, sowie Veröffentlichung dieser in mehreren wissenschaftlichen Publikationen. Die praktische Validierung erfolgte über zwei Fallstudien in Industrieunternehmen, einer Anwenderbefragung mit deren 28 Bewertungsteilnehmern, sowie einer Querschnittsstudie über zwei Industriebranchen mit ca. 250 Unternehmen.

Die Anwendungsergebnisse und Vergleiche mit existierenden Bewertungsansätzen zeigen aus wissenschaftlicher Sicht, dass die Nutzung operativer Bewertungsattribute und die quantitative Messung der Ausprägung zu einer objektiveren Bewertung der DuA-Reife führen. Aus Anwendungssicht trägt neben guter Anwendungssystematik vor allem die Ausgabe der Handlungsbedarf-Indizes für die Bewertungsattribute, und die damit ermöglichte Priorisierung von DuA-Handlungsfeldern, zu einer effizienteren strategischen Planung der DuA-Reife bei.

Abstract

Currently, the utilization of Digitalization and Automation (DA) in integrated manners is one of the main determining factors of increasing prosperity, productivity, and efficiency in both - society and industry. With focus on industrial manufacturing companies, they seem reluctant to actively push DA-developments (e.g. through Industry 4.0-concepts) in their organizations in comparison to current technological possibilities. Research projects and interviews over the last 4 years as well as the analysis of the state-of-the-art show, that a high level of abstraction and complexity of DA-concepts, as well as missing methods and tools to assess and increase the DA-level are the main barriers towards realization.

Therefore, this dissertation aims for the analysis and operationalization of DA on the level of industrial companies, and, furthermore, for the development of a method to measure and evaluate the degree of DA in real production environments. Knowledge about the company's degree of DA and prioritized DA-action fields enables decision makers to derive DA-target states, define strategies, thus, to decide for targeted investments into organizational and technological developments.

The methodological approach of this dissertation follows the Design Science approach in combination with selected research methods. For realization, an integrated DA-concept based on around 700 publications and 59 reviewed assessment models was derived and transferred into operationally observable and quantitatively measurable maturity items. For practical application in manufacturing companies, required application methods and tools were developed.

The result is an assessment model consisting of 143 maturity items in nine dimensions that evaluates the degree of DA-maturity in 13 progressive levels and provides a development index between 0-100 for each assessed item. Theoretical validation was carried out through interviews and a survey with 24 Expert and several peer reviewed publications. For practical validation, assessments were carried out in two industrial companies including an application-feedback survey with 28 assessment participants. Moreover, on a macro-level, studies including around 250 companies were conducted over two industries.

Assessment results and comparison with existing approaches show, from a scientific point of view, that the utilization of operational maturity items and their quantitative measurement lead to more objective assessment of a company's degree of DA-implementation. Practitioners report, that the systematic approach as well as the provision of a development index clearly increases efficiency during strategic planning of DA-implementation.

Vorwort und Danksagung

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit bei der Fraunhofer Austria Research GmbH, sowie als Doktoratsstudent der Technischen Universität Wien. Eine Dissertation wie diese, im angewandten Forschungsbereich zu verfassen bedeutet, die Anforderung wissenschaftstheoretischer Fundiertheit und gleichzeitig pragmatischer Anwendbarkeit gleichermaßen erfüllen. Dies kann nur durch eigene Reflektion und Aufnahme von Feedback und Ratschläge aus dem Umfeld gelingen. Für diesen ständigen Aufruf zur Reflektion will ich mich bedanken.

Eingangs will ich meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr. Wilfried Sihn danken, welcher mich, seit meiner Zeit als sein Assistent und Bachelorstudent, ständig inhaltlich herausforderte und mich laufend ermutigte, mir neue Ziele zu setzen. Seine positive Einstellung, gegenüber neuen Ideen und gleichzeitig ehrliche Meinung, haben die Entwicklungen dieser Dissertation ursprünglich motiviert.

Weiters will ich mich bei meinem Mentor und meinem operativen Dissertationsbetreuer Dr.-techn. Andreas Jäger bedanken. Das Sprichwort „don't choose your company – choose your mentor“ trifft auf Hr. Jäger voll zu, da er es perfekt verstand mich zu motivieren und gleichzeitig zu fordern.

Mein Dank gilt auch meinem Gruppenleiter Hr. Dipl.-Ing. Thomas Edtmayr, welcher mir als Führungskraft immer großes Sicherheitsgefühl in seinem Team, als auch während meinem Dissertationsvorhaben gegeben hat.

Es gibt noch einige Personen im Team von Fraunhofer Austria, welche zu dieser Dissertation direkt oder indirekt beigetragen haben – hier will ich nur loswerden „Danke, dass ich mir Euch arbeiten darf!

Die wissenschaftliche Qualität dieser Dissertation haben die beiden Gutachter Hr. Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Burkhard Kittl (TU Wien) und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl (Universität Stuttgart) über deren Gutachten sichergestellt. Ich will Ihnen beiden herzlich danken, dass Sie sich die Zeit genommen haben meine Arbeit zu lesen und mich mit Ihrer Expertise bei diesem Abschluss unterstützt haben.

Neben dem Rückhalt der Kollegen kann solch ein Vorhaben nur mit Unterstützung und dem Zuspruch der Familie gelingen. Ich danke daher von ganzem Herzen meiner Frau Tatiana, welche mich ständig ermutigt auf dieses Ziel hin zu arbeiten, und welche mir dafür den Rücken freigehalten hat. Weiters danke ich unserem 9 Monate alten Sohn Niklas, welcher mich mit strenger Disziplin in den frühen Morgenstunden ermuntert hat aufzustehen, und mir so ruhige Stunden für die Ausarbeitung der Dissertation verschafft hat. Das familiäre wissenschaftliche Sparring und die ständige Reflektion der Vorgehensweise verdanke ich meinem Bruder Christian und unseren stundenlangen Diskussion. Letztendlich gilt mein größter Dank meinen Eltern, welche mir diesen Bildungsweg erst ermöglicht haben. Diesen widme ich diesen Abschluss und diese Dissertation!

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	MOTIVATION.....	1
1.2	PROBLEMSTELLUNG UND VALIDIERUNG.....	2
1.3	AUFBAU DER ARBEIT.....	3
2	GRUNDLAGEN UND BETRACHTUNGSBEREICH.....	6
2.1	INDUSTRIELLE WERTSCHÖPFUNG IN PRODUKTIONSUNTERNEHMEN.....	7
2.2	INDUSTRIELLE DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG.....	8
2.3	EINGRENZUNG DES UNTERSUCHUNGSBEREICHES	10
3	LITERATURRECHERCHE UND STATE OF THE ART	13
3.1	DURCHFÜHRUNG DER SYSTEMATISCHEN LITERATURRECHERCHE	14
3.2	SUCHRESULTATE UND WEITERE NUTZUNG DER LITERATUR	18
3.3	ANALYSE RELEVANTER BEWERTUNGSANSÄTZE	19
3.4	IDENTIFIKATION DER FORSCHUNGLÜCKEN	23
4	RESULTIERENDER FORSCHUNGSBEDARF, ZIELE UND NUTZEN	27
4.1	ABLEITUNG DES FORSCHUNGSBEDARFES	28
4.2	ANFORDERUNGEN AN EIN BEWERTUNGSMODELL DER DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG	28
4.3	ZIELE UND NUTZEN DER DISSERTATION	30
5	FORSCHUNGSMETHODIK	32
5.1	FORSCHUNGSFRAGEN UND HYPOTHESEN	33
5.2	ÜBERSICHT VERWENDETER FORSCHUNGSMETHODEN.....	33
5.3	VORGEHEN ZUR VALIDIERUNGEN DER FORSCHUNGSERGEBNISSE	37
6	ENTWICKLUNG DES BEWERTUNGSMODELLS.....	39
6.1	ENTWICKLUNG DER MODELLSTRUKTUR.....	40
6.2	ENTWICKLUNG DER MODELLINHALTE	43
6.3	ENTWICKLUNG DER AUSWERTUNGSLOGIK.....	57
6.4	ZUSAMMENFASSUNG BESTANDTEILE DES BEWERTUNGSMODELLS	60
6.5	VALIDIERUNG DER THEORETISCHEN ENTWICKLUNGSSCHRITTE	61
7	PRAXISANWENDUNG DES BEWERTUNGSMODELLS	67
7.1	ÜBERBLICK DURCHGEFÜHRTE MODELLANWENDUNGEN	68
7.2	ANWENDUNG IN EINZELUNTERNEHMEN „MASCHINENBAU“	68
7.3	ANWENDUNG ZUM UNTERNEHMENSVERGLEICH	86
7.4	ANWENDUNG IN EINER INDUSTRIESTUDIE	93
7.5	VALIDIERUNG DER PRAXISANWENDUNGEN	100

8	FORSCHUNGSERGEBNISSE, CONCLUSIO UND AUSBLICK	110
8.1	ERGEBNISSE IN BEZUG AUF DEFINIERTE PROBLEMSTELLUNGEN	111
8.2	BEITRAG DER DISSERTATION ZU IDENTIFIZIERTEN FORSCHUNGSLÜCKEN	112
8.3	BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN UND HYPOTHESEN	113
8.4	CONCLUSIO UND AUSBLICK	115
9	ANHANG	118
9.1	VORGEHENSMODELL ZUR DURCHFÜHRUNG DER SYSTEMATISCHEN LITERATURRECHERCHE	118
9.2	SUCHPROTOKOLLE STATE OF THE ART RECHERCHE.....	119
9.3	ÜBERSICHT RECHERCHEERGEBNISSE DUA-ONLINEBEWERTUNGSTOOLS	122
9.4	VORGEHENSMODELL ZUR ERSTELLUNG VON CONCEPT MAPS	124
9.5	VORGEHENSMODELL ZUR DURCHFÜHRUNG DES SURVEY RESEARCH.....	125
9.6	VORGEHENSMODELL ZUR DURCHFÜHRUNG DES ACTION RESEARCH.....	126
9.7	RECHERCHEERGEBNISSE WERTSCHÖPFUNGS- UND ORGANISATIONSFAKTOREN	127
9.8	ÜBERSICHT RELATIONSMODELL.....	129
9.9	LISTE DER 143 BEWERTUNGSATTRIBUTE	130
9.10	VORGEHENSMODELL ZUR MODELLANWENDUNG IN EINZELUNTERNEHMEN.....	135
10	LITERATURVERZEICHNIS	136
11	PUBLIKATIONEN DISSERTANT	145
12	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	146
13	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	147
14	TABELLENVERZEICHNIS	150
15	CIRRICULUM VITAE DISSERTANT	152

1 Einleitung

1.1 Motivation

Sowohl die mit steigender Geschwindigkeit voranschreitende Digitalisierung von Daten und Informationen, als auch die Automatisierung vormals manueller Prozesse bestimmt die Entwicklung der Gesellschaft und Wirtschaft in den letzten Jahrzehnten maßgeblich mit.^{1 2} So korreliert etwa der Digitalisierungsgrad eines Landes³ positiv mit seinem Wohlstand und der Lebenszufriedenheit der Einwohner.^{4 5} Auch auf Unternehmensebene wirkt sich die Nutzung digitaler Technologien bzw. die Automatisierung von Prozessen positiv deren Leistungsfähigkeit aus.⁶
7 8 9

Diese Dissertation knüpft an diese positiven Auswirkungen der Digitalisierung und Automatisierung (kurz: DuA) an, wobei auch entstehende Risiken und Herausforderungen dieser an späterer Stelle beleuchtet werden. Mit Fokussierung der DuA auf den industriellen Unternehmensbereich, für welchen die EU zur Wohlstandssicherung einen Zielwert von 20% an der Gesamtwertschöpfung anstrebt¹⁰, werden die Konzepte der DuA seit der Einführung des Industrie 4.0-Ansatzes in 2012 unter den Sammelkonzepten der Vierten Industriellen Revolution zusammengefasst.¹¹ Diese verfolgt drei Zielzustände:¹²

1. Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke
2. Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die Wertschöpfungskette
3. Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

Aufgrund der hohen Abstraktheit der Industrie 4.0 sind derzeit noch wenige empirische Studien zu finden, welche die positiven Auswirkungen der Industrie 4.0 auf Industrieunternehmen wissenschaftlich belegen. Dies liegt hauptsächlich an fehlenden wissenschaftlichen Ansätzen zur objektiven Messung der Industrie 4.0-Umsetzung¹³ und zum anderen an der langsameren Umsetzung der Industrie 4.0, als erwartet.^{14 15 16}

Experteninterviews der letzten 4 Jahren führen zur Conclusio, dass der Abstraktionslevel von Industrie 4.0-Konzepten zu hoch für direkte Überführung in Industrieunternehmen ist.¹⁷ In dieser Dissertation werden die Ansätze der Industrie 4.0 daher über ein Rahmenmodell in Form von DuA-Ansätzen abgebildet mit der Argumentation, dass Industrie 4.0-Lösungen auf operativer Ebene vollständig über die Integration digitaler und automatisierender Technologien umgesetzt werden können (siehe Abbildung 1).

¹ UN Digital Economy Report (2019, S.3).

² UN Digital Age Report (2019, S.7).

³ European Commission DESI-Index (2019a).

⁴ Baller, Dutta & Lanvin (2016, S.12).

⁵ Katz & Koutroumpis (2013, S.317).

⁶ Katz & Koutroumpis (2013, S.316).

⁷ Johnson (2005, S.14).

⁸ Barnir, Gallagher & Auger (2003, S.810).

⁹ Rai, Patnayakuni & Seth (2006) (2006, S.232).

¹⁰ Blanchet et al. (2014, S.19).

¹¹ BMBF Deutschland (2012 S.16).

¹² Kagermann, Wahlster & Helbig (2013, S. 8).

¹³ Schumacher, Schumacher & Sihm (2020 S.301).

¹⁴ Schröder (2016, S.11).

¹⁵ Khan & Turowski (2016, S.18).

¹⁶ Zhou, Zhou & Liu (2015, S.2150).

¹⁷ Erol, Sihm & Schumacher (2016).

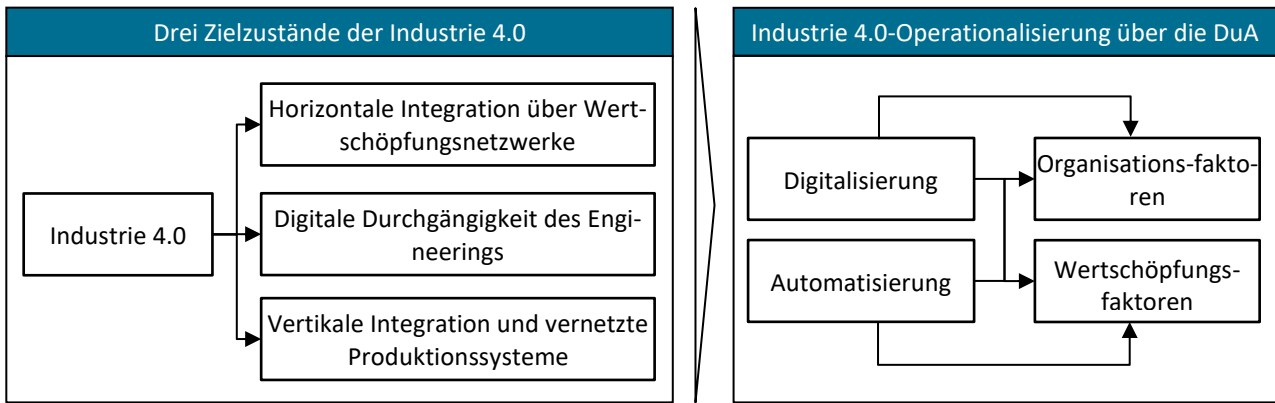


Abbildung 1: Operationalisierung der Industrie 4.0 (eigene Darstellung)

Die Motivation dieser Dissertation liegt folglich in der Operationalisierung der bestehenden Industrie 4.0-Zielzustände in Form der operativen Zielzustände der DuA, sowie der Entwicklung von Modell und Methoden, um die derzeitigen Möglichkeiten der DuA für Industrieunternehmen messbar, bewertbar und nutzbar zu machen. Hierfür sind aus wissenschaftlicher Sicht neue Forschungsansätze zur Operationalisierung der Industrie 4.0, sowie Ansätze zur Modellierung, Analyse und Bewertung der DuA-Reife erforderlich.

1.2 Problemstellung und Validierung

Die Forschung, mit Bezug auf die industrielle DuA, hat in den letzten Jahren durch die Verbreitung der Industrie 4.0-Konzepte stark an Bedeutung gewonnen. So erhöhte sich die Trefferrate in der wissenschaftlichen Datenbank *science direct*¹⁸ im Zeitraum von 2015 bis 2019 für den Begriff „Industry 4.0“ um 2300%, für „Industrial digitalization“ um 300%, sowie für „Industrial automation“ um ca. 70% im selben Zeitraum.¹⁹ Trotz verstärkter wissenschaftlicher Aktivitäten haben eigene Literaturanalysen^{20 21} folgende bestehende Problemstellungen, in Bezug auf die Bewertung der DuA-Reife, ergeben:

1. Fehlende Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in real bewertbare DuA-Ansätze in Produktionsunternehmen.
2. Fehlende Methoden, um den DuA-Reifegrad im Unternehmen ganzheitlich und objektiv zu bewerten.
3. Fehlende Metriken zur quantitativen Messung der DuA-Reife.
4. Fehlende Ansätze zur systematischen Priorisierung der DuA-Handlungsfelder.

Validierung Relevanz der Problemstellungen

Bereits an früher Stelle der Dissertation soll die Relevanz der definierten Problemstellungen validiert werden. Hierzu wurde eine Relevanzbewertung der Problemstellung 1-4 in Form einer Online-Befragung mit 51 Experten (45% Wissenschaft, 55% Unternehmen) durchgeführt (siehe Abbildung 2).

¹⁸ URL: <https://www.sciencedirect.com/>

¹⁹ Trefferstand abgerufen am 17.11. 2019

²⁰ Schumacher, Erol & Sihn (2016, S.161ff).

²¹ Schumacher, Schumacher & Sihn (2020 S.301ff).

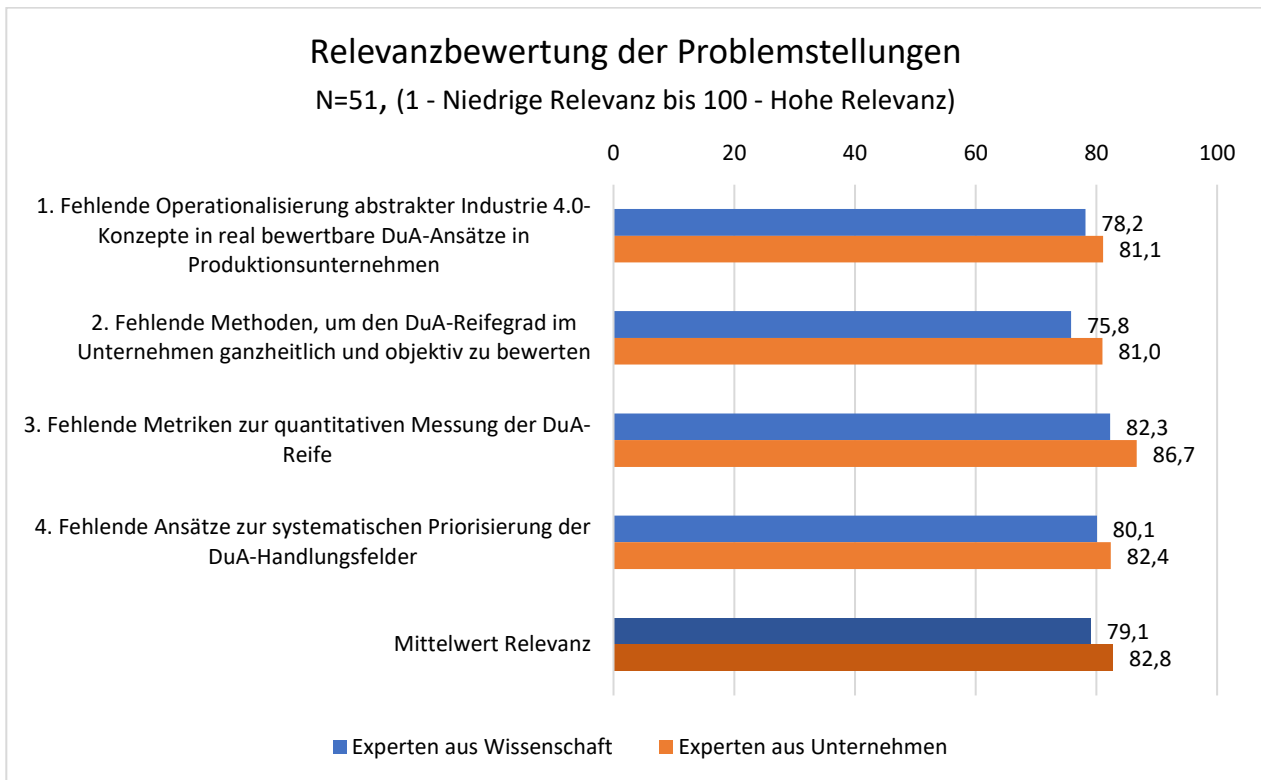


Abbildung 2: Expertenbewertung zur Relevanz der Problemstellungen (eigene Darstellung)

Die Validierung der vier Problemstellungen ergibt in Summe, über alle 51 Teilnehmer, eine Relevanz von 80,9, wobei über alle 265 abgegebenen Bewertungen 41-mal mit der maximalen Relevanz von 100 bewertet wurde. Die Experten aus Unternehmen bewerten die Gesamtrelevanz um ca. 4% höher als jene aus der Wissenschaft und bewerten auch jede der vier Problemstellungen einzeln etwas höher. Jede Problemstellung wurde mit einer Relevanz von mind. 75 aus 100 bewertet und die 3. Problemstellung der fehlenden Metriken zur quantitativen Messung der DuA-Reife mit durchschnittlich 84,5 als die Relevanteste genannt. Zusammengefasst wurden die Problemstellungen der Dissertation von Experten beider Bereiche (Wissenschaft und Praxis) als weitgehend relevant bewertet und somit in dieser Form weiterbearbeitet.

Im nächsten Teil dieses Kapitels wird der Aufbau der Dissertation beschrieben und in Form einer Vorgehensweise, sowie einer Concept-Map zusammengefasst.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Bearbeitung der Dissertation folgt chronologisch den definierten Schritten des Design Science-Vorgehens nach Hevner et al.²², sowie dessen Anwendung speziell für die Entwicklung von Bewertungsmodell nach Becker et al.²³. Das Design Science-Vorgehen, operationalisiert durch Becker et al., beinhaltet acht Schritte, welche über die Kapitel der Dissertation umgesetzt werden (siehe Abbildung 3).

²² Hevner et al. (2004, S.88).

²³ Becker, Knackstedt & Pöppelbuß (2009, S.218).

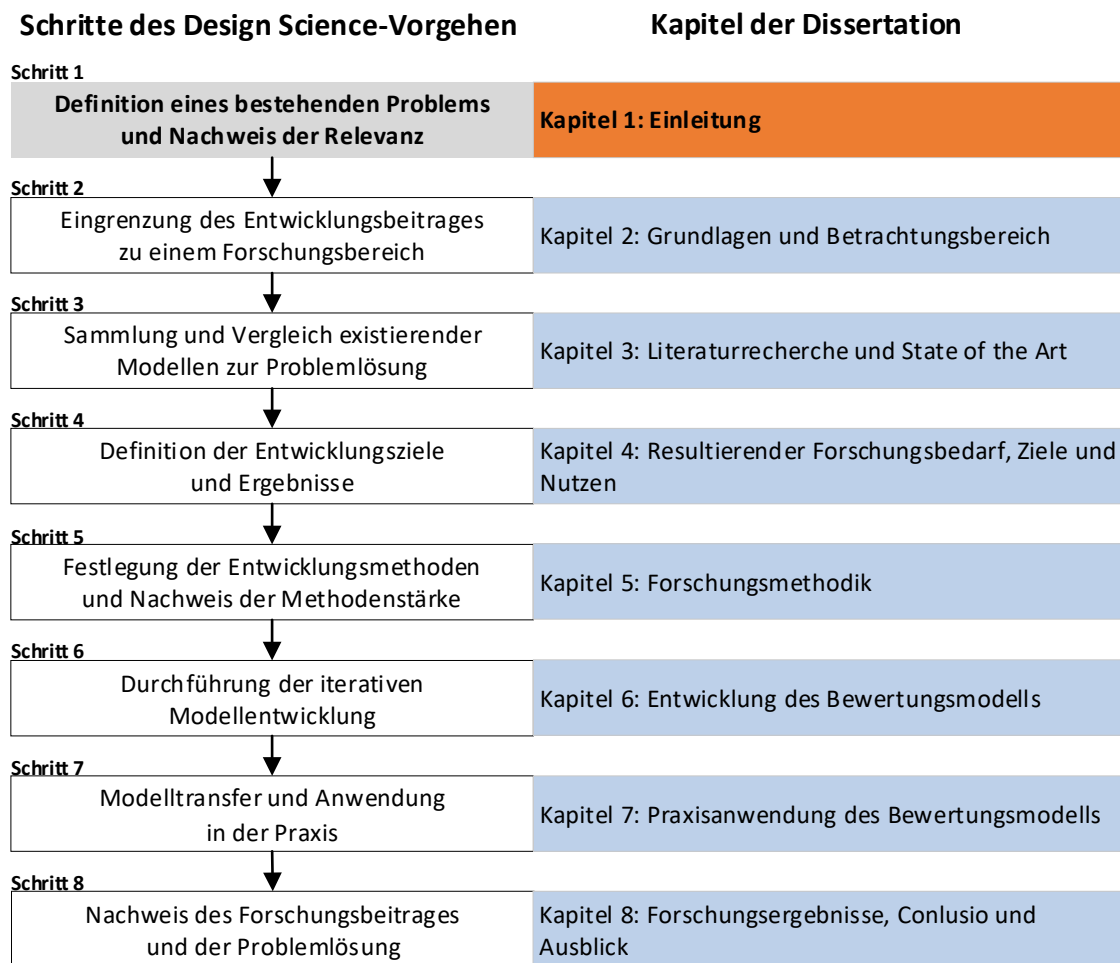


Abbildung 3: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

In **Kapitel 1** wird die Forschungsmotivation beschrieben. Des Weiteren werden resultierende Problemstellungen herausgearbeitet, um den Forschungsbedarf zu statuieren. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer Übersicht der Dissertationsinhalte in grafischer Form. **Kapitel 2** führt in die Grundlagen der industriellen DuA vertiefend ein und leitet verwendete Arbeitsdefinitionen ab. Weiters wird der Betrachtungsbereich der Dissertation eingegrenzt und der Anwendungsbereich der Entwicklungen festgelegt. Nachfolgend wird in **Kapitel 3** der derzeitige Entwicklungsstand der Literatur in Bezug auf die Operationalisierung, Bewertung und Einführung der DuA in Industrieunternehmen untersucht. In **Kapitel 4** werden die Problemstellungen in den Forschungsbedarf überführt und die Forschungsziele und deren Nutzen beschrieben. In **Kapitel 5** erfolgt die Übersetzung der Problemstellungen in Forschungsfragen und begleitende Hypothesen, sowie die Erklärung genutzter Forschungsmethoden. Des Weiteren wird das Vorgehen zur Validierung der Forschungsergebnisse festgelegt. In **Kapitel 6** folgt die Entwicklung des eigenen Bewertungsmodells über mehrere Entwicklungsstufen. Das entwickelte Modell kommt in **Kapitel 7** in Form von Use-Cases und einer Studie zur Anwendung, wobei Feedback zur Effizienz und zum Nutzen des Modells gesammelt und ausgewertet wird. In **Kapitel 8** werden die Erkenntnisse der Dissertation zusammengefasst, die Beantwortung der Forschungsfragen und die Zielerreichung dargestellt und eine Conclusio inkl. Ausblick ausgeführt.

Eine Übersicht der Inhalte aller Kapitel kann der Concept-Map in Abbildung 4 entnommen werden (siehe Folgeseite).

Einleitung

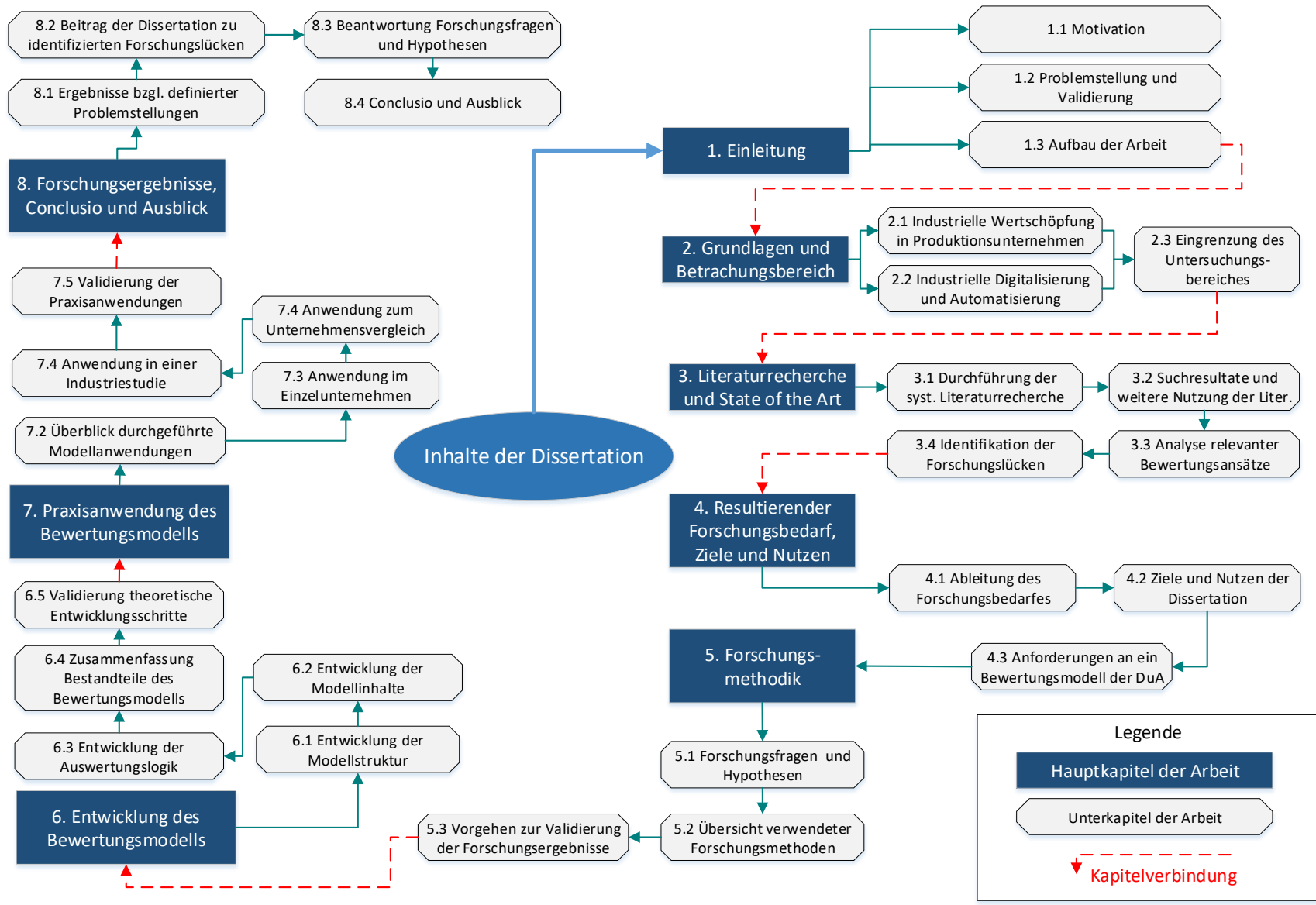


Abbildung 4: Concept-Map zur Übersicht Dissertationsinhalte bzw. Kapitel inkl. Themenverbindungen (eigene Darstellung)

2 Grundlagen und Betrachtungsbereich

Kapitel 2 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, der Eingrenzung des Entwicklungsbeitrages zu einem Forschungsbereich (siehe Abbildung 5).

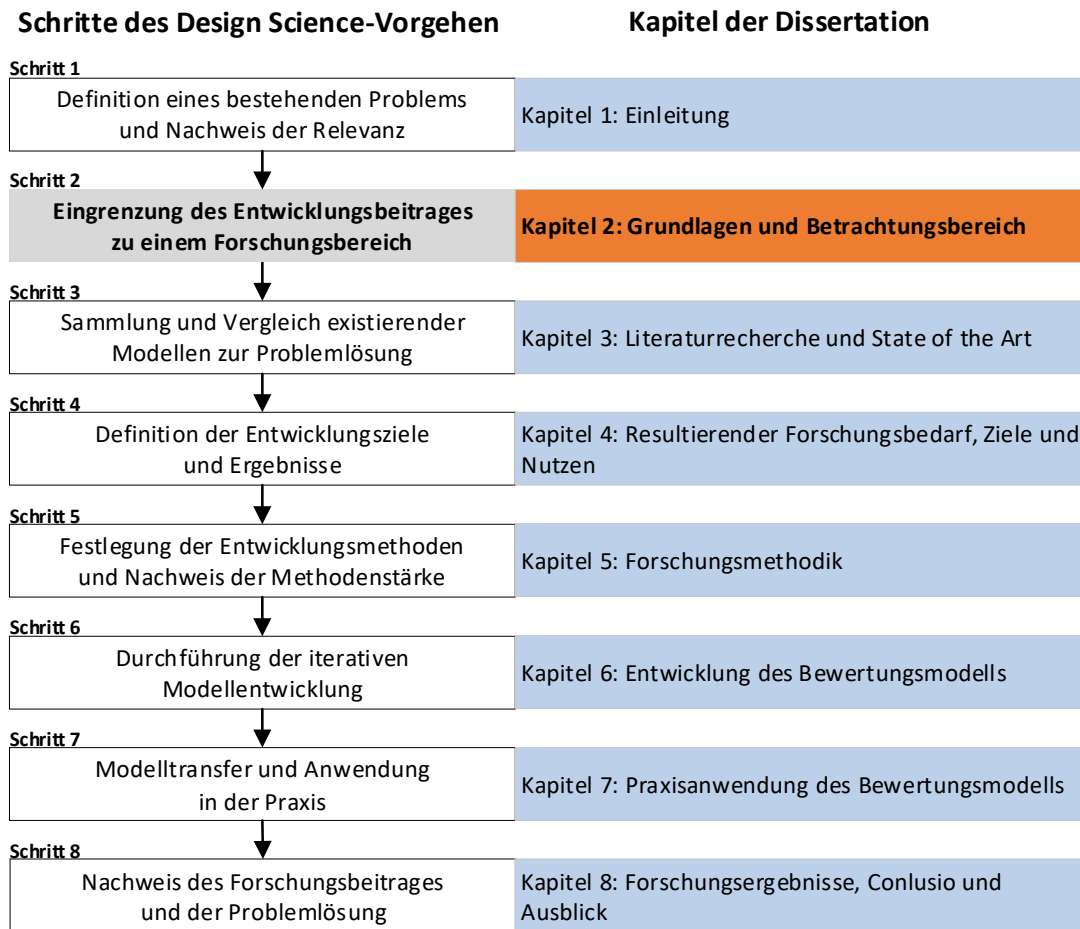


Abbildung 5: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Die Ausarbeitung von *Kapitel 2* beinhaltet die theoretischen Hintergründe, festgelegte Arbeitsdefinitionen und Eingrenzungen des Untersuchungsbereiches der Dissertation (siehe Abbildung 6).

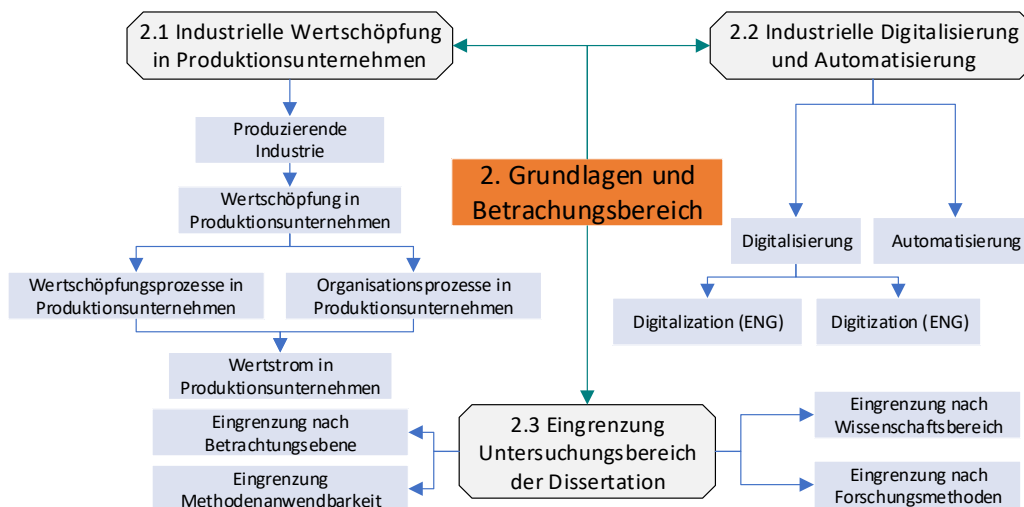


Abbildung 6: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 2 (eigene Darstellung)

2.1 Industrielle Wertschöpfung in Produktionsunternehmen

2.1.1 Industrie und produzierende Industrie

Aus dem Englischen abgeleitet steht der Begriff „Industry“ als Sammelbegriff für die Summe der Fabriken, Personen, Materialien und Aktivitäten, welche zur Herstellung von Gütern oder zum Angebot von Dienstleistungen erforderlich sind.²⁴ Im Deutschen bezieht sich der Begriff „Industrie“ auf die „Gesamtheit der Fabrikationsbetriebe einer bestimmten Branche in einem Gebiet“²⁵. Im Rahmen dieser Dissertation wird „Industrie“, eingegrenzt auf den produzierenden Bereich verstanden als: die Summe aller Fabrikationsbetriebe sowie deren Personen, Materialien und Aktivitäten über alle Industriebranchen, welche Güter herstellen.

2.1.2 Wertschöpfung und Wertschöpfungsprozesse in Produktionsunternehmen

Der Begriff der Wertschöpfung stammt aus dem Bereich der Betriebs- und Volkswirtschaftslehre. Diese wird zu Analyse der Wertschöpfung in der Makro-Betrachtung, etwa zur Bewertung des Bruttoinlandsproduktes eines Staates, herangezogen.²⁶ In der Mikro-Betrachtung erlaubt diese die Bewertung der Leistung innerhalb eines Unternehmens,²⁷ bis hin zur Detailbetrachtung des Input-Output-Verhältnisses an einzelnen Produktionsschritten.²⁸ In dieser Dissertation wird der Begriff der Wertschöpfung, angewendet auf produzierende Industrieunternehmen, verstanden als: die Summe aller Aktivitäten im Unternehmen, die direkt oder unterstützend zur Erhöhung des Wertes eines produzierten Gutes beitragen. Da dieses Verständnis der Wertschöpfung nur eine systemische Betrachtung zulässt, wird die Erweiterung um eine prozessuale Strukturierung erforderlich. Hierzu wird der Begriff des Wertschöpfungsprozesses eingeführt, welcher stattfindende Wertschöpfungsaktivitäten mit einer Ablauforganisation²⁹ hinterlegt und somit eine zielgerichtete Verkettung und Strukturierung³⁰ dieser ermöglicht. Der Wertschöpfungsprozess wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitung verstanden als: logische Verknüpfung von direkten und unterstützenden Aktivitäten zur Überführung einfacher Inputfaktoren in komplexere Erzeugnisse mit erhöhtem Wert.

2.1.3 Organisationsprozesse und Wertstromprozesse in Produktionsunternehmen

In den 1950er Jahren argumentierte Erich Gutenberg, dass neben Faktoren und Aktivitäten aus Produktionssicht noch weitere Faktoren zur Wertschöpfung erforderlich sind. Er führte daher das heutzutage weit verbreitete Rahmenmodell der betrieblichen Unternehmensfaktoren ein (siehe Abbildung 7).

Menschliche Arbeit				Betriebsmittel		Werkstoffe
Geschäfts- und Betriebsleitung	Planung	Organisation	Objekt-bezogene Arbeit	Maschinen, Werkzeuge, Gebäude, Grundstücke u.a.	Betriebsstoffe	Roh-, Hilfsstoffe u.a.
Dispositive Faktoren				Elementfaktoren		

Abbildung 7: Betriebliche Unternehmensfaktoren nach Gutenberg (Angepasste Darstellung nach Ellinger und Haupt)³¹

²⁴ URL: https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/industry (Zugriff am 03.12.2019)

²⁵ URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Industrie> (Zugriff am 03.12.2019)

²⁶ Rutherford (1977, S.215).

²⁷ Lepak, Smith & Taylor (2007, S.182).

²⁸ Westkämper & Löffler (2016, S.31).

²⁹ Gutenberg (1983, S.15).

³⁰ Porter (1986, S.66).

³¹ Ellinger & Haupt (1990, S.10).

Hierbei erweitert Gutenberg die Elementarfaktoren der Wertschöpfung um dispositive Faktoren, welche sich vor allem aus menschlicher Arbeit in manueller und kognitiver Form zusammensetzen. Auch in dieser Dissertation werden dispositive Faktoren wie die Geschäfts- und Betriebsleitung, die Planung und Organisation, sowie menschliche Arbeit als integraler Bestandteil der Wertschöpfungsprozesse behandelt und zum Begriff „Organisationsprozesse“ zusammengefasst. Organisationsprozesse werden in der weiteren Ausarbeitung verstanden als: logische Verknüpfung von planenden und steuernden Aktivitäten zur Umsetzung der Wertschöpfungsprozesse.

Die innerbetrieblichen Wertschöpfungs- und Organisationsprozesse wurden durch das Rahmenmodell nach Porter in den 1980er um externe Komponenten erweitert, da Porter ein Unternehmen als Element einer sog. Wertkette betrachtet.³² Somit werden die internen Prozesse um Kontaktpunkte mit Lieferanten und Kunden, sowie um die Kommunikationsprozesse mit diesen erweitert. Die Integration der Unternehmensfaktoren nach Gutenberg mit dem Wertketten-Modell nach Porter führt letztendlich zum Verständnis des Wertstromprozesses oder kurz „Wertstromes“³³. Dieser wird im Weiteren verstanden als: die Gesamtheit aller wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Aktivitäten bzw. Prozesse, die das Angebot eines verkaufsfähigen Produktes in Form eines Erzeugnisses oder einer Dienstleistung ermöglichen.

Nach der Beschreibung der industriellen Wertschöpfung in Produktionsunternehmen, basierend auf dem Wertstromansatz, werden im Folgenden die Grundlagen der industriellen Digitalisierung und Automatisierung ausgeführt.

2.2 Industrielle Digitalisierung und Automatisierung

Die Ansätze der Digitalisierung und Automatisierung sind derzeit die treibende Kraft strategischer Entscheidungen in Produktionsunternehmen, wie in der Motivation der Arbeit (*Kapitel 1.1*) beschrieben.

Während der Begriff der „Automatisierung“ generell, als auch bezogen auf Wertstromprozesse eine klare Eingrenzung erlaubt, wird der Begriff der „Digitalisierung“ als variierend verwendeter Sammelbegriff verstanden.³⁴ Die englische Sprache ermöglicht hier eine feinere Unterscheidung des deutschsprachigen Digitalisierungs-Begriffes in Form der „digitization“ und „digitalization“. Nach den Definitionen des Oxford English Dictionary (OED) lässt sich der Begriff "digitization" in Verbindung mit Computern bis in die 1950er Jahre zurückverfolgen. Beschrieben als der Prozess zur Umwandlung analoger Daten, insbesondere bei späterer Verwendung von Bildern, Videos und Texten, in digitale Form³⁵. Der Begriff "digitalization" hingegen definiert sich als die steigende Nutzung von Digital- oder Computertechnologien durch Personen, Unternehmen, Branchen oder Länder und den damit verbundenen Auswirkungen.³⁶ Der Begriff der "Automatisierung" wird bereits seit langem auf industrielle Anwendungen bezogen und beschreibt die Verwendung oder Einführung von automatisierenden Komponenten in einem Prozess oder einer Anlage³⁷ bzw. aus

³² Porter (1986, S.68).

³³ Erlach (2010, S.9).

³⁴ Schumacher, Sihn & Erol (2016b, S.4).

³⁵ Übersetzt aus dem Englischen; URL <https://www.lexico.com/en/definition/digitization> (Zugriff am 03.08.2016)

³⁶ Übersetzt aus dem Englischen; URL <https://www.lexico.com/en/definition/digitalization> (Zugriff am 03.08.2016)

³⁷ Übersetzt aus dem Englischen; URL <https://www.lexico.com/en/definition/automation> (Zugriff am 03.08.2016)

technologischer Sicht als Technologie, mit der ein Prozess oder Verfahren ohne menschliche Hilfe ausgeführt wird.³⁸

Da für die spätere Entwicklung des Bewertungsmodells der Dissertation eine eindeutige Unterscheidung der Begrifflichkeiten erforderlich ist, wurden Arbeitsdefinitionen, die Betrachtungsbereiche, sowie die Herausforderungen für Produktionsunternehmen der jeweiligen Konzepte aus umfassender Literatur abgeleitet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Begriffseingrenzung Digitalisierung und Automatisierung für Produktionsunternehmen

	Digitalisierung		Automatisierung ^{39 40 41 42}
	Digitization ^{43 44 45 46 47 48}	Digitalization ^{49 50 51 52 53 54 55}	
Arbeitsdefinition	Beschreibt die Umwandlung von kontinuierlichen analogen, verrauschten oder variierenden Informationen in klare Bits mit Status 1 und 0 mittels Einsatz digitalisierender Technologien.	Beschreibt digitalgestützte Arbeitssysteme und die Ausführung von Arbeitsschritten in diesen unter Nutzung von Hardware und Software-systemen.	Beschreibt die Implementierung von Technologien, Techniken und Prozessen, um definierte Ergebnisse mit wenig oder gar keinem menschlichen Eingriff zu erreichen.
Betrachtungsbereiche	<p>Mikroebene:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entmaterialisierung von Daten und Informationen Parallelität und Vielfalt von Daten und Informationen Echtzeitnahe Veränderung von Daten und Informationen 	<p>Makroebene:</p> <ul style="list-style-type: none"> Digitale Kommunikationstechnologien Digitalgetriebene Sozialstrukturen Echtzeitnahe Veränderung von Geschäftsprozessen 	<p>Mikro- und Makroebene:</p> <ul style="list-style-type: none"> Maschinen, Anlagen, Sensoren und Aktoren zur Prozessausführung Software zur Prozesssteuerung und Überwachung Prozessdesign und Planung
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhter Speicherbedarf digitaler Daten Erhöhte Komplexität der Datenstrukturen Schaffung ausreichender Datenqualität Erhalt der Sicherheit digitaler Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> Abstimmung mit der Unternehmensstrategie Erforderliche Investitionen Aufbau von Mitarbeiterkompetenzen Implementierung in bestehende Organisationsstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftlicher Betrieb automatisierter Wertschöpfung Erhöhter Planungs- und Steuerungsaufwand automatisierter Prozesse Flexibilitätserhalt verketteter Automatisierungstechnologien

³⁸ Groover (2001, S.61).

³⁹ Groover (2001, S.65).

⁴⁰ Parasuraman, Sheridan & Wickens (2000, S.289).

⁴¹ Frohm et al. (2008, S.4).

⁴² Sauter (2005, S.260).

⁴³ Feldman (1997, S.2).

⁴⁴ Pepperell (2003, S.126).

⁴⁵ Pinch & Trocco (2004, S.7).

⁴⁶ Manoff (2006, S.313).

⁴⁷ Gillespie, Boczkowski & Foot (2014, S.99).

⁴⁸ Groys (2008, S.84).

⁴⁹ Castells (2010, S.417).

⁵⁰ Van Dijk (2006, S.46).

⁵¹ Beniger (1997, S.31).

⁵² Benkler (2006, S.35).

⁵³ Vogelsang (2010, S.8).

⁵⁴ Brynjolfsson & McAfee (2014 S.64).

⁵⁵ Mansell (2012, S.313).

Die Inhalte der Begriffe “digitization” als auch “digitalization” werden für diese Dissertation zum Begriff der “Digitalisierung” zusammengefasst. Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge werden in Tabelle 2 zwei Anwendungsbeispiele, sowie deren Zusammensetzung aus Digitalisierungs- und Automatisierungs-Elementen, angeführt.

Tabelle 2: Beispiele zur Begriffsabgrenzung Digitalisierung und Automatisierung

Anwendungsbeispiel	Digitalisierung		Automatisierung
	Digitization	Digitalization	
Fahrerloses Transportsystem (FTS)	Austausch und Verarbeitung digitaler Daten (Bits/Bytes) in integrierten Computern im FTS.	FTS-Bedienung über Tablets und Einbindung des FTS in eine MES-Software.	Transport des Materials vom Lagerplatz zum Arbeitsplatz ohne manuelle Transportaktivitäten.
Einsatz einer MES-Software	Austausch und Verarbeitung digitaler Daten (Bits/Bytes) in der Software.	Visuelle Unterstützung der Mitarbeiter und Vernetzung mit Maschinen.	Visuelle bzw. kognitive Unterstützung der Mitarbeiter bei der Steuerung der Produktionsprozesse.

Die beiden angeführten Beispiele (FTS und MES-Software) werden oftmals als klassische Industrie 4.0-Ansätze angeführt. So zeigt sich bereits an diesen Beispielen, dass die Ansätze der Industrie 4.0 über die Digitalisierungs- und Automatisierungs-Ansätze abbildbar sind, wie an späterer Stelle noch im Detail ausgeführt.

2.3 Eingrenzung des Untersuchungsbereiches

Die Dissertation kann auf Basis des Forschungsfeldes und Betrachtungsbereiches, verwendeter Methoden, sowie damit verbundener Forschungsergebnisse eingeteilt und eingegrenzt werden.

2.3.1 Eingrenzung nach vorgegebenen Themenfeldern wissenschaftlicher Datenbanken

Die thematischen Inhalte der Arbeit lassen eine erste Themeneinordnungen, etwa in die neun definierten Themenfelder⁵⁶ der wissenschaftlichen Publikationsdatenbank *science direct* zu. Hier kann die Arbeit dem Themenfeld *Engineering* bzw. in den 11 Subkategorien jenem des *Industrial and Manufacturing Engineering* zugeordnet werden. In der Wissenschaftsdatenbank *Web of Science*, die fünf grundlegende Forschungsbereiche definiert⁵⁷, kann die Arbeit dem Bereich *Technology* und hier in den 21 Subkategorien jener des *Operations-Research & Management Science* zugeordnet werden. Aufgrund des Fokus auf die Analyse und Entwicklung von unternehmensplanerischen und entscheidungsunterstützenden Aspekten aus Anwendungssicht lässt sich diese Dissertation dem Forschungsgebiet des *Industrial Operation Research* bzw. jenem der *Systemorientierten Managementlehre*⁵⁸ zuordnen. Letztere konzentriert sich auf die Entwicklung und Lenkung von zweckorientierten sozialen Systemen und fokussiert vor allem auch die Mehrdimensionalität bei der Untersuchung von Problemstellungen.

⁵⁶ URL: <https://www.sciencedirect.com/browse/journals-and-books?subject=engineering> (Zugriff am 23.09.2019)

⁵⁷ URL: https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/hp_research_areas_easca.html (Zugriff am 23.09.2019)

⁵⁸ Ulrich, Dyllick & Probst (1984, S.5).

2.3.2 Eingrenzung nach verwendeten Forschungsmethoden

Die in *Kapitel 5* beschriebene Forschungsmethodik siedelt diese Arbeit im Bereich der *Angewandten Forschung* an. Hierbei werden theoretische Modelle und Methoden entwickelt, jedoch mit dem ausdrücklichen Ziel, diese in die Praxisanwendung zu überführen, um empirische Daten zu sammeln und diese in allgemeine Aussagen rückzuführen. Die verwendeten Forschungsmethoden unterteilen sich hierbei qualitative Methoden (Literaturanalysen, Design Science Action-Research etc.) sowie quantitative Methoden (Survey-Research) an.

2.3.3 Eingrenzung nach der Betrachtungsebene der Dissertation

Der Untersuchungsraum der Dissertation beschreibt jenen Bereich, in welchem die Analysen der Arbeit erfolgen, die entwickelten Modelle und Methoden angewendet werden und für welche die abgeleiteten Aussagen Gültigkeit haben (siehe Abbildung 8).

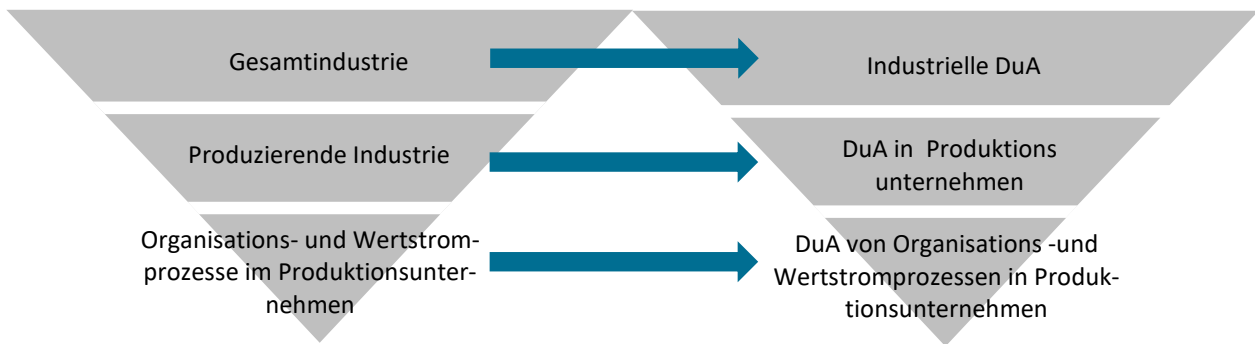


Abbildung 8: Eingrenzung des Untersuchungsraumes in drei Ebenen (eigene Darstellung)

Zusammengefasst untersucht die Dissertation den Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad von Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren entlang der Wertstromprozesse in produzierenden Unternehmen.

2.3.4 Eingrenzung nach Anwendbarkeit des entwickelten Bewertungsmodells

Die Eingrenzung der Anwendbarkeit des entwickelten Bewertungsmodells erfolgt auf Basis der möglichen Ausprägungen von Produktionsprozessen nach Schuh und Schmidt⁵⁹. Die Einschränkung leitet sich aus der Berücksichtigung nur des Produktionsprozesses ab, da in Bezug auf Organisationsprozesse keine Einschränkungen des Modells auftreten. Hierbei wird die Anwendbarkeit des Bewertungsmodells in Bezug auf relevante Eigenschaften, wie etwa die Art der Produktion, Stückzahlen oder erforderliche Prozessinputgrößen bewertet. In Tabelle 3 wird die mögliche Anwendung je nach Ausprägung in drei Kategorien eingeteilt:

- Anwendung vollständig möglich: bei angeführter Eigenschaft mit „(V)“ markiert
- Anwendung teilweise möglich: bei angeführter Eigenschaft mit „(T)“ markiert
- Anwendung nicht möglich: bei angeführter Eigenschaft mit „(N)“ markiert

Bei einer teilweisen Anwendbarkeit („T“) ist eine Methodenanwendung mit reduzierter Aussagekraft durchführbar.

⁵⁹ Schuh & Schmidt (2014, S4).

Tabelle 3: Eingrenzung der Anwendbarkeit des Bewertungsmodelles nach Produktionstopologien

Eigenschaften	Ausprägung und Anwendbarkeit			
Erzeugnisart	Materielle Erzeugnisse (V)	Immaterielle Erzeugnisse (N)		Hybrid-Formen (T)
Erzeugnisform	Ungeformtes Schüttgut (T)	Geformtes Schüttgut (T)		Stückgut (V)
Fertigungsgröße	Massenproduktion (V)	Serienproduktion (V)		Einzelproduktion (T)
Fertigungsschritte	Einschritt-Fertigung (T)		Mehrschritt-Fertigung (V)	
Mobilität der Erzeugnisse	Bewegbar (V)		Nicht Bewegbar (z.B. Gebäudebau) (N)	
Produktionsorganisation	Fließproduktion (V)	Standplatzproduktion (T)	Werkstattprinzip (T)	Vor-Ort-Produktion (z.B. Baustelle) (N)
Produktionstechnologie	Mechanische Prozesse (V)		Chemische Prozesse (T)	Biologische Prozesse (N)
Eingangsgrößen	Materialintensiv (V)	Arbeitsintensiv (V)		Informationsintensiv (N)

Aus dieser Eingrenzung nach Produktionseigenschaften wird ersichtlich, dass das Bewertungsmodell für immaterielle Erzeugnisse nicht anwendbar ist. Weiters besteht für nicht bewegbare Erzeugnisse (z.B. Gebäude), für biologische Produktionsprozesse (z.B. Pflanzenwachstum), oder für sehr informationsintensive Prozesse (z.B. Softwareentwicklungen) keine Anwendbarkeit.

Diese Eingrenzung führt zum Anwendungsbereich des Bewertungsmodells: Das Modell ist vorrangig in Produktionsunternehmen anwendbar, welche material- und arbeitsintensive physische und diskrete Güter über mehrstufige Produktionsprozessen herstellen.

Die hier durchgeführte Einordnung und Eingrenzungen der Dissertationinhalte bildet die Basis für die systematische Literaturrecherche des folgenden Kapitels.

3 Literaturrecherche und State of the Art

Kapitel 3 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, der Sammlung und dem Vergleich von existierenden Modellen zur Problemlösung (siehe Abbildung 9).

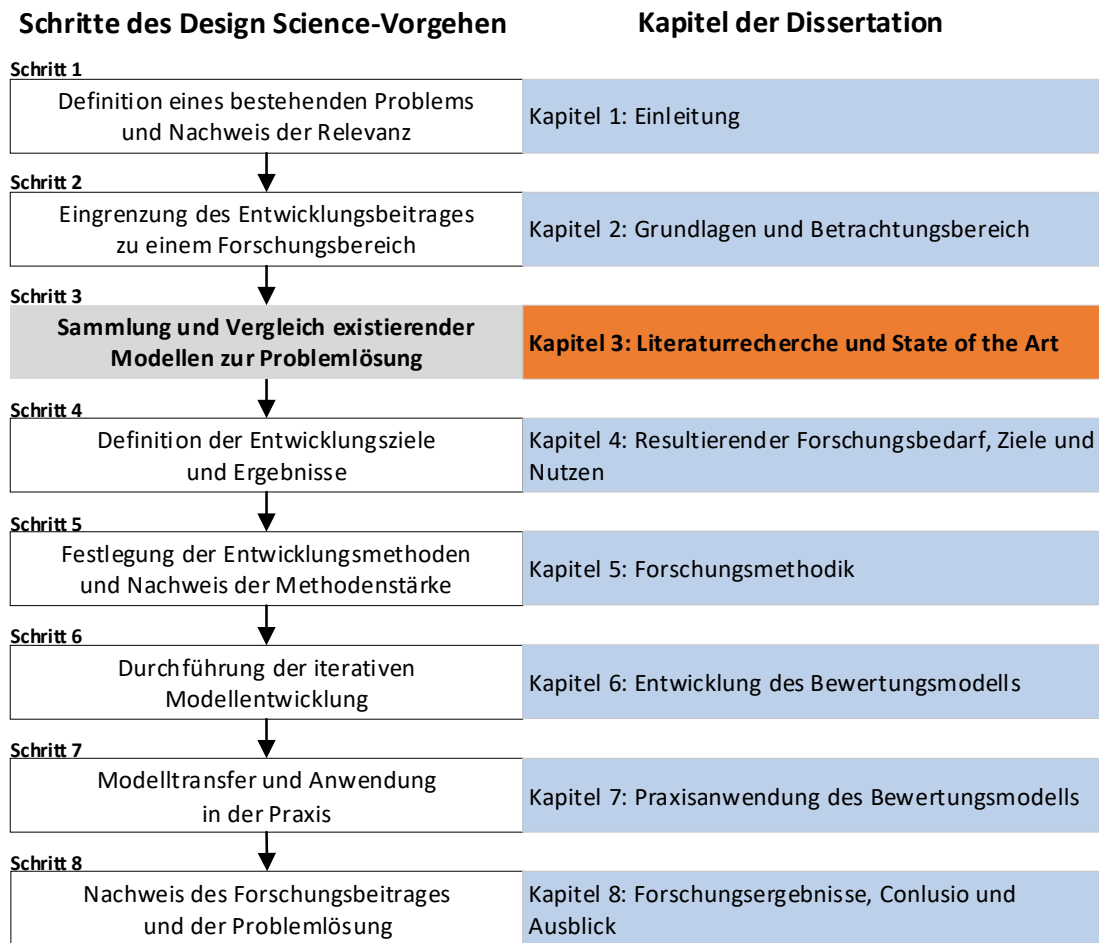


Abbildung 9: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Die Ausarbeitung von *Kapitel 3* beinhaltet die Vorbereitung und Durchführung der Literaturrecherche, die Analyse und Bewertung des State of the Art und die Ableitung von Forschungslücken (siehe Abbildung 10).

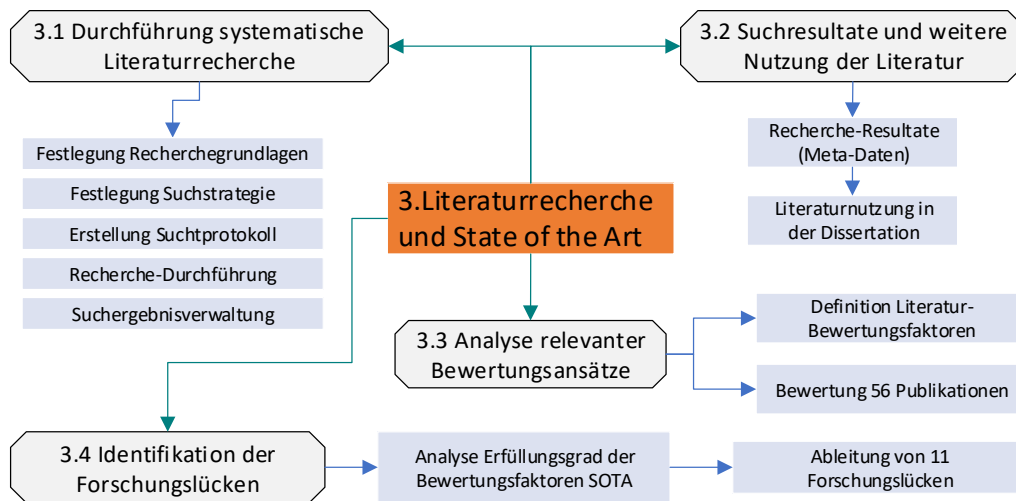


Abbildung 10: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 3 (eigene Darstellung)

3.1 Durchführung der systematischen Literaturrecherche

Die Basis und den ersten Schritt jeder wissenschaftlichen Arbeit stellt die Berücksichtigung der veröffentlichten wissenschaftlichen Literatur dar.^{60 61} Die Anzahl der Veröffentlichungen im wissenschaftlichen Bereich steigt pro Jahr um etwa 3%⁶² bzw. verdoppelt sich die Anzahl der Zitate derzeit etwa alle 9 Jahre⁶³. Diese Anstiege verfügbarer Quellen und Verweise machen neue Methoden zur Bewertung des Literaturstatus erforderlich. Traditionelle Ansätze zur Analyse der Literatur bzw. des State of the Art (kurz: SOTA) berücksichtigen und bewerten existierende Arbeiten des Forschungsbereiches zwar, führen die Recherche, Analyse und Interpretation aber ohne Such- und Bewertungsstrategie, sowie ohne Protokollierung der Suchmetadaten aus. Diese unsystematischen Ansätze führen, neben fehlender Replizierbarkeit, zur vorrangigen Berücksichtigung oft zitierter und populärwissenschaftlicher Arbeiten. Somit wird das volle Spektrum an Veröffentlichungen nicht berücksichtigt.

Eine systematische Literaturanalyse soll diese Probleme lösen. Ein definiertes und protokolliertes Vorgehen, etwa durch die Definition von Fragen an die Literatur, die Festlegung von Suchbegriffen und Sucheinschränkungen, oder die Definition von zu erfüllenden Qualitätskriterien, ergeben folgende Vorteile:^{64 65}

- Replizierbarkeit der Recherche durch andere Wissenschaftler
- Erhöhung der Objektivität der Recherche
- Erhöhung des Abdeckungsgrades existierender Literatur

Trotz erhöhter Objektivität und Systematik verbleibt ein Rest an subjektivem Verhalten des Recherchierenden bei der Definition der Suchfragen- und Einschränkungen sowie bei der Entscheidung, ob Veröffentlichungen weiter berücksichtigt werden. Bei der praktischen Umsetzung führt vor allem fehlende Zugänglichkeit zu Publikationen wissenschaftlicher Datenbanken zu Problemen, was auch den Haupttreiber zu unsystematischen Ansätzen darstellt.⁶⁶ In dieser Dissertation wird eine Kombination der systematischen und unsystematischen Literaturanalyse verfolgt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Anwendungsbereiche der Literaturrecherche-Arten in der Dissertation

	Systematische Literaturrecherche	Unsystematische Literaturrecherche
Bereich der Dissertation	<ul style="list-style-type: none"> • Literatur zu theoretischen Hintergründen der Industrie 4.0 und der DuA • Literatur zur Abbildung des SOTA bzgl. Industrie 4.0 und DuA-relevanter Bewertungsansätze • Studien im Bereich Industrie 4.0 und DuA 	<ul style="list-style-type: none"> • Literatur zur Verfassung wissenschaftlicher Arbeiten • Literatur zu Beschreibungen und Anwendungen der Forschungsmethoden • Literatur zur Durchführung der Forschungsvalidierung

⁶⁰ Okoli & Schabram (2010, S.3).

⁶¹ Mallett et al. (2012, S.448).

⁶² Larsen & Ins (2010, S.580).

⁶³ URL: <http://blogs.nature.com/news/2014/05/global-scientific-output-doubles-every-nine-years.html> (abgerufen am 25.09.19)

⁶⁴ Petticrew (2006, S.11)

⁶⁵ Gough & Elbourne (2002, S.227).

⁶⁶ Mallett et al. (2012, S.449).

Die Kombination beider Ansätze soll die Effizienz der Ausarbeitung erhöhen, da nicht für alle Bereiche (z.B. bei der Festlegung des Validierungsvorgehen) umfassende systematische Literaturrecherchen erforderlich sind, sondern punktuelle Literaturquellen ausreichen. Ein detailliertes Vorgehensmodell zur Durchführung der Literaturrecherche befindet sich im Anhang (siehe *Kapitel 9.1*). Dieses Vorgehensmodell baut auf den theoretischen Grundlagen auf und berücksichtigt durchgeführte „Literature Reviews“ in relevanten Forschungsbereichen wie dem Operations-Research, der systemorientierten Managementlehre, dem Produktionsmanagement^{67 68 69 70 71}, dem Logistikmanagement^{72 73 74}, sowie der industriellen Datennutzung^{75 76 77 78} auf.

Zur Eingrenzung der Literaturrecherche ist es erforderlich, Fragen an die Literatur, ähnlich Forschungsfragen, zu formulieren. Diese dienen der Festlegung der Suchbegriffe, der Entscheidung über zu berücksichtigende Publikationen, sowie der Resultat-Kategorisierung (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Definierte Literaturfragen

Literaturfrage
1. Wie hängen die Industrie 4.0, die industrielle Digitalisierung und die Automatisierung zusammen?
2. Was sind Definitionen/Merkmale der industriellen Digitalisierung und Automatisierung?
3. Welche Wertschöpfungsfaktoren und organisatorischen Faktoren sind im Zusammenhang mit der industriellen Digitalisierung und Automatisierung zu berücksichtigen?
4. Welche Modelle/Methoden gibt es, um den Grad der Digitalisierung und Automatisierung zu messen und zu bewerten?

Während sich die Literatur zu den definierten Fragen 1,2 und 3 in den einleitenden Beschreibungen, sowie der Entwicklung und Operationalisierung des Bewertungsmodells wiederfinden, wird die Literatur der Frage 4 in Form SOTA-Bewertung aufgearbeitet. Dies dient zum einen dem Abgleich des SOTA mit gestellten Anforderungen an DuA-Bewertungsmodelle, sowie der Darstellung der resultierenden Forschungslücke.

Die Ergebnisse der durchgeführten sechs Schritte des Vorgehensmodells zur Literaturrecherche sind in Folgender Tabelle zusammengefasst (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Durchführung der systematischen Literaturrecherche

Schritt 1: Festlegung der Recherchegrundlagen
Die Recherche soll den existierenden Wissensstand im Bereich der Analyse, Messung und Bewertung industrieller DuA erfassen. Hierfür werden Themenfelder und Literaturfragen definiert.
Definition Themen und Sub-Themen der Suche: Industrielle Digitalisierung, Automatisierung, digitization, digitalization Wertstrom, Wertschöpfungsprozess, Organisationsprozess Bewertungsmodell, Reifegradmodell, Kennzahlen, Metrik
Definition der Fragen an die Literatur (siehe Tabelle 5)

⁶⁷ Framinan & Ruiz (2010, S.237).

⁶⁸ Dekkers, Chang & Kreuzfeldt (2013, S.316).

⁶⁹ Fogliatto, da Silveira & Borenstein (2012, S.14).

⁷⁰ Lage Junior & Godinho Filho (2010, S.13).

⁷¹ Forno et al. (2014, S.779).

⁷² Nakano & Akikawa (2014, S.35).

⁷³ Spina et al. (2013, S.1202).

⁷⁴ Aguezoul (2014, S.69).

⁷⁵ Ali, Petersen & Wohlin (2014, S.65).

⁷⁶ Ngai, Xiu & Chau (2009, S. 2592).

⁷⁷ Santos Rocha & Fantinato (2013, S.1355).

⁷⁸ Jahangirian et al. (2011S. 234).

Schritt 2: Festlegung der Suchstrategie

Definierte Suchbegriffe der Recherche:

Der Logik gängiger wissenschaftlicher Datenbanken folgend, wird folgender Aufbau der Suchbegriffe definiert: Vorgelagerter Begriff + Kern-Suchbegriff + Nachgelagerter Begriff:

Beispiel 1: Degree + digitalization + production processes

Beispiel 2: Development + digitalization + assessment model

Hierbei wird jeweils mit dem Kern-Suchbegriff gestartet und die Suche anschließend ja nach Trefferzahl mit den vorgelagerten und nachgelagerten Suchbegriffen detailliert. Die Suche auf den jeweiligen Datenbanken wird mit 15 initialen Kern-Suchbegriffen gestartet, die basierend auf den Ergebnissen erweitert werden.

Definition der Datenbanken für die Recherche:

- Science Direct
- Taylor and Francis
- Emerald Insight
- Springer Link
- Google/Google Scholar
- Web of Knowledge

Bei Bedarf wird die Suche ausgeweitet auf folgende Datenbanken: Inderscience, Igi-Global, Open Access Library (OALib), Genamics

Definition der Sucheinschränkungen:

Zeitraum: 2000 - heute (weitere Einschränkung ja nach Trefferanzahl)

Sprache: Englisch (Fokus) und Deutsch

Publikationsart: Journal-Beiträge, Bücher- und Buchbeiträge, Konferenz-Beiträge u.ä.

Suchfeld: Engineering, Computer Science, Management Science, Operations Research u.ä.

Suche in Feld: "all fields" (je nach Treffer weitere Einschränkung über Titel, Abstract, Keywords)

Definition der Screening-Einschränkungen (Online-Screening der Abstracts):

Ansiedlung in den definierten Themen und Sub-Themen: Ja/Nein

Relevant für die Beantwortung der Literaturfragen: Ja/Nein

Erweiterung des bereits erfassten Wissens durch Publikationen: Ja/Nein

Schritt 3: Erstellung eines Rechercheprotokolls

Die Suche wird mit einem erstellten Excel-Protokoll sowie der Literaturverwaltungssoftware Citavi™ dokumentiert. Folgend Informationen der Suche werden festgehalten:

- Dokumentation des Datenbanknamens sowie der Datenbank-URL
- Nummer/ID des Suchbegriffes, Sprache des Begriffes, Gesetzte Suchfilter
- Datum der Eingabe, Anzahl der Resultate
- Anzahl der Resultate nach Anwendung der Screening-Einschränkungen

Schritt 4 und 5: Recherche-Durchführung

Die Durchführung der Recherche erfolgt über die Zugänge zu wissenschaftlichen Datenbanken der TU Wien, um die kostenfreie Zugänglichkeit zu wissenschaftlichen Datenbanken zu erhöhen. Für jede durchsuchte Datenbank wird das festgelegte Rechercheprotokoll ausgefüllt – im Folgenden exemplarisch für die Datenbank Science Direct:

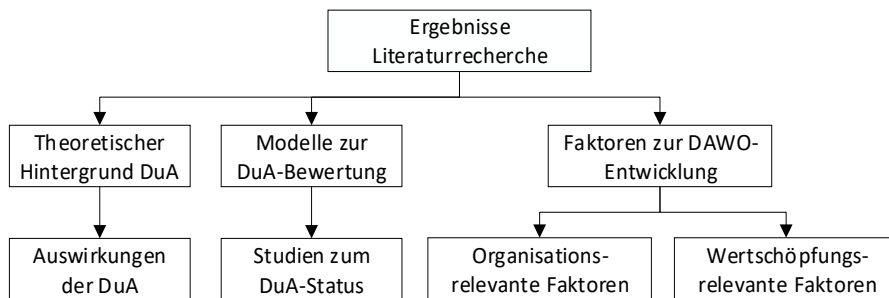
Farbcodes						
Suchbegriffe mit Resultaten (>0) und relevanten Publikationen (>0)						
Suchbegriffe mit Resultaten (>0) aber keinen relevanten Publikationen (=0)						
Keine Resultate (=0)						
Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen
ST_01	DE	05.10.2019	"Digitalisierungsgrad der Produktion"	Search in: Abstract, Title, Keywords Refine your search: Journals, Books Sciences: Computer Science, Engineering Time: 2000 - Present	0	0
ST_02			"Digitalisierungsgrad der Wertschöpfung"		0	0
ST_03			"Digitalisierungsgrad der Wertschöpfungskette"		0	0
ST_04			Digitalisierung AND Wertschöpfungskette		0	0
ST_05			Digitalisierung AND Wertschöpfung		0	0
ST_06			Digitalisierung AND Wertstrom		0	0
ST_07			Digitalisierung AND Produktion		0	0
ST_08			Digitalisierung AND Herstellung		0	0
ST_09	ENG	05.10.2019	Degree AND Digitalization	Search in: Abstract, Title, Keywords Refine your search: Journals, Books Sciences: Computer Science, Engineering Time: 2000 - Present	3	0
ST_10			Digitalization AND Value Chain		0	0
ST_11			Digitalization AND Value Creation		0	0
ST_12			Digitalization AND Value Stream		0	0
ST_13			Digitalization AND Production		8	6
ST_14			Digitalization AND Manufacturing		5	3
ST_15			Degree AND Digitization		1	0
ST_16			Digitization AND Value Creation Chain		0	0
ST_17			Digitization AND Value Creation		0	0
ST_18			Digitization AND Value Stream		0	0
ST_19			Digitization AND Production		13	5
ST_20			Digitization AND Manufacturing		18	3
...
ST_82	ENG		„Degree of digitization“	...	0	0
Summe					13638	220

Es wurden in Summe auf Science Direct 82 Suchbegriffe verwendet, welche zu 13638 Treffern und dem Download von 220 Publikationen für die Detailanalyse geführt haben. Die Suchprotokolle der anderen Datenbanken befinden sich im Anhang (siehe Kapitel 9.1).

Schritt 6: Verwaltung der Suchergebnisse

Definition eines Kategoriensystems zur Publikationszuordnung

Die Suchergebnisse werden beim Download aus den Onlinedatenbanken einem definierten Kategoriensystem für die spätere weitere Verwendung zugeordnet:



Dieses Kategoriensystem wird als Ordner-System am lokalen Speicherort der Publikationen implementiert und ermöglicht so eine nachvollziehbare Literaturverwaltung.

3.2 Suchresultate und weitere Nutzung der Literatur

Die Durchführung der systematischen Literaturrecherche in den definierten Datenbanken im Zeitraum von Oktober 2018 bis Dezember 2019 resultiert in folgender Anzahl relevanter Publikationen (siehe Abbildung 11).

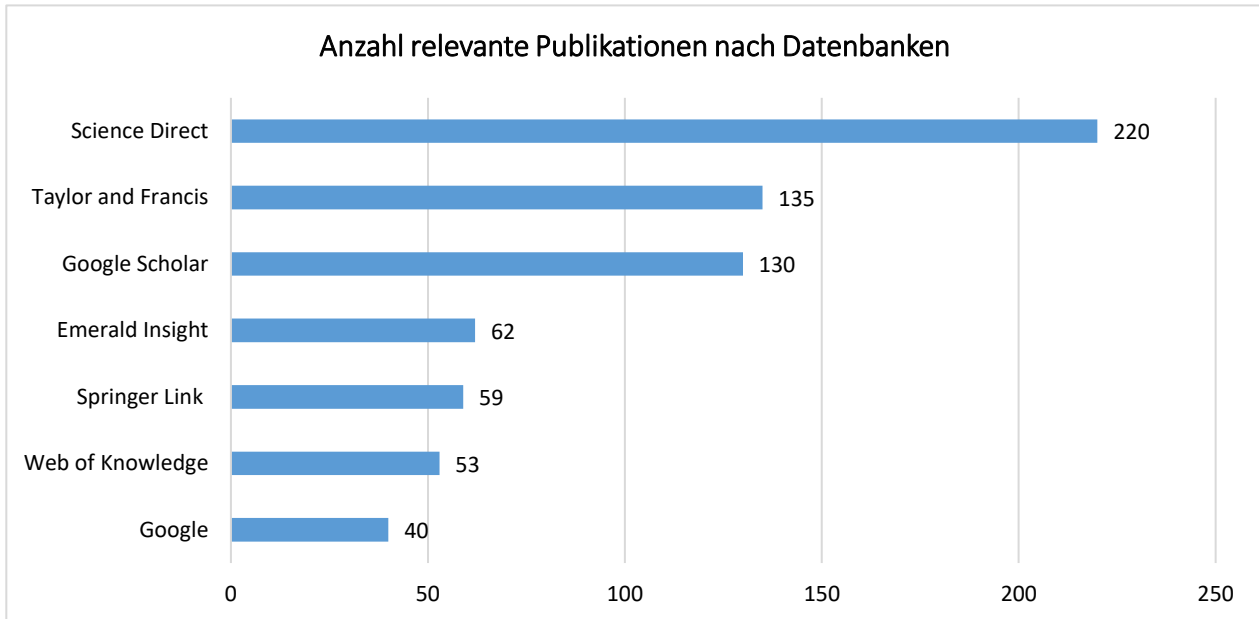


Abbildung 11: Relevante Publikationen nach Datenbanken (eigene Darstellung)

Die in Summe 699 relevanten Publikation werden in einem definierten Kategoriensystem abgelegt (ohne Doppelzuordnungen), was zu folgender Zusammensetzung führt (siehe Abbildung 12).

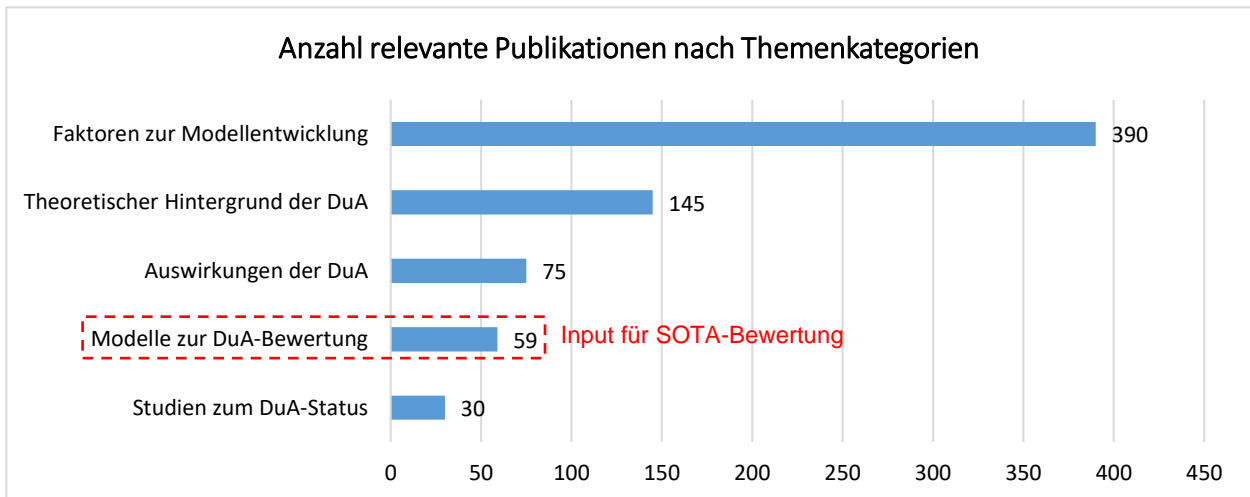


Abbildung 12: Relevante Publikationen nach Themen (eigene Darstellung)

Publikationen des Themas „Faktoren zur Modellentwicklung“ machen erwartungsgemäß mit 390 Publikationen den größten Teil der recherchierten Literatur aus. Literatur zu den theoretischen Hintergründen der DuA konnte mit 145 Publikationen ebenfalls umfassend recherchiert werden, während Publikationen zu den Auswirkungen der DuA mit 75 Publikationen unter der erwarteten Anzahl blieben. In Summe wurden 59 Publikationen mit Modellen zur DuA-Bewertung recherchiert, wobei hier die meisten Modelle in DuA-verwandten Themengebieten, wie etwa jenem der Industrie 4.0, vorkommen. Diese Publikationen stellen auch die Grundlage für die

nachfolgende SOTA-Bewertung dar. Letztendlich wurden 30 Publikationen als DuA-Studien kategorisiert, wobei auch hier wieder themenverwandte Studien im Bereich der Industrie 4.0 berücksichtigt wurden.

3.3 Analyse relevanter Bewertungsansätze

Zur Analyse und Bewertung des SOTA ist die Festlegung von Bewertungskriterien erforderlich, deren Erfüllungsgrad analysiert wird. Die Bewertungskriterien leiten sich aus den Eingangs definierten vier Problemstellungen ab (siehe *Kapitel 1.2*). Die Problemstellungen bzw. der beabsichtigte Lösung führen zu Anforderungen an den SOTA. Zur Analyse der Anforderungserfüllung werden diese weiter in Bewertungskriterien überführt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Überführung der Problemstellungen in Anforderungen und Bewertungskriterien für den SOTA

	Problemstellung der Dissertation	Abgeleitete Anforderung an den SOTA	Abgeleitete Bewertungskriterien für den SOTA
1	Fehlende Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in real bewertbare DuA-Ansätze in Produktionsunternehmen.	Bereitstellung einer Methode zur wissenschaftlich fundierten Operationalisierung der Industrie 4.0 über die DuA in Produktionsunternehmen.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fokus auf Produktionsunternehmen 2. Operationalisierte Bewertungsattribute
2	Fehlende Methoden, um den DuA-Reifegrad im Unternehmen ganzheitlich und objektiv zu bewerten.	Bereitstellung einer Metrik und Messmethode zur quantitativen DuA-Reifegradmessung in Produktionsunternehmen.	<ol style="list-style-type: none"> 3. Ganzheitliche Bewertung im Unternehmenswertstrom 4. Transparenz der Bewertungsmethode
3	Fehlende Metriken zur quantitativen Messung der DuA-Reife.	Bereitstellung einer Methode zur praktischen Bewertung des DuA-Reifegrades.	<ol style="list-style-type: none"> 5. Fokus auf Messung der Digitalisierungsumsetzung 6. Fokus auf Messung der Automatisierungsumsetzung 7. Nutzung quantitativer Mess-Metriken
4	Fehlende Ansätze zur systematischen Priorisierung der DuA-Reife.	Bereitstellung einer Methode zur transparenten und systematischen Priorisierung potenzieller DuA-Handlungsfelder	<ol style="list-style-type: none"> 8. Grad der praktischen Methodenanwendbarkeit 9. Methodenbereitstellung zur Handlungsfeldableitung

Die Bewertung des SOTA erfolgt in Bezug auf diese neun definierte Bewertungskriterien, wobei diese im Folgenden detaillierter erklärt werden (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Definierte Bewertungskriterien zur Analyse und Bewertung des SOTA

Bewertungskriterium	Erklärung
1. Fokus auf Produktionsunternehmen	Bewertet, ob der Bewertungsansatz einen Fokus auf Produktionsunternehmen aufweist.
2. Operationalisierte Bewertungsattribute	Bewertet, ob die definierten Bewertungsattribute operativ im Unternehmen beobachtbar und messbar sind.
3. Ganzheitliche Bewertung im Unternehmenswertstrom	Bewertet, ob der Bewertungsansatz das Unternehmen über die Wertstrombereiche ganzheitlich abbildet.
4. Transparenz der Bewertungsmethode	Bewertet, ob die Struktur der Bewertung, die Bewertungsfragen, die Bewertungsskalen, sowie die entstehenden Resultate nachvollziehbar sind.
5. Fokus auf Messung der Digitalisierungsumsetzung	Bewertet, ob der Bewertungsansatz die Umsetzung der Digitalisierung im Unternehmen ganzheitlich abbildet.
6. Fokus auf Messung der Automatisierungsumsetzung	Bewertet, ob der Bewertungsansatz die Umsetzung der Automatisierung im Unternehmen ganzheitlich abbildet.
7. Nutzung quantitativer Messmetriken	Bewertet, ob der Bewertungsansatz quantitative Metriken zur DuA-Reifegradmessung nutzt.
8. Grad der praktischen Methodenanzwendbarkeit	Bewertet, ob der vorgestellte Bewertungsansatz direkt in der beschriebenen Form in der Praxis anwendbar ist.
9. Methodenbereitstellung zur Handlungsfeldableitung	Bewertet, ob der Bewertungsansatz Methoden zur systematischen DuA-Handlungsfeldableitung bereitstellt.

Jeder dieser Bewertungskriterien wird nach Sichtung einer Publikation mit einem Wert von 1 bis 5 angewendet – hierbei steht 1 für „Kriterium gar nicht erfüllt“ und 5 für „Kriterium voll erfüllt“. Als Resultat ergibt sich der Bewertungsdurchschnitt der neun Kriterien als Erfüllungsgrad der jeweiligen Publikation bzw. des darin beschriebenen Bewertungsmodells. Bei wissenschaftlichen Arbeiten wird des Weiteren das Qualitätskriterium eingeführt, dass diese mindestens 5-mal in anderen Publikationen zitiert wurden, um grundlegende Relevanz in der wissenschaftlichen Community zu garantieren (Überprüfung mittels Google Scholar⁷⁹). Aufgrund dieses Qualitätskriteriums wurden drei Publikationen nicht weiter berücksichtigt, was zu 56 Publikationen für die SOTA-Bewertung führt.

In der folgenden Tabelle werden die 56 recherchierten Modelle zu Bewertung der DuA nach den definierten neun Kriterien bewertet (siehe Tabelle 9).

⁷⁹ <https://scholar.google.com>

Tabelle 9: Übersicht SOTA-Bewertung anhand neun Kriterien

Nr.	Autor	Jahr	Fokus	Zitate	Bewertungskriterien 1-9									Resultierender Erfüllungsgrad (max. 5,0)
					1. Fokus auf Produktionsunternehmen	2. Operationalisierte Bewertungsattribute	3. Ganzh. Bewertung Unternehmenswertstrom	4. Transparenz der Bewertungsmethode	5. Fokus auf Messung der Digi-Umsetzung	5. Fokus auf Messung der Autoumsetzung	7. Nutzung quantitativer Mess-Metriken	8. Grad der praktischen Methodenanwendbark.	9. Methodenbereitstellung Handlungsfeldabl.	
Publikationen in Form Journal-Beitrag, Konferenzbeitrag, Buchbeitrag, White-Paper o.ä. in dauerhaft verfügbarer Form														
1	Fast et al. ⁸⁰	2008	Automatisierungsgrad von Montagesystemen	44	5	3	2	3	1	5	1	5	3	3,0
2	Billon et al.	2010	IKT-Reife auf Landesebene	74	1	5	1	5	3	1	5	1	1	2,6
3	Katz und Koutroumpis ⁸¹	2012	Bewertung Sozio-Ökonomischer Digitalisierung	34	1	1	1	5	4	1	5	3	1	2,4
4	Azhari et al. ⁸²	2014	Digitaler Reifegrad Unternehmen	9	1	1	1	2	5	1	1	4	2	1,9
5	Lichtblau et al. ⁸³	2015	Industrie 4.0 Reifegradmodell	6	3	1	2	5	5	2	1	5	5	2,9
6	Ganzarain und Errasti ⁸⁴	2016	3-Stufiges Prozessmodell für Industrie 4.0	90	4	1	1	2	2	2	1	3	4	2,3
7	Jodlbauer und Schagerl ⁸⁵	2016	Industrie 4.0-Reifegradmodell	20	4	1	1	4	3	1	1	4	2	2,3
8	Valdez-de-Leon ⁸⁶	2016	Digital Maturity Model für Telekom-Service Anbieter	29	1	1	2	5	5	1	1	5	1	2,4
9	Leyh et al. ⁸⁷	2016	Industrie 4.0 Reifegradmodell	12	4	1	1	2	3	2	1	2	1	1,8

⁸⁰ Fasth, Stahre & Dencker (2008).

⁸¹ Katz & Koutroumpis (2012).

⁸² Azhari et al. (2014).

⁸³ Lichtblau et al. (2015).

⁸⁴ Ganzarain & Errasti (2016).

⁸⁵ Jodlbauer & Schagerl (2016).

⁸⁶ Valdez-de-Leon (2016).

⁸⁷ Leyh & Schäffer, Thomas, Forstehäusler, Sven (2016).

Nr.	Autor	Jahr	Fokus	Kriterienerfüllung											
10	Bogner et al. ⁸⁸	2016	Digi-Grad deutscher Produktionsunternehmen	13	4	3	5	3	3	3	1	5	3	3,1	
11	Gill und VanBoskirk ⁸⁹	2016	Allgemeines Digitales Reifegradmodell	23	1	1	1	5	4	1	1	4	1	2,1	
12	Berghaus und Back ⁹⁰	2016	Bewertung digitaler Transformations-Stufen	40	1	1	3	4	5	1	1	2	1	2,1	
13	Schumacher et al. ⁹¹	2016	Industrie 4.0 Reifegradmodell	333	5	1	2	3	4	1	1	2	1	2,5	
14	Klötzer und Pflaum ⁹²	2017	Reifegradmodell digitale Supply Chain	46	1	1	2	5	3	1	1	4	1	2,1	
15	Jung et al. ⁹³	2017	Reifegradmodell Intelligente Produktionssysteme	25	5	1	2	3	4	1	1	2	4	2,5	
16	De Carolis et al. ⁹⁴	2017	Digitale Reife von Produktionsunternehmen	13	5	1	2	3	5	1	1	4	1	2,4	
17	Kotarba ⁹⁵	2017	Indikatoren für die Digitalisierungsmessung	13	1	5	1	1	3	1	5	1	1	2,0	
18	Gökalp et al. ⁹⁶	2017	Industrie 4.0 Reifegradmodell	21	5	1	1	4	2	1	1	4	3	2,4	
19	Rajnai und Kocsis ⁹⁷	2018	Industrie 4.0 Reifegradmodell	12	4	1	1	1	2	2	1	1	1	1,5	
20	Wolf und Strohschen ⁹⁸	2018	Quantitative Bewertung digitaler Reife	23	1	1	3	2	3	1	1	4	3	2,1	
21	Schott et al. ⁹⁹	2018	Digitalisierung in Smarten Fabriken	6	5	1	2	2	4	1	1	2	2	2,1	
22	Sjödin et al. ¹⁰⁰	2018	Implementierungsreifegradmodell Smart Factories	24	4	1	2	5	2	1	1	4	1	2,3	
23	European Commiss. ¹⁰¹	2019	Landesbewertung Digitalisierungsgrad	12	1	1	1	5	5	1	5	1	1	2,1	
Publikation in Form online verfügbarer Praxis-Tools ohne gesicherte dauerhafte Verfügbarkeit															
24 – 56 ¹⁰²	Detailliste siehe Kapitel 9.3		Digitalisierung, Automatisierung, Industrie 4.0	-	1	1	1	1	4	1	1	5	1	1,6	
Gewichteter¹⁰³ Durchschnitt über die Bewertungskriterien				2,0	1,3	1,4	2,2	3,7	1,2	1,3	4,1	1,5	2,0		

⁸⁸ Bogner et al. (2016).

⁸⁹ Gill & VanBoskirk (2016).

⁹⁰ Berghaus, Sabine, Back, Andreas (2016).

⁹¹ Schumacher, Erol & Sihn (2016a).

⁹² Klötzer & Pflaum (2017).

⁹³ Jung et al. (2017).

⁹⁴ Carolis et al. (2017).

⁹⁵ Kotarba (2017).

⁹⁶ Gökalp, Şener & Eren (2017).

⁹⁷ Rajnai & Kocsis (2018).

⁹⁸ Wolf & Strohschen (2018).

⁹⁹ Schott et al. (2018).

¹⁰⁰ Sjödin et al. (2018).

¹⁰¹ European Commission DESI-Index (2019b).

¹⁰² Zusammenfassung aufgrund sehr ähnlicher Eigenschaften aller Tools

¹⁰³ Gewicht aus 1-23 und 24-56 als ein eingetragener Wert in der SOTA-Bewertungstabelle

Die Publikationen 1-23 weisen hierbei einen wissenschaftlichen Hintergrund auf, während die Publikationen 24-56 aus Praxistools ohne ersichtlichen Forschungshintergrund bestehen. Die recherchierten Praxistools wurden zu Ableitung möglicher Entwicklungseigenschaften des eigenen Modells berücksichtigt, tragen jedoch nicht direkt zu den definierten Problemstellungen der Dissertation bei.

3.4 Identifikation der Forschungslücken

Im Folgenden werden, zur Ableitung der Forschungslücken, die Defizite aller 56 bewerteten Modelle und damit die Gesamtheit des recherchierten SOTA quantifiziert und gegenübergestellt.

3.4.1 Resultate der SOTA-Bewertung

Zur Bewertung des SOTA wird der durchschnittliche Erfüllungsgrad der 56 relevanten Publikationen für die neun definierten Bewertungskriterien herangezogen (siehe Abbildung 13).

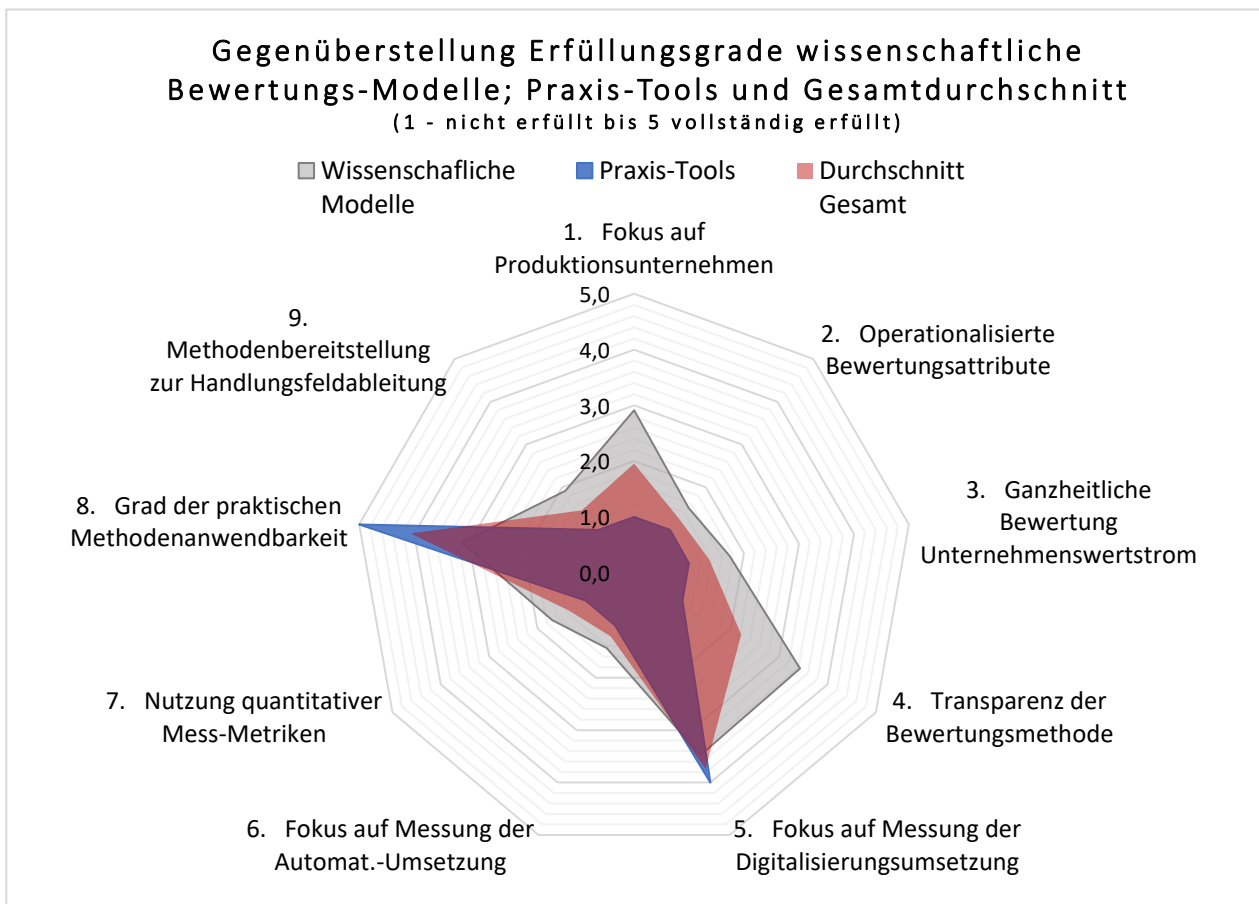


Abbildung 13: Bewertungsdurchschnitt aller Publikationen anhand 10 Bewertungskriterien (eigene Darstellung)

Hierbei ist der gewichtete Durchschnitt über alle Bewertungsmodelle in orange, der Durchschnitt über alle wissenschaftlichen Bewertungsmodelle in grau und jener über alle nichtwissenschaftlichen Praxistools in blau gegenübergestellt. Über alle Publikationen wurde ein durchschnittlicher Erfüllungsgrad aller Kriterien von 2,0 aus 5,0 erreicht. Im Detail wurde aus Sicht wissenschaftlicher Modelle ein Erfüllungsgrad von 2,3 aus 5,0 und aus Sicht der Praxistools ein Erfüllungsgrad von 1,6 aus 5,0 erreicht. Der Bewertungsvergleich der beiden Modellarten (Wissenschaftliche vs. Praxistools) ergibt folgende Gegenüberstellung (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Gegenüberstellung wissenschaftlicher Bewertungsmodelle und nichtwissenschaftlicher Praxistools

Bewertungskriterium	Wissenschaftliche Modelle	Praxis-Tools	Differenz Wiss. zu Praxis-Tools
1. Fokus auf Produktionsunternehmen	2,9	1,0	1,9
2. Operationalisierte Bewertungsattribute	1,5	1,0	0,5
3. Ganzheitliche Bewertung Unternehmenswertstrom	1,7	1,0	0,7
4. Transparenz der Bewertungsmethode	3,4	1,0	2,4
5. Fokus auf Messung der Digitalisierungsumsetzung	3,5	4,0	-0,5
6. Fokus auf Messung der Automat.-Umsetzung	1,4	1,0	0,4
7. Nutzung quantitativer Mess-Metriken	1,7	1,0	0,7
8. Grad der praktischen Methodenanwendbarkeit	3,1	5,0	-1,9
9. Methodenbereitstellung zur Handlungsfeldableitung	1,9	1,0	0,9

Die wissenschaftlichen Modelle weisen im Bereich wissenschaftlichen Relevanz, der Methodentransparenz, sowie dem gesetzten Fokus auf Produktionsunternehmen einen höheren Erfüllungsgrad auf als die Praxistools (Differenz von 1,7). Die nichtwissenschaftlichen Praxis-Tools weisen hingegen höhere Erfüllungsgrade im Bereich der Praxisrelevanz (Diff. 1,9) sowie bei der Ganzheitlichkeit der Digitalisierungsbewertung (Diff. 0,5) auf. In Bezug auf die Kriterien der ganzheitlichen Automatisierungsbewertung, der Wertstromorientierung, der Nutzung operationalisierter und quantitativer Mess-Metriken, sowie der Bereitstellung von Methoden zur DuA-Handlungsfeldableitung zeigen Publikationen beider Arten ähnliche Erfüllungsgrade zwischen 1,0-1,9 aus 5,0.

3.4.2 Ableitung der Forschungslücken

Die Forschungslücken ergeben sich aus der fehlenden Erfüllung der definierten Bewertungskriterien durch den SOTA und dem somit fehlendem Lösungsbeitrag zu den eingangs definierten Problemstellungen. Hierzu wird die Differenz zwischen dem Erfüllungsgrad des SOTA mit dem maximalen Erfüllungsgrad gebildet (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Differenz gesamter SATO zu Max.-Bewertung der neun Kriterien (Max-Bewertung: 5,0)

Bewertungskriterium	Erfüllungsgrad SOTA	Differenz zu Max-Erfüllung
1. Fokus auf Produktionsunternehmen	2,0	3,0
2. Operationalisierte Bewertungsattribute	1,3	3,7
3. Ganzheitliche Bewertung Unternehmenswertstrom	1,4	3,6
4. Transparenz der Bewertungsmethode	2,2	2,8
5. Fokus auf Messung der Digitalisierungsumsetzung	3,7	1,3
6. Fokus auf Messung der Automat.-Umsetzung	1,2	3,8
7. Nutzung quantitativer Mess-Metriken	1,3	3,7
8. Grad der praktischen Methodenanwendbarkeit	4,1	0,9
9. Methodenbereitstellung zur Handlungsfeldableitung	1,5	3,5

Die Differenz des SOTA zum maximalen Erfüllungsgrad der definierten Bewertungskriterien wird genutzt, um hieraus neun Forschungslücken zu identifizieren. Die Forschungslücken sind dabei über deren Nummerierung direkt der Reihung der neun Bewertungskriterien zugeordnet.

- **Forschungslücke 1** besteht im fehlenden Fokus der Bewertungsansätze auf Produktionsunternehmen. Einige der Bewertungsansätze fokussieren durch die Entwicklung von Industrie 4.0-Reifegradmodellen bereits Industrieunternehmen, grenzen hier jedoch nicht weiter auf produzierende Industrieunternehmen diskreter Güter ein. Die meisten Bewertungsmodelle lassen den Bewertungsfokus bzw. die Anwenderbranche weitgehend offen.
- **Forschungslücke 2** besteht in der fehlenden Operationalisierung der Bewertungsmodelle für reale Produktionsunternehmen. Aus keiner der recherchierten Publikationen konnten Bewertungsansätze extrahiert werden, welche die DuA oder Industrie 4.0 aus operativer Sicht beleuchten. Es werden entweder einzelne operative Ansätze in Form von Technologien bewertet, oder wird versucht, abstrakte Konzepte wie die Integration oder Vernetzung von Systemen und Prozessen direkt zu bewerten.
- **Forschungslücke 3** besteht in der fehlenden ganzheitlichen Berücksichtigung der Wertstromelemente eines Produktionsunternehmens. Gesichtete Bewertungsmodelle bewerten nur einzelne DuA-Konzepte oder Unternehmensbereiche. Einzelne Publikationen nehmen zwar auf Prozesslandschaften in Unternehmen Bezug, berücksichtigen die prozessualen Zusammenhänge der Geschäftsprozesse jedoch nicht. Keines der Modelle berücksichtigt den gesamten Unternehmenswertstrom inkl. Administrationsprozesse.
- **Forschungslücke 4** besteht in der fehlenden Transparenz in Bezug auf die Bewertungsmethodik. Die meisten bereitgestellten Praxistools erlauben keinen Einblick in die Details der Bewertungslogik bzw. Mess-Metrik, sondern springen direkt zur Resultatpräsentation.
- **Forschungslücke 5** besteht in der fehlenden ganzheitlichen Digitalisierungsbewertung. Der Großteil der Publikationen zieht eine begrenzte Auswahl an Digitalisierungsaspekten zur Bewertung heran, wobei keine Konsistenz zwischen den Publikationen erkennbar ist. Meist werden konkrete Technologien (z.B. Existenz digitale Cloud-Services) oder Endresultate der DuA (z.B. Existenz digitale Kommunikationsprozesse) abgefragt. Bewertungsansätze mit einer ganzheitlichen Bewertung der Digitalisierungsumsetzung auf verschiedenen Ebenen konnten nicht gesichtet werden.
- **Forschungslücke 6** besteht in der fehlenden ganzheitlichen Bewertung der Automatisierung. Das Thema der Automatisierung in Produktionsunternehmen ist seit einigen Jahrzehnten relevant, trotzdem konnten keine wissenschaftlich relevanten Modelle zur ganzheitlichen Bewertung des Automatisierungsgrades gefunden werden.
- **Forschungslücke 7** besteht in der fehlenden Nutzung quantitativer Mess-Metriken zur DuA-Bewertung. In allen Publikationen, welche Bewertungsansätze auf Unternehmensebene vorstellen, werden qualitative Mess-Metriken zur Erfassung der DuA-Reife verwendet (entspricht subjektiven Einschätzungen). Nur Bewertungsmodelle mit makroökonomischem Fokus nutzen quantitative Metriken. Diese haben jedoch für Einzelunternehmen wenig Relevanz.
- **Forschungslücke 8** besteht in der fehlenden Praxisrelevanz existierender Bewertungsmodelle. Die meisten wissenschaftlichen Bewertungsmodelle kommen nur in Fallstudien zur

Anwendung. Die Praxisanwendung wird des Weiteren nicht im Detail ausgeführt und kann dadurch nicht nachvollzogen werden bzw. ist nicht replizierbar.

- **Forschungslücke 9** besteht in der fehlenden Methodenbereitstellung für die Ableitung von DuA-Handlungsfeldern aus den Bewertungsergebnissen. Einzelne Ansätze beschreiben generische Handlungsempfehlungen auf Basis der Bewertungsergebnisse. Jedoch leitet kein Modell systematisch durch die Ableitung und Priorisierung unternehmensindividueller Handlungsfelder.

Die neun hier angeführten Forschungslücken führen im Folgekapitel zur Ableitung des Forschungsbedarfes sowie den Zielen und Nutzen der Dissertation.

4 Resultierender Forschungsbedarf, Ziele und Nutzen

Kapitel 4 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, der Definition der Entwicklungsziele und Ergebnisse (siehe Abbildung 14).

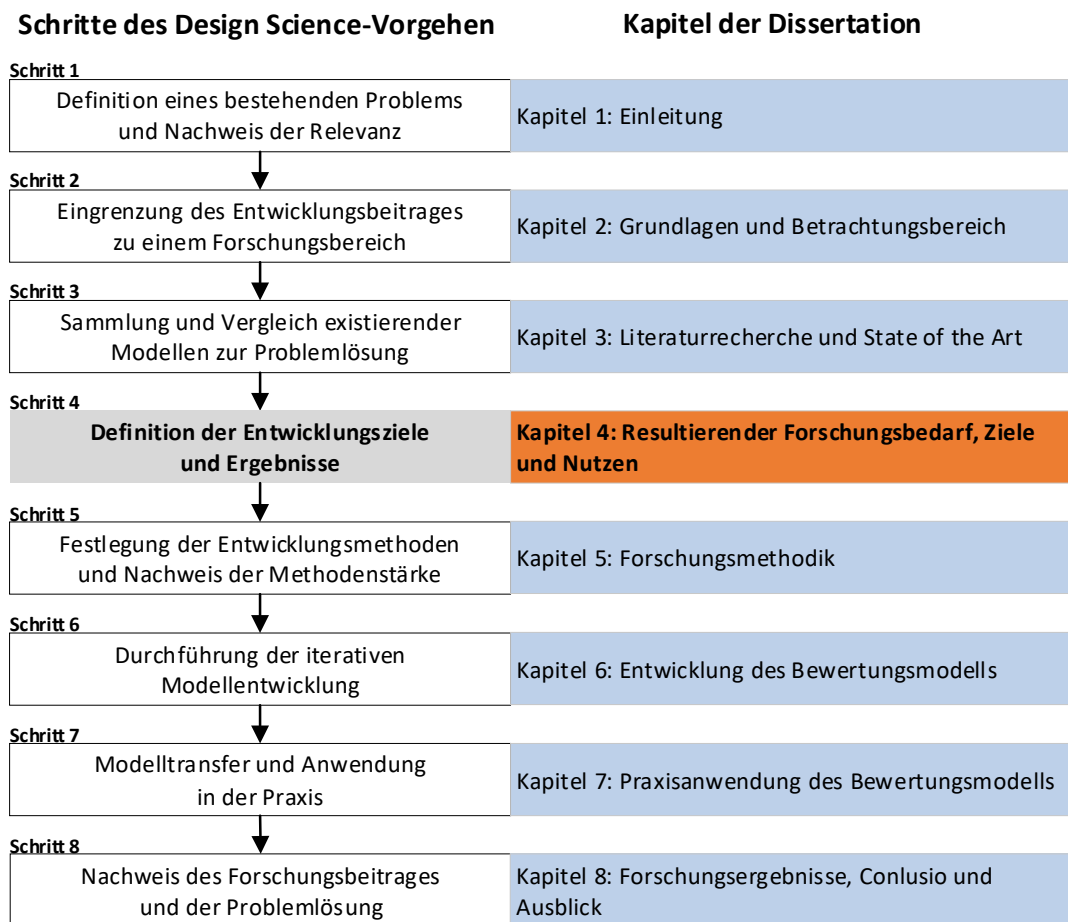


Abbildung 14: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Die Ausarbeitung von *Kapitel 4* beinhaltet die Ableitung des Forschungsbedarf aus den Forschungslücken, sowie den damit verbundenen Zielen und deren Nutzen. Des Weiteren werden Anforderungen an das eigene Bewertungsmodell festgelegt (siehe Abbildung 15).

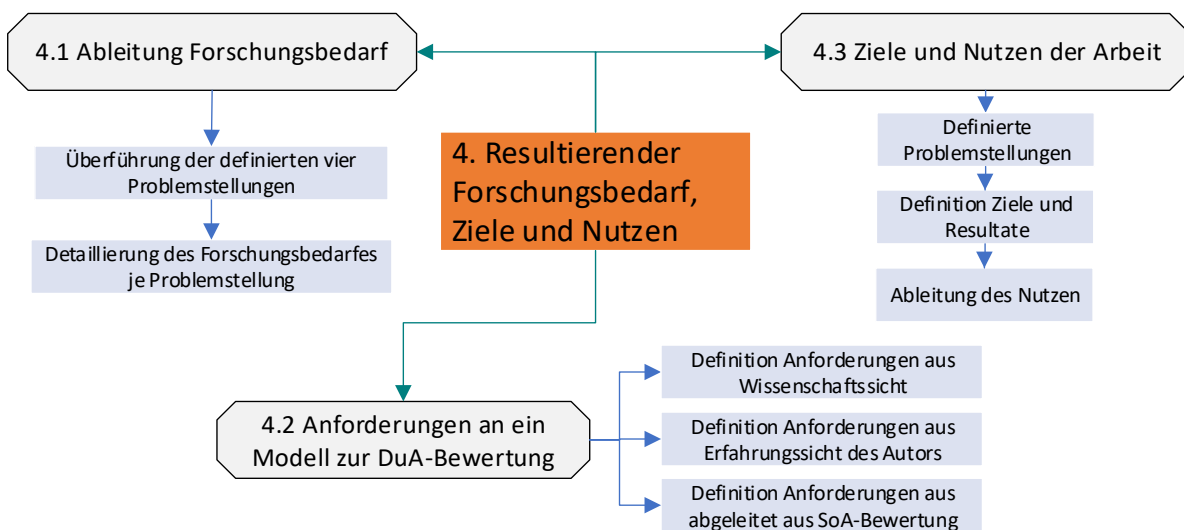


Abbildung 15: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 4 (eigene Darstellung)

4.1 Ableitung des Forschungsbedarfes

In *Kapitel 1.2* wurden vier Problemstellungen angeführt, welche nun in einen konkreten Forschungsbedarf überführt werden (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Ableitung des Forschungsbedarfes aus den Forschungslücken

Definierte Problemstellung	Identifizierte Forschungslücke	Resultierender Forschungsbedarf
1. Fehlende Überführung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in real bewertbare DuA-Ansätze.	<ul style="list-style-type: none"> Fehlender Fokus der Bewertungsansätze auf Produktionsunternehmen. Fehlende Operationalisierung der Bewertungsmodelle für reale Produktionsunternehmen. 	<ul style="list-style-type: none"> Schaffung eines Betrachtungsbereiches für ein DuA-Bewertungsmodell mit Bezug auf Produktionsunternehmen. Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in praktisch bewertbare DuA-Ansätze.
2. Fehlende Methoden, um den DuA-Reifegrad im Unternehmen ganzheitlich und objektiv zu bewerten	<ul style="list-style-type: none"> Fehlende ganzheitliche Berücksichtigung der Wertstromelemente eines Produktionsunternehmens. Fehlende Transparenz in Bezug auf die Bewertungsmethodik. 	<ul style="list-style-type: none"> Schaffung einer Bewertungsbasis aufbauend auf der Wertstromsichtweise. Entwicklung eines Bewertungsmodells dessen Methodik transparent und replizierbar ist.
3. Fehlende Metriken zur quantitativen Messung der DuA-Reife in Produktionsunternehmen.	<ul style="list-style-type: none"> Fehlenden ganzheitliche Digitalisierungsbewertung Fehlende ganzheitliche Digitalisierungsbewertung Fehlende Nutzung quantitativer Mess-Metriken 	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches Ansätze der Digitalisierung und Automatisierung ganzheitlich berücksichtigt und bewertbar macht. Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches ausschließlich quantitative Mess-Metriken verwendet.
4. Fehlende Ansätze zur systematischen Priorisierung der DuA-Handlungsfelder im Unternehmen.	<ul style="list-style-type: none"> Fehlende Praxisrelevanz existierender Bewertungsmodelle Fehlende Methodenbereitstellung für die Ableitung von DuA-Handlungsfeldern 	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung von Vorgehensweisen für die praktische Anwendung des Bewertungsmodells in Produktionsunternehmen. Festlegung einer Systematik, um DuA-Handlungsfelder zu identifizieren und zu priorisieren.

Im Folgenden wird der abgeleitete Forschungsbedarf in konkrete Anforderungen an das DuA-Bewertungsmodell dieser Dissertation überführt.

4.2 Anforderungen an ein Bewertungsmodell der Digitalisierung und Automatisierung

Die Definition konkreter Anforderungen an das geplante Bewertungsmodell soll sicherstellen, dass dieses wissenschaftliche Standards erfüllt und einen Beitrag zu Lösung der definierten Problemstellungen, sowie zur Behebung der Forschungslücken liefert. Die Anforderungen an das Bewertungsmodell werden dabei in drei Bereiche eingeteilt:

1. Anforderungen zur Sicherstellung der Erfüllung wissenschaftlicher Standards
2. Anforderungen abgeleitet aus den Erfüllungslücken des SOTA
3. Anforderungen auf Basis von gesammelten Rückmeldungen aus Industrieprojekten

Im Folgenden werden konkrete Anforderungen zu den drei Bereichen definiert.

1. **Anforderungen aus Sicht der Wissenschaft an Bewertungsmodelle:** diese wurden direkt aus Basisliteratur zur Entwicklung von Bewertungsmodellen abgeleitet und daher ist jede Anforderung mit einer Literaturquelle versehen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Modellanforderungen aus Wissenschaftssicht

Anforderungen:
Modellentwicklung nach einem anerkannten Forschungsprozess ¹⁰⁴
Transparenz des Entwicklungsprozesses des Bewertungsmodells ¹⁰⁵
Berücksichtigung existierender Bewertungsmodelle ¹⁰⁶
Transparenz der Entwicklungs- und Anwendungslogik ¹⁰⁷
Iterative Entwicklung und Testung des Bewertungsmodells ¹⁰⁸
Nutzung eines latenten Variablensystems zur Messung operativer Größen ¹⁰⁹
Nutzung anerkannter und konsistenter Mess-Metriken ¹¹⁰
Nutzung anerkannter statistischer Auswertungsverfahren ¹¹¹
Entwicklung von Transfermedien zur Modellanwendung ¹¹²

2. **Anforderungen aus den Erfüllungslücken des SOTA:** diese ergeben sich aus den Erfüllungslücken des SOTA in Bezug auf die Bewertungskriterien für diesen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Modellanforderungen aus Sicht des bewerteten SOTA

Anforderungen:
Eingrenzung des Bewertungsmodells auf Produktionsunternehmen
Aufbau des Bewertungsmodells nach der Struktur der Wertstromsichtweise
Ganzheitliche Bewertung von Digitalisierungs- und Automatisierungs-Konzepten
Festlegung quantitativer Mess-Metriken für die Bewertung
Festlegung einer Methodik zur Anwendung des Bewertungsmodells
Festlegung einer Methodik zur Ableitung von DuA-Handlungsfeldern

¹⁰⁴ Repko (2008, S.217).

¹⁰⁵ Gleasure, Feller & O'Flaherty (2012, S.15).

¹⁰⁶ Hevner et al. (2004, S.84).

¹⁰⁷ Martinez-Moyano (2012, S.202).

¹⁰⁸ Hevner et al. (2004, S.84).

¹⁰⁹ Atteslander & Cromm (2008, S.129).

¹¹⁰ Atteslander & Cromm (2008, S.138).

¹¹¹ Mason, Hess & Gunst (2003, S.109).

¹¹² Fidel & Green (2004, S.564).

3. **Anforderungen auf Basis von gesammelten Rückmeldungen aus Industrieprojekten:** diese wurden aus zahlreichen Anwendungen eines themenverwandten Bewertungsmodells sowie damit verbundener Experteninterviews abgeleitet¹¹³ (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Modellanforderungen aus Praxissicht

Anforderungen:
Limitierung der Anzahl der DuA-Konzepte für die Bewertung zur Sicherstellung der Praktikabilität des Bewertungsmodells.
Beschreibungen der Inhalte des Bewertungsmodells in präziser Sprache zur Minimierung subjektiver Bewertung aufgrund abweichendem Begriffsverständnis.
Fachbezogene Zuordnung der Bewertungsinhalte zu bewertenden Personen im Unternehmen, um den Bewertungsaufwand zu minimieren und die Aussagekraft der Antworten zu erhöhen.
Bereitstellung von digitalen Online-Tools zur Bewertungsdurchführung, um den Bewertungsaufwand zu minimieren.
Graphische Aufbereitung der Bewertungsergebnisse sowie Erstellung einer transferierbaren Bewertungsdokumentation.

Die hier definierten Anforderungen sollen zum einen zur Validität, Objektivität und Systematik der Modellentwicklung beitragen, sowie praktischer Anforderungen bzgl. Anwendbarkeit und Nutzbarkeit der Ergebnisse garantieren. Ziel der Dissertation ist es, angesiedelt im angewandten Forschungsbereich, die Anforderungen beider Bereiche möglichst umfassend zu erfüllen.

Im Folgenden werden, basierend auf dem definierten Forschungsbedarf, Ziele der Dissertation sowie Resultate und deren Nutzen zusammengefasst.

4.3 Ziele und Nutzen der Dissertation

Aus dem identifizierten Forschungsbedarf ergeben sich Ziele dieser Dissertation sowie ein entstehender Nutzen. Zusammengefasst besteht das Ziel der Dissertation in der Entwicklung eines operativen und quantitativen Bewertungsmodells zur Messung und Bewertung der DuA-Reife im Unternehmen, sowie zur Ableitung und Priorisierung von DuA-Handlungsfeldern. Zugeordnet zum identifizierten Forschungsbedarf lassen sich folgende Ziele sowie ein beabsichtigter Nutzen anführen (siehe Tabelle 16).

¹¹³ Die Berücksichtigung von Anforderungen auf Erfahrungsbasis des Dissertanten wird durchgeführt, da dieser seit einigen Jahren im Bereich der Reifegradbewertung von

Produktionsunternehmen tätig ist. Während dieser Tätigkeit konnten einige Anforderungen gesammelt werden, welche in die Entwicklung des Bewertungsmodells einfließen sollen.

Tabelle 16: Forschungsbedarf, Ziele, Resultate und Nutzen der Dissertation

Resultierender Forschungsbedarf	Forschungsziel	Nutzen
Schaffung eines Betrachtungsbereiches für ein DuA-Bewertungsmodell mit Bezug auf Produktionsunternehmen.	Systematische Eingrenzung der Anwendbarkeit des Bewertungsmodells.	Fokussierung der Entwicklung des Bewertungsmodells und Sicherstellung passender Anwendung.
Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in praktisch relevante DuA-Ansätze.	Entwicklung eines Rahmenmodells zur Abbildung der Industrie 4.0-Zielzustände über reale DuA-Zielzustände.	Bereitstellung eines Rahmenmodells zur Operationalisierung der Industrie 4.0.
Schaffung einer Bewertungsbasis aufbauend auf der Wertstromsichtweise.	Strukturierung des Bewertungsmodells nach der Wertstromsichtweise.	Sicherstellung der ganzheitlichen Bewertung über das Unternehmen.
Entwicklung eines Bewertungsmodells dessen Methodik transparent und replizierbar ist.	Verfolgung eines Entwicklungsvorgehens welches, anerkannten Methoden folgt und welches vollständig replizierbar ist.	Möglichkeit für andere Wissenschaftler, die Entwicklungen für weitere Forschungen zu nutzen.
Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches Ansätze der Digitalisierung und Automatisierung ganzheitliche berücksichtigt und bewertbar macht.	Ganzheitliche Erfassung von Digitalisierungs- und Automatisierungskonzepten nach dem derzeitigen Stand der Technik.	Die DuA-Reife eines Unternehmens kann vollständig abgebildet und bewertet werden.
Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches ausschließlich quantitative Mess-Metriken verwendet.	Festlegung von Metriken, welche die Umsetzung der DuA-Ansätze im Unternehmen quantitativ erfassbar macht.	Objektive Messung und Bewertung der DuA-Reife.
Entwicklung von Vorgehensweisen für die praktische Anwendung des Bewertungsmodells in Produktionsunternehmen.	Bereitstellung einer Methodik zur einfachen Anwendung des Bewertungsmodells.	Möglichkeit die Bewertung der DuA-Reife angeleitet durchzuführen.
Festlegung einer Systematik, um DuA-Handlungsfelder zu identifizieren und zu priorisieren.	Bereitstellung einer Systematik, welche von den Bewertungsergebnissen zu priorisierten DuA-Handlungsfeldern führt.	Nachvollziehbar Ableitung der DuA-Handlungsfelder aus den Bewertungsergebnissen.

Der Beitrag der Dissertation zum definierten Forschungsbedarf wird am Ende der Arbeit in *Kapitel 8*, zusammen mit der Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen, bewertet.

5 Forschungsmethodik

Kapitel 5 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, der Festlegung der Entwicklungsmethoden um den Nachweis der Methodenstärke (siehe Abbildung 16).

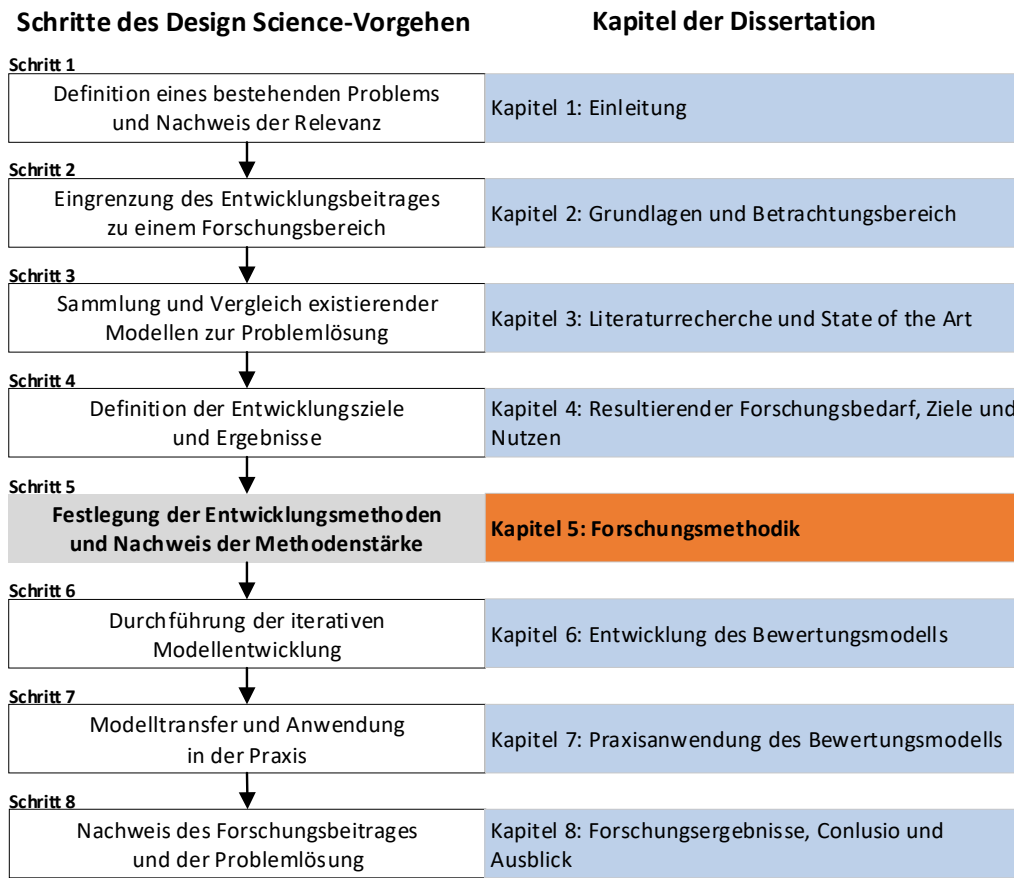


Abbildung 16: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Die Ausarbeitung von *Kapitel 5* beinhaltet die Definition der Forschungsfragen und Hypothesen, sowie die Festlegung verwendeter Forschungsmethoden. Weiters werden die Validierungen der Entwicklungen und Resultate zum Nachweis der Methodenstärke festgelegt (siehe Abbildung 17).

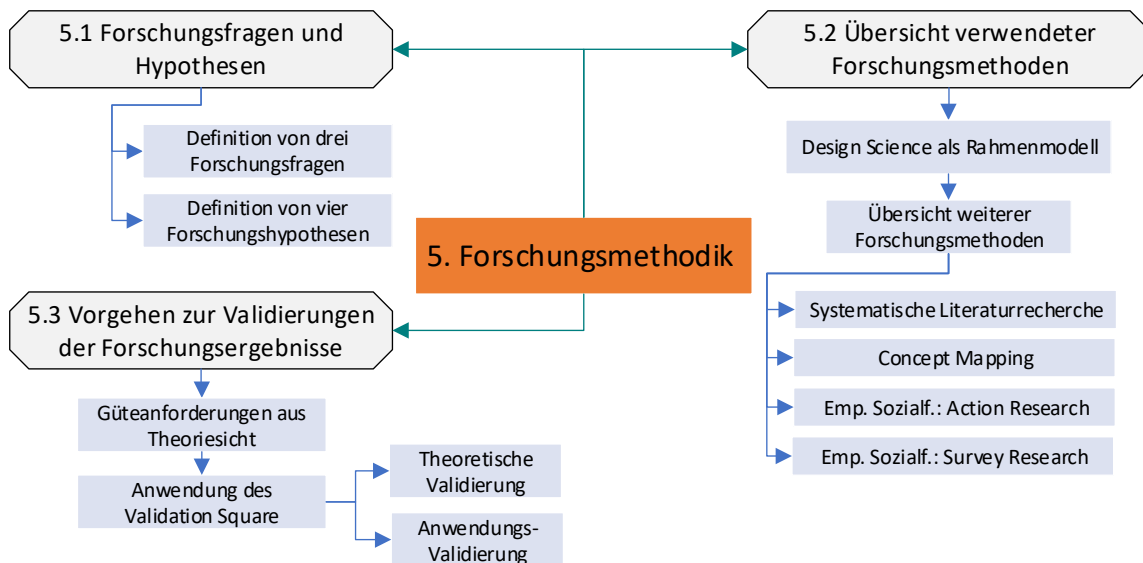


Abbildung 17: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 5 (eigene Darstellung)

5.1 Forschungsfragen und Hypothesen

Für die Definition der Forschungsfragen wurden geltende Anforderungen der Literatur an Forschungsfragen wie deren Relevanz und Klarheit, ein eingrenzender Fragencharakter, die Beantwortbarkeit im Rahmen der Untersuchungen, oder ausreichende Komplexität zur Gewinnung neuen Wissens berücksichtigt – Folgende drei Forschungsfragen wurden somit definiert:^{114 115}

1. Welche Elemente der industriellen Digitalisierung und Automatisierung müssen berücksichtigt werden, um den DuA-Reifegrad ganzheitlich bewerten zu können?
2. Welche Strukturen und Inhalte muss ein Bewertungsmodell aufweisen, um den DuA-Umsetzungsgrad ganzheitlich zu erfassen?
3. Welchen Messgrößen und Metriken sind erforderlich, um den DuA-Reifegrad quantitativ messen zu können?

Neben den Forschungsfragen werden auch Hypothesen definiert, deren Zutreffen im Rahmen der Ausarbeitung getestet werden soll. Die folgende Festlegung der Hypothesen basiert auf den grundlegenden Zusammenhängen zwischen theoretischer und empirischer Forschung¹¹⁶ bzw. mit dem damit einhergehenden deduktiven¹¹⁷ und induktivem¹¹⁸ Forschungsvorgehen.

5.1.1 Deduktiv/qualitativ zu beantwortende Hypothesen:

1. Die drei Zielzustände der Industrie 4.0 können über die integrierte Verknüpfung der Zielzustände der DuA mit Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren modelliert werden.
2. Die Nutzung quantitativer und operationalisierter DuA-Messgrößen erhöht die Effizienz bei der Bewertung des DuA-Reifegrades im Vergleich zu qualitativen Messgrößen

5.1.2 Induktiv/quantitativ zu beantwortende Hypothesen:

1. Die Nutzung quantitativer Messskalen bei der Erhebung der DuA-Reife in Industrieunternehmen führt zu Unterschieden bei der Eigeneinschätzung von Industrieunternehmen, im Vergleich zu qualitativen Messskalen.
2. Ein erhöhter DuA-Reifegrad eines Industrieunternehmens wirkt sich positiv auf dessen Produktionskennzahlen wie Auslastung, Termintreue oder Durchlaufzeit aus.

Auf die Beantwortung der Forschungsfragen, als auch auf die Testung der postulierten Hypothesen wird in *Kapitel 8.3* eingegangen.

5.2 Übersicht verwendeter Forschungsmethoden

Im folgenden Abschnitt werden die verwendeten Methoden, sowie deren Zusammenführung in ein Forschungsdesign, vorgestellt. Als Forschungsdesign wird die Kombination stringenter Forschungsschritte mit den jeweiligen wissenschaftlichen Methoden verstanden. Durch die Festlegung eines Forschungsdesigns wird die Eingrenzung, Objektivität und Validität¹¹⁹ der neuen Erkenntnisse sichergestellt und gleichzeitig Replizierbarkeit und Generalisierbarkeit¹²⁰ ermöglicht.

¹¹⁴ Gläser & Laudel (2004, S.63).

¹¹⁵ Bauer (2013, S.24).

¹¹⁶ Popper (1935, S.9).

¹¹⁷ Von gesicherten allgemeinen Erkenntnissen zum Einzelfall mittels top-down-Ansatz

¹¹⁸ Von beobachteten Einzelfällen zu allgemeingültigen Erkenntnissen mittels bottom-up-Ansatz

¹¹⁹ Creswell & Poth (2018, S.18).

¹²⁰ Maxwell J.A. (2013, S.39).

Die genutzten Forschungsmethoden stellen wiederum die wissenschaftlich fundierte operative Umsetzung Forschungsschritte sicher.

Die wissenschaftliche Basis der eigenen Entwicklungen stellt das Design Science nach Hevner et al. dar, welches auch zur Festlegung einer Vorgehensweise zur Ausarbeitung der Dissertation genutzt wurde (siehe Vorgehensweise jeweils zu Beginn der Kapitel). Im Design Science wird die Entwicklung sog. Artefakte, zur Abbildung realer Problemstellungen, über die Verfolgung dreier integrierter Zyklen verfolgt (siehe Abbildung 18).

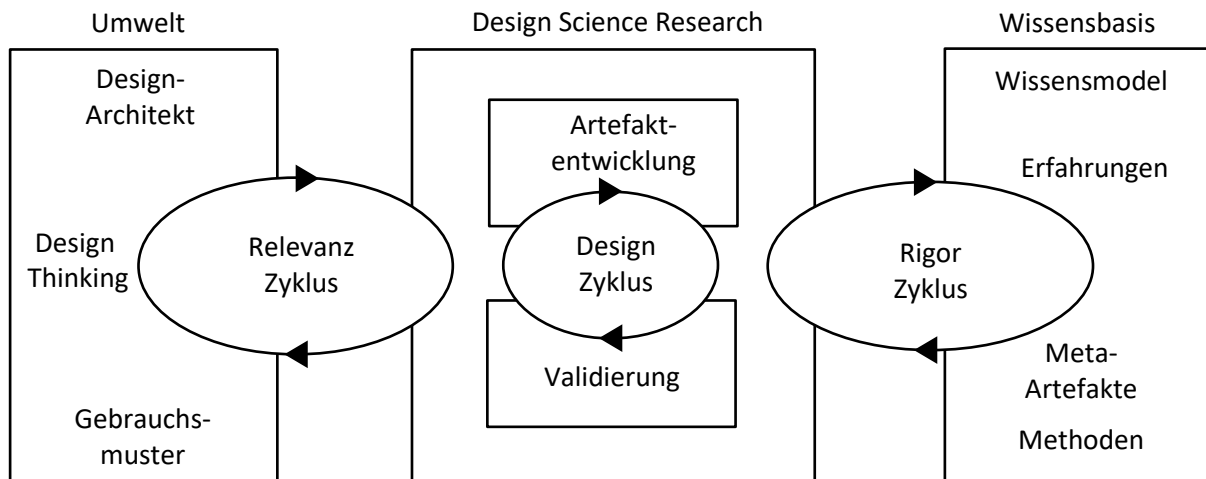


Abbildung 18: Rahmenmodell nach Design Science¹²¹

- Design Zyklus: Stellt die iterative Entwicklung der Artefakte sowie deren Validierung sicher.
- Rigor Zyklus: Stellt die Nutzung einer wissenschaftlich fundierten Wissensbasis sicher.
- Relevanz-Zyklus: Stellt die praktische Relevanz der Entwicklungen in der Umwelt sicher.

Die Inhalte und Abhängigkeiten der drei Zyklen übersetzen Hevner et al. in sieben praktische Richtlinien, welche allesamt im Entwicklungsprozess dieser Dissertation eingehalten werden (Tabelle 17).

Tabelle 17: Sieben Richtlinien des Design Science

Richtlinie	Beschreibung
Nr. 1: Design als Artefakt	Als Ergebnis des Design-Science-Vorgehens muss ein variables Konstrukt in Form eines Modells, einer Methode oder einer Instanz entstehen.
Nr. 2: Problem relevanz	Entwickelte Artefakte müssen der Lösung eines bestehenden, relevanten und definierten praktischen Problems dienen.
Nr. 3: Design-evaluierung	Die Systematik, Nutzbarkeit und Effizienz entwickelter Artefakte muss wiederkehrend nachgewiesen werden.
Nr. 4: Forschungsbeitrag	Der Beitrag der entwickelten Artefakte, sowie der Vorgehensweisen zum betreffenden Forschungsbereich muss vorhanden sein und nachgewiesen werden.
Nr. 5: Wissenssch. Methodenstärke	Die Entwicklung eines Artefaktes, dessen Design, als auch der Anwendung müssen allesamt auf Basis anerkannter wissenschaftlicher Methoden stattfinden.

¹²¹ Hevner (2007, S.89).

Nr. 6: Entwicklung der Artefakte als Suchprozess	Die Prüfung, Anwendung und Verbesserung von Methoden zur Entwicklung effizienter Artefakte müssen als dynamischer und iterativer Suchprozess erfolgen.
Nr. 7: Kommunikation der Ergebnisse	Ergebnisse aus dem Forschungsprozess müssen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Zielgruppen gleichermaßen zugänglich gemacht werden.

Die Überführung der Design Science-Richtlinien in eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bewertungsmodells folgt dem Ansatz nach Becker et al.¹²². Dieser überführt die Design Science-Richtlinien in ein Vorgehensmodell konkret für die Entwicklung von Bewertungsmodellen.

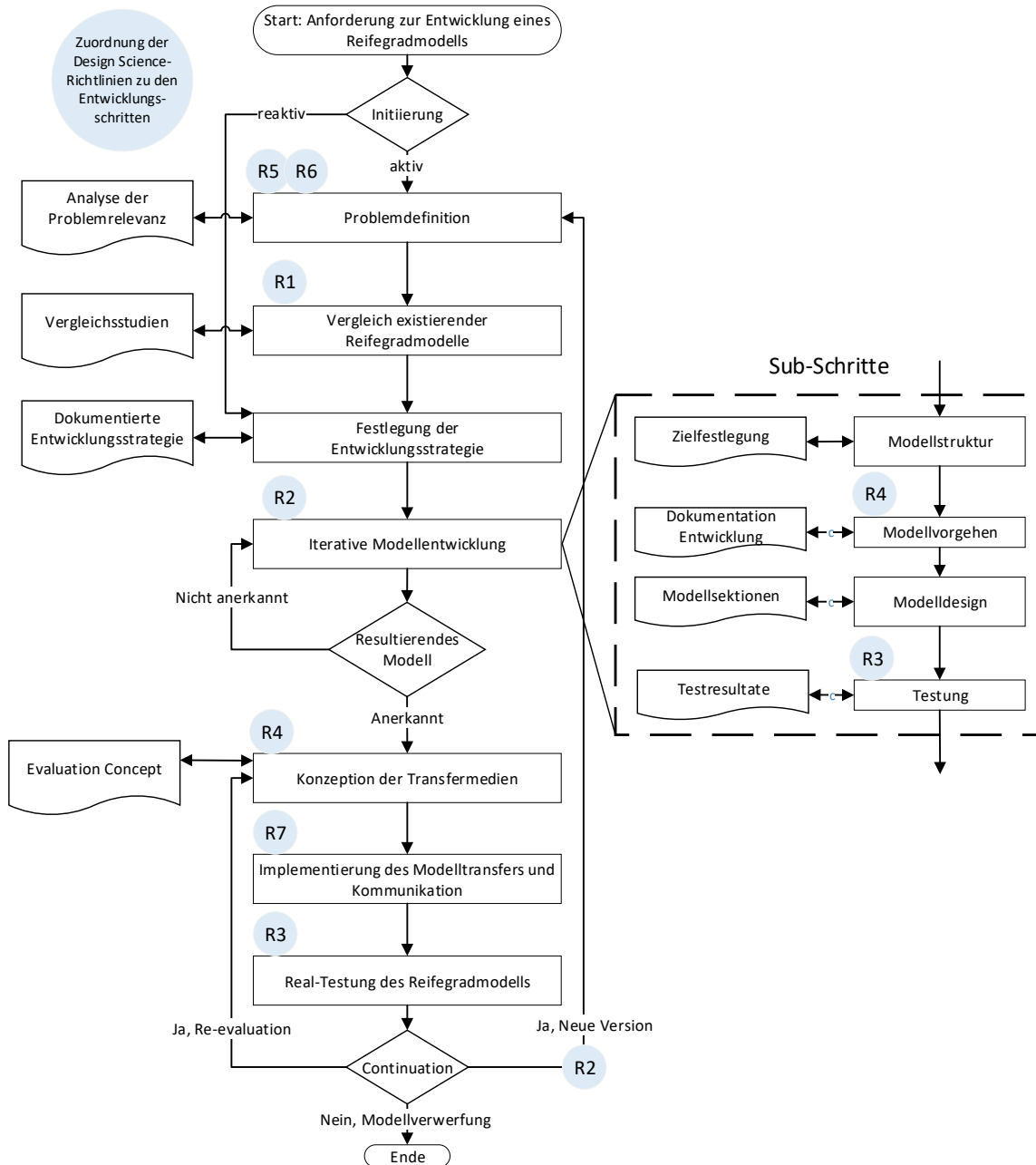


Abbildung 19: Vorgehensmodell nach Design Science für Reifegradmodelle

¹²² Becker, Knackstedt & Pöppelbuß (2009, p 218).

Die Einhaltung der Design Science-Richtlinien wird über die Anwendung erforderlicher Forschungsmethoden an den jeweiligen Schritten des Vorgehensmodells sichergestellt (siehe Abbildung 20).

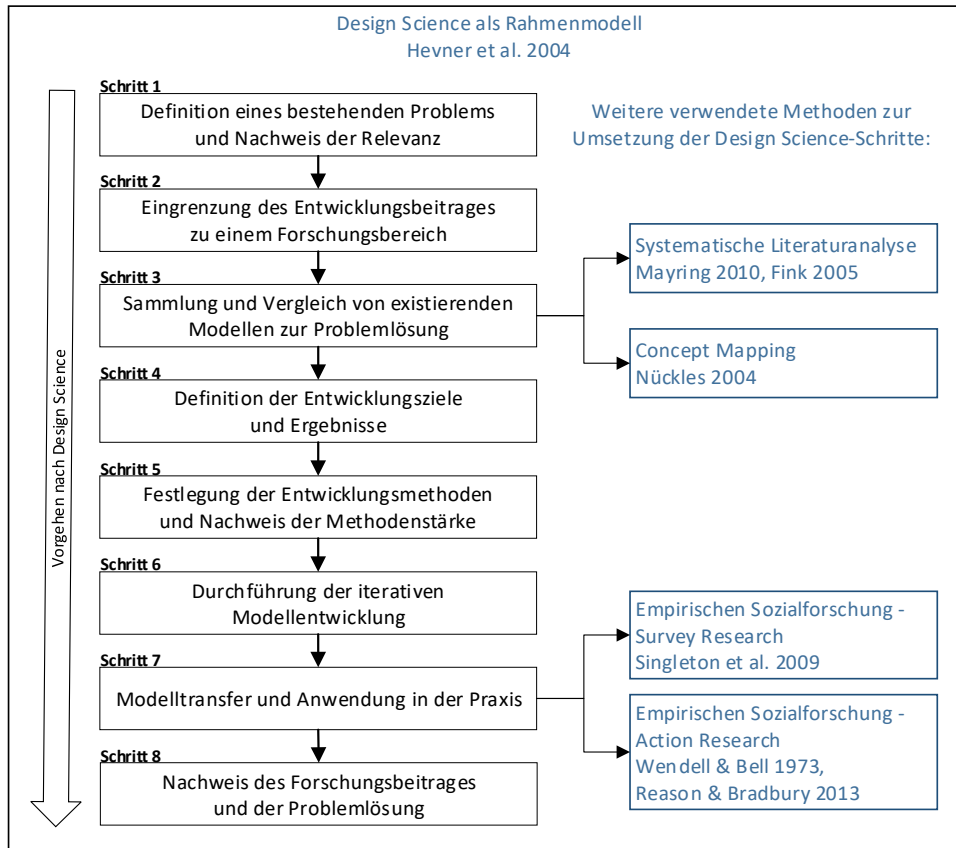


Abbildung 20: Zuordnung verwendeter Forschungsmethoden zum Design Science-Rahmenmodell und Vorgehen

Die einleitende systematische Literaturanalyse zur Bewertung des SOTA (siehe Schritt 2) folgt der Inhaltsanalyse nach Mayring¹²³ und Fink¹²⁴. Die Strukturierung der daraus erlangten Erkenntnisse, sowie der Vergleich existierender Bewertungsmodelle folgt Visualisierungsansätzen des Concept-Mapping nach Nückles¹²⁵ (ebenfalls in Schritt 2). Die Anwendung des Bewertungsmodells in Form von Use-Cases in Einzelunternehmen, sowie einer Industriestudie (siehe Schritt 5) folgt dem Vorgehen des Action- und Survey Research, etwa nach Wendell & Bell¹²⁶ und Reason & Bradbury¹²⁷.

Trotz der hybriden Methoden-Nutzung, lassen sich die verwendeten Methoden klar in qualitative und quantitative Ansätze einteilen, welche im theoretischen und empirischen Teil der Dissertation zum Einsatz kommen (siehe Tabelle 18).

¹²³ Mayring (2010).
¹²⁴ Fink (2005).
¹²⁵ Nückles (2004).

¹²⁶ French & Bell (1978).
¹²⁷ Reason & Bradbury (2005).

Tabelle 18: Methodenmatrix der verwendeten Forschungsmethoden

	Qualitativ	Quantitativ
Theoretisch	<ul style="list-style-type: none"> • Design Science • Systematische Literaturanalyse • Concept Mapping 	(Kommt nicht zur Anwendung)
Empirisch	<ul style="list-style-type: none"> • Action Research 	<ul style="list-style-type: none"> • Survey Research

Qualitative Methoden dienen hierbei der explorativen und offenen Suche, Sammlung, Interpretation und Nutzung von Zusammenhängen und Verhalten von Einzelfällen. Quantitative Methoden dienen der standardisierten und strukturierten Messung, von in der Realität existierenden Sachverhalten und Mustern, über größere Stichproben.¹²⁸

Für die angewendeten Methoden wurden jeweils Vorgehensmodelle für die Anwendung in dieser Dissertation auf Literaturlbasis definiert. So finden sich Vorgehensmodelle zur Durchführung der systematischen Literaturrecherche (siehe Kapitel 9.1), Erstellung von Concept Maps (siehe Kapitel 9.4), zur Durchführung des Survey Research (siehe Kapitel 9.5) sowie zur Durchführung des Action Research (siehe Kapitel 9.6) im Anhang der Arbeit.

5.3 Vorgehen zur Validierungen der Forschungsergebnisse

Die Validität stellt das Hauptgütekriterium für entwickelte wissenschaftliche Modelle oder Messinstrumente dar. Von einem validen Modell wird hierbei gesprochen, wenn die Untersuchungsmerkmale hinreichend genau abgebildet werden. Von einem validen Messinstrument wird gesprochen, wenn die Ausprägungen der Untersuchungsmerkmale hinreichend genau gemessen werden können.¹²⁹ Mit Bezug auf diese Dissertation ergeben sich folgende sieben Güteanforderungen:

1. Relevanz der Problemstellung
2. Systematik und Konsistenz der Entwicklungsschritte der Dissertation
3. Konsistenz der Operationalisierung industrieller DuA
4. Ganzheitliche Abbildung und Relevanz der Merkmale industrieller DuA
5. Ganzheitliche und genaue Messung des DuA-Reifegrades
6. Reliabilität (Wiederholungsgenauigkeit) bei der Anwendung des Bewertungsmodells
7. Objektivität durch quantitatives Self-Assessment des Reifelevels

Hierbei erfolgte die Validierung der ersten Güteanforderung bereits zu Beginn der Arbeit (siehe *Kapitel 1*). Die Validierung der Güteanforderungen zwei bis vier erfolgt nach der Modellentwicklung (siehe *Kapitel 6.5*) und jene der Güteanforderungen fünf bis sieben nach der Modellanwendung (siehe *Kapitel 7.5*).

Basierend auf dem sog. „Validation Square“ nach Seepersad et al.¹³⁰ sind in Abbildung 21 die Validierungsschritte, erforderliche Gütenachweise, sowie eingesetzte Tools zur Validierung der Entwicklungsschritte dieser Dissertation angeführt. Diese starten bei der Validierung der

¹²⁸ Beverly, Ockleford & Windbridge (2007, S.6).

¹²⁹ Hartig, Frey & Jude (2008, S.136).

¹³⁰ Seepersad et al. (2006, S.308).

Problemstellung, und reichen über die Praxisanwendung des Modells bis zur Generalisierung der gewonnenen Erkenntnisse zur industriellen DuA.

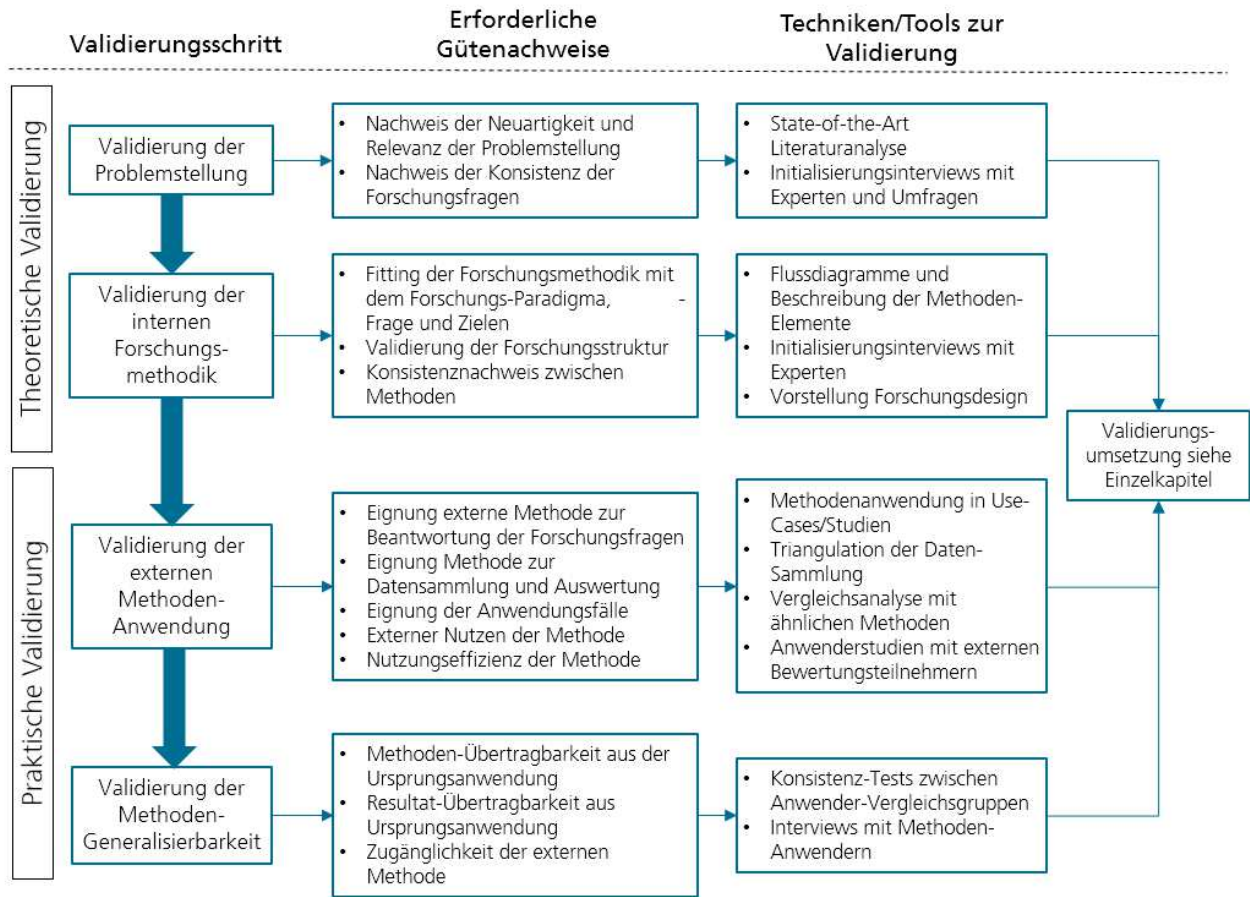


Abbildung 21: Übersicht der theoretischen und praktischen Validierungen (eigene Darstellung)

Das Validation Square nach Seepersad et al. fordert hierbei die theoretische und praktische Validität der geschaffenen Struktur und Inhalte. Dieses Rahmenmodell wird für diese Dissertation mit konkreten Ansätzen zur Validierung von Modellentwicklungen nach dem Design Science Ansatz^{131 132 133} oder der Validierung von Methoden der empirischen Sozialforschung^{134 135 136} angereichert und die Validierungsergebnisse im jeweiligen Kapitel vorgestellt.

¹³¹ Gonzalez & Sol (2012, S.403).

¹³² Helfert, Donnellan & Ostrowski (2012, S.51).

¹³³ Herselman & Botha (2015, S.3).

¹³⁴ Sousa (2014, S.211).

¹³⁵ Pyett (2003, S.1172).

¹³⁶ Malterud (2001, S.485).

6 Entwicklung des Bewertungsmodells

Kapitel 6 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, der Durchführung der iterativen Modellentwicklung (siehe Abbildung 22).

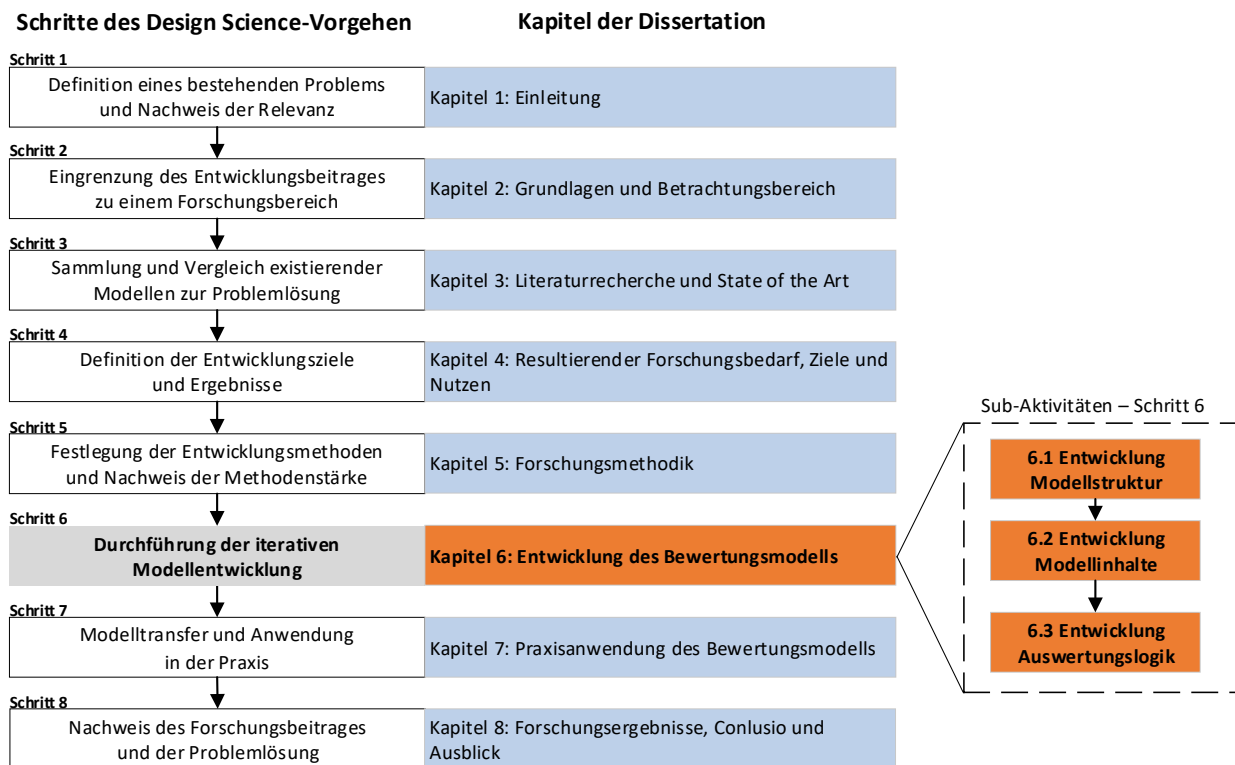


Abbildung 22: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Die Ausarbeitung von *Kapitel 6* beinhaltet die Durchführung und Resultate der Entwicklungsschritte der Modellstruktur, der Inhalte, sowie der Auswertungslogik. Des Weiteren werden erfolgt die Validierung der theoretischen Entwicklungen (siehe Abbildung 23).

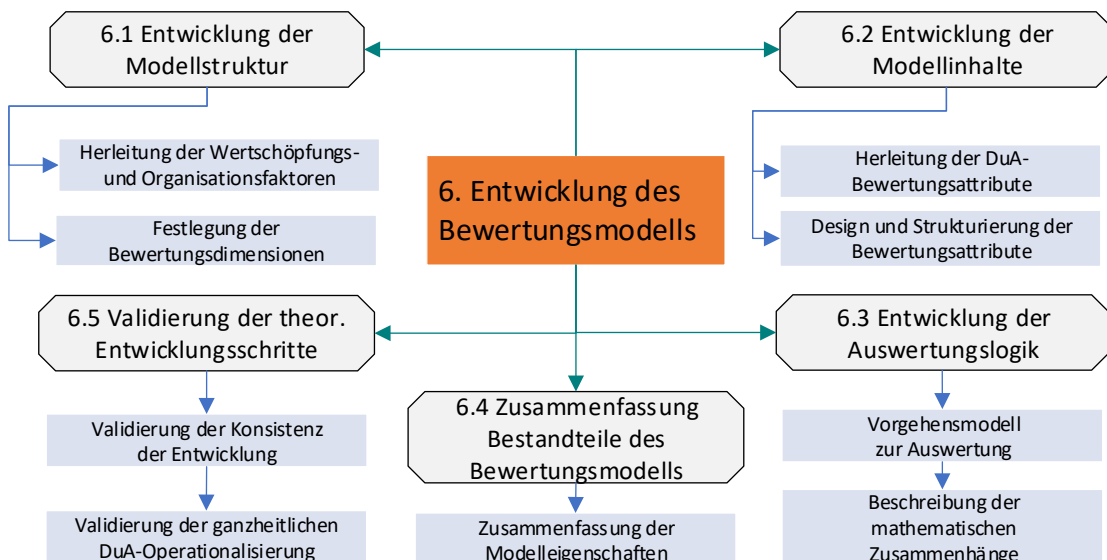


Abbildung 23: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 6 (eigene Darstellung)

6.1 Entwicklung der Modellstruktur

Die Entwicklung der Modellstruktur stellt die erste Subaktivität des Schrittes 6 des Design Science-Vorgehens dar (siehe Abbildung 24).

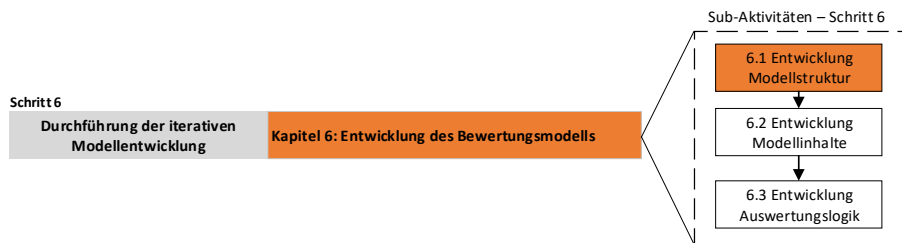


Abbildung 24: Zuordnung der ersten Subaktivität zum Schritt 6 des Design Science-Vorgehens

Unter Modellstruktur wird die Modellart, der Bewertungsfokus, sowie die Art, Anzahl und Zusammensetzung der Bewertungsdimensionen verstanden.

Die grundlegende Art des Bewertungsmodells wird vom Reifekonzept nach Crosby abgeleitet, welcher Reife als „*the state of being complete, perfect or ready*“¹³⁷ beschreibt. Der Reifebegriff wird durch die Definition von klar abgrenzbaren Reifestufen in ein Bewertungskonzept überführt, welche einen konsistenten Entwicklungspfad zu höchster Reife abbilden.¹³⁸ Zur Bildung des Bewertungsfokus des Modells wird auf der Wertstromsichtweise¹³⁹ aufgesetzt und diese zur Vervollständigung um strategische sowie externe Faktoren nach Porter¹⁴⁰ erweitert. Um die gesamte interne Wertschöpfungskette inkl. relevanter Organisationsfaktoren abzubilden, wurden 21 relevante Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren (kurz: WuO) aus der Literatur abgeleitet^{141 142} 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 (Siehe Abbildung 25).

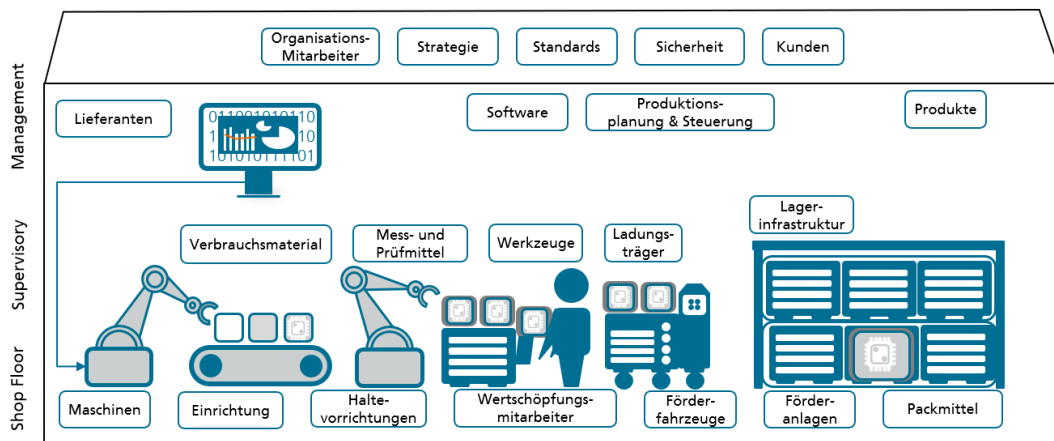


Abbildung 25: Übersicht 21 Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren (eigene Darstellung)

¹³⁷ Katuu (2019, S.230).

¹³⁸ Tarhan, Turetken & Reijers (2016, S.123).

¹³⁹ Erlach (2010, S.9).

¹⁴⁰ Porter (1986, S.68).

¹⁴¹ Hax (1969, S.44).

¹⁴² Arnold (2008, S.44).

¹⁴³ Westkämper (2006, S.198).

¹⁴⁴ DIN ISO 8580 (2003, S.5).

¹⁴⁵ DIN ISO 6300 (2009, S.8).

¹⁴⁶ Westkämper (2006, S.229).

¹⁴⁷ Jacob (1969, S.138).

¹⁴⁸ Hompel, Sadowsky & Beck (2007, S.49).

¹⁴⁹ Pfeifer, Kabisch & Lautner (1995, S.4).

¹⁵⁰ Colbe & Laßmann (1988, S.80).

¹⁵¹ DIN ISO 30781-1 (1989, S.3)

¹⁵² Martin (2014, S.62).

¹⁵³ Hompel, Sadowsky & Beck (2007, S.42).

¹⁵⁴ Corsten (2007, S.9).

¹⁵⁵ Schuh & Schmidt (2014, S.287).

¹⁵⁶ Schuh (2012, S.11).

¹⁵⁷ Müller (2015, S.29).

¹⁵⁸ Mashhour, Fischer & Hofbauer (2012, S.4).

¹⁵⁹ Brasch, Köder & Rapp (2007, S.28).

¹⁶⁰ Oechsler (2010, S.4).

¹⁶¹ Hahn & Taylor (1990, S.34).

¹⁶² Mangelsdorf & Weiler (2019, S.10).

Eine vollständige Liste inkl. Beschreibung aller Faktoren befindet sich im Anhang (siehe Kapitel 9.7). Nach erster Analyse wird ersichtlich, dass die gleichmäßige Berücksichtigung aller 21 WuO-Faktoren zur DuA-Reifegradbewertung nicht praktikabel ist, da sich die Bewertungsebenen stark unterscheiden (z.B. Strategie vs. Haltevorrichtung). Daher wird die Anzahl der WuO-Faktoren über einen mehrstufigen Ansatz reduziert, mit dem Ziel, die für die DuA relevantesten Faktoren zu isolieren (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Schritte zur Reduktion der WuO-Faktoren

Schritt	Inhalt	Ergebnis
WuO-Faktorenrecherche	Literaturbasierte Sammlung relevanter Faktoren	21 WuO-Faktoren
Erstanalyse der Faktoren und Reduktion	Analyse und Reduktion nach Abgleich der Betrachtungsebenen	Reduktion auf 18 WuO-Faktoren
Experten-Bewertung und Zusammenführung	Relevanzbewertung durch Experten und weitere Reduktion sowie Zusammenführung	Reduktion auf 9 WuO-Faktoren

Das Resultat sind neun WuO-Faktoren, welche als höchstrelevant für die Bewertung der DuA-Reife im Unternehmen eingeschätzt werden. Die Bezeichnung der Faktoren wurde entsprechend angepasst, um ähnliche Granularität und damit eine einheitliche Bewertungsbasis zu erreichen, was in folgenden WuO-Faktoren resultiert (siehe Abbildung 26).

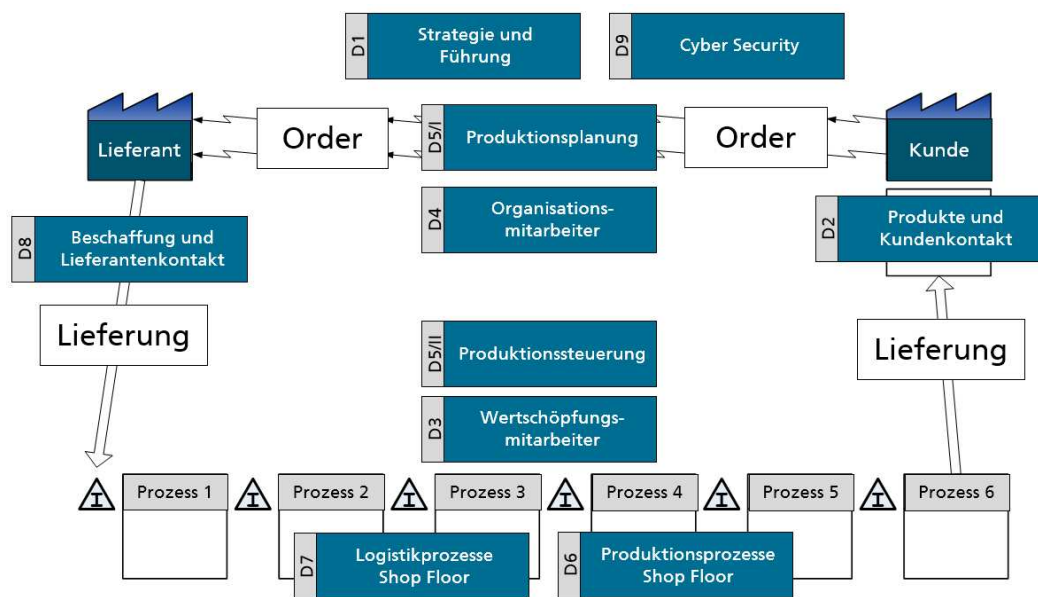


Abbildung 26: Bewertungsbereiche entlang des Wertstromes (eigene Darstellung)

Diese WuO-Faktoren stellen auch jene Bereiche dar, in welchen die Umsetzung der DuA bewertet wird, was zu neun Bewertungsdimensionen führt:

- D1: Strategie und Führung
- D2: Produkte und Kundenkontakt
- D3: Wertschöpfungsmitarbeiter
- D4: Organisationsmitarbeiter
- D5: Produktionsplanung- und Steuerung
- D6: Produktionsprozesse Shop Floor
- D7: Logistikprozesse Shop Floor
- D8: Beschaffung und Lieferantenkontakt
- D9: Cyber Security

Diese Bewertungsdimensionen D1 bis D9 folgen gängigen Fachbereichsstrukturen in Unternehmen, was die Bewertungszuteilung zu Mitarbeitern im Unternehmen erleichtert. Die Zusammenfassung von Bereichen in den Dimensionen D1, D2, D5 und D8 (jeweils mit einem „und“ verknüpft) wurde aufgrund erforderlicher Praktikabilität des Bewertungsmodells durchgeführt, um die Anzahl der Dimensionen zu reduzieren.¹⁶³

Zur Erweiterung des Bewertungsfokus des Modells wurden aus den analysierten Bewertungsmodellen des SOTA weitere DuA-Querschnittsthemen abgeleitet, deren Umsetzung bewertet werden soll, was in folgenden Querschnittsthemen resultiert¹⁶⁴ (T1-T6):

- T1: DuA-Rahmenbedingungen
- T2: DuA-Kompetenzentwicklung
- T3: DuA Informationsprozesse
- T4: Automatisierung physischer Prozesse
- T5: DuA-Umsetzungsmonitoring
- T6: DuA-Standardisierung

Somit ergibt sich ein kombinierter Bewertungsfokus aus neun Dimensionen strukturiert nach Fachbereichen und sechs DuA-Querschnittsthemen, welche zusammen die Modellstruktur ergeben (siehe Abbildung 27).

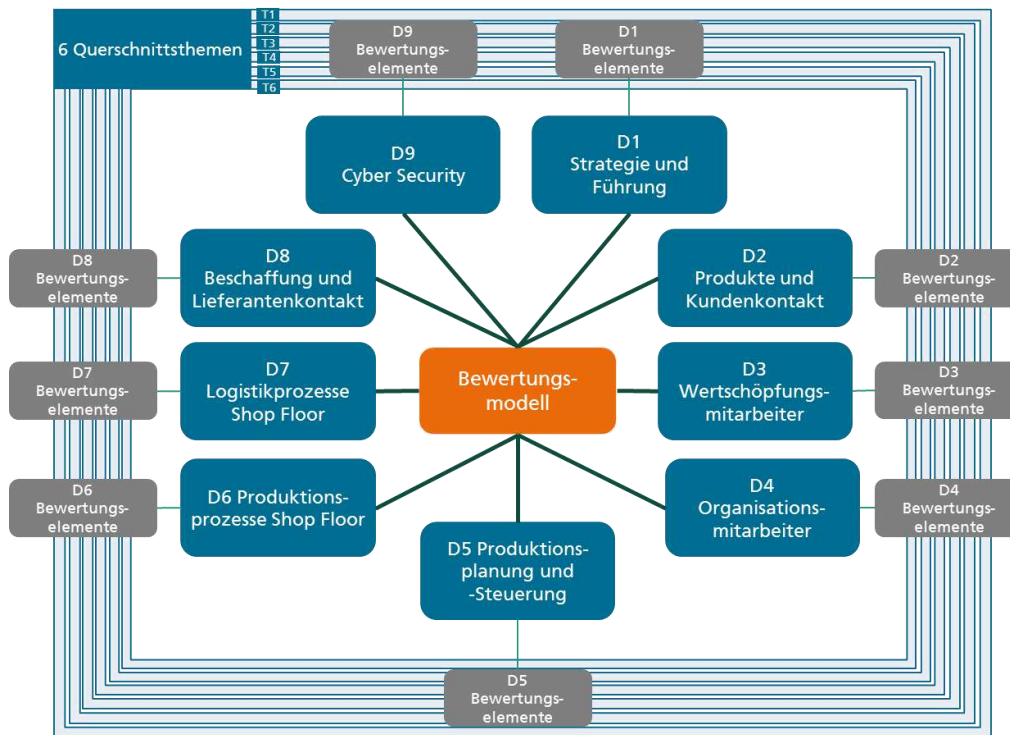


Abbildung 27: Übersicht Modellstruktur (Eigene Darstellung)

Nach der Festlegung der grundlegenden Modellstruktur folgt die Entwicklung der Modellinhalte zur Bewertung der DuA-Reife.

¹⁶³ Bei der Auswertung und Vorstellung der Bewertungsergebnisse muss jedoch auf die individuellen Bewertungen der jeweiligen Bereiche eingegangen werden. So muss beispielsweise in Dimension 5 zwischen der Planung und der Steuerung unterschieden werden.

¹⁶⁴ Die Bezeichnung als „Querschnittsthemen“ wurde gewählt, da sich diese Themen über alle Bewertungsdimensionen des Modells erstrecken.

6.2 Entwicklung der Modellinhalte

Die Entwicklung der Modellinhalte stellt die zweite Subaktivität des Schrittes 6 des Design Science-Vorgehens dar (siehe Abbildung 28).

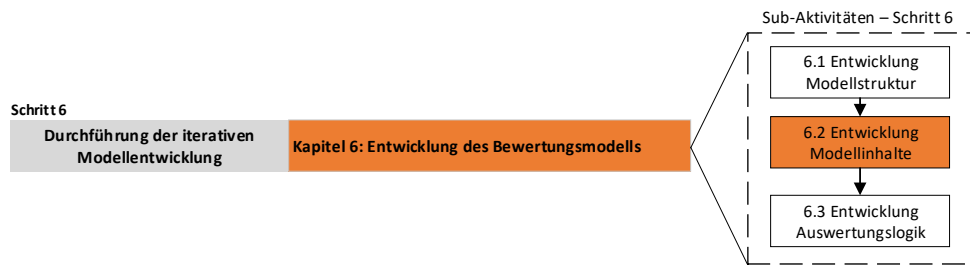


Abbildung 28: Zuordnung der zweiten Subaktivität zum Schritt 6 des Design Science-Vorgehens

Unter Modellinhalte wird die Anzahl und Zusammensetzung der Bewertungsinhalte, sowie deren Operationalisierung für die Messung in realen Produktionsumgebungen verstanden. Die Entwicklung der Modellinhalte folgt hierbei vier Phasen (siehe Abbildung 29).

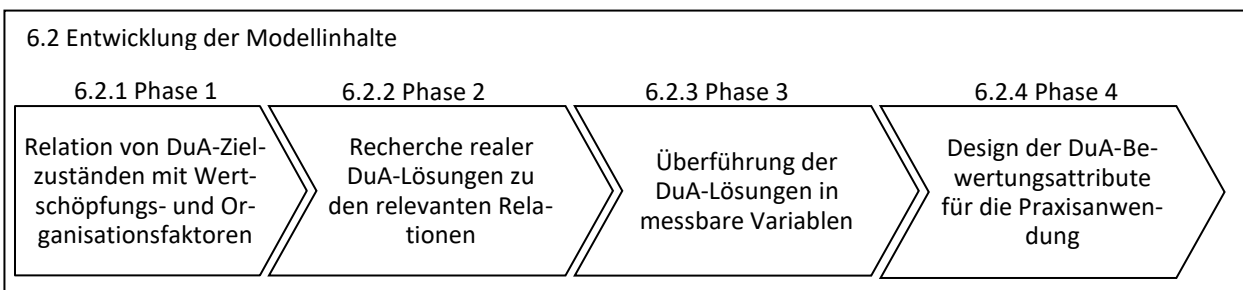


Abbildung 29: Vier Entwicklungsphasen der Modellinhalte (Eigene Darstellung)

Die vier Phasen umfassen zwei grundlegende Tätigkeitsbereiche. Zum einen die Findung und Strukturierung von relevanten DuA-Bewertungsattributen, abgeleitet aus der Literatur und zum anderen die Operationalisierung der Attribute, um diese empirisch messbar und bewertbar zu machen. Als Bewertungsattribut wird hierbei eine thematisch abgrenzbare DuA-Lösung verstanden, deren Umsetzung im Unternehmen gemessen und bewertet werden soll. Die Operationalisierung dieser ist erforderlich, da die Konzepte der Digitalisierung und der Automatisierung als latente Variablen¹⁶⁵ gelten, deren direkte Messung und Beobachtung schwer möglich ist. Somit wird die Bildung eines latenten Variablensystems erforderlich, in welchem die nicht direkt messbaren Variablen der DuA über beobachtbare Ausprägungen in Unternehmen operationalisiert werden. So ist etwa die Messung digitaler Informationsprozesse indirekt über die Beobachtung des Papieranteils oder der digitalen Maschinenanbindungen möglich. Das Vorgehen zur Operationalisierung folgt dem Ansatz nach Atteslander¹⁶⁶, welcher ein Rahmenmodell zur Überführung von theoretischen Begrifflichkeiten in empirische Variablen und die anschließende Messung der Variablenausprägung bereitstellt.

Im Folgenden werden die vier definierten Phasen zur Entwicklung der Modellinhalte in den folgenden Unterkapiteln chronologisch bearbeitet und beschrieben.

¹⁶⁵ Bartholomew et al. (2002, S.145).

¹⁶⁶ Atteslander (2006, S.274).

6.2.1 Phase 1: Relation von DuA-Zielzuständen mit WuO-Faktoren

Ein grundlegendes Argument der Dissertation ist die Operationalisierung der Zielstände der Industrie 4.0 über Zielzustände der DuA. Mit dieser Operationalisierung werden die abstrakten Konzepte der Industrie 4.0 auf eine operative Betrachtungsebene transferiert, auf welcher deren Umsetzungsbewertung möglich wird. Die Operationalisierung der drei Zielzustände der Digitalisierung und der Automatisierung wurde im Detail in zwei Publikationen des Dissertanten durchgeführt.^{167 168} Diese resultiert in neun definierten Zielzuständen der DuA, welche infolge mit den gesammelten WuO-Faktoren in Relation gebracht werden (siehe Abbildung 30).

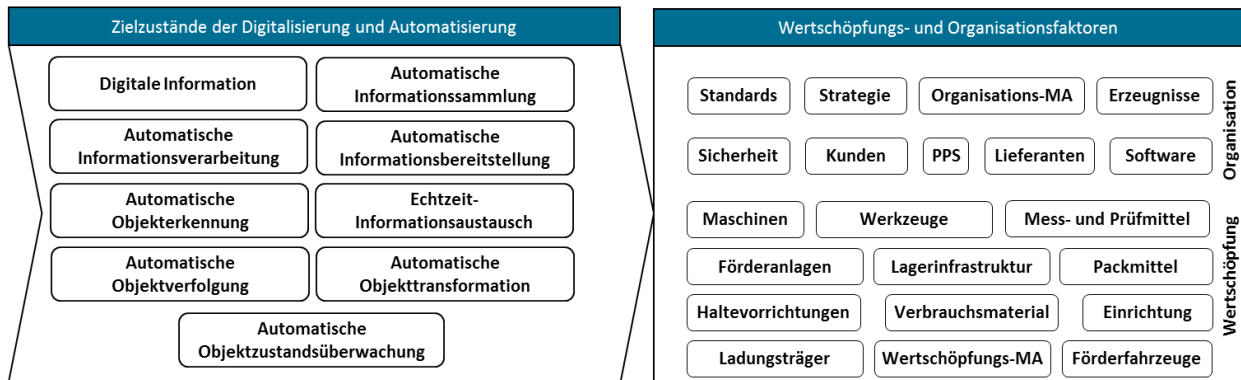


Abbildung 30: Rahmenmodell zur Bildung der Relationsmatrix (Eigene Darstellung)

Die Bewertung der DuA-Reife erfolgt in Bezug auf die 21 WuO-Faktoren gruppiert in die neun definierten Bewertungsdimensionen des Modells. Aufbauend auf diesem Rahmenmodell wird eine Relationsmatrix gebildet, in welcher der Zusammenhang und die Auswirkung der neun DuA-Zielzustände (z.B. Automatische Objekterkennung) auf jeden der 21 WuO-Faktoren (z.B. Erzeugnisse) einzeln untersucht wird. Es ergeben sich hieraus 189 Relationen, wobei im ersten Schritt die Relevanz der DuA-Zielzustände für jeden der WuO-Faktoren qualitativ bewertet wurde von 1 (niedrige Relevanz) bis 10 (hohe Relevanz). Diese Bewertung wird zur Eliminierung von Relationen genutzt, welche keine relevanten Zusammenhänge aufweisen und daher nicht weiter berücksichtigt werden (siehe Abbildung 31).

DuA-Eigenschaften	Organisationsfaktoren									Wertschöpfungsfaktoren												
	Standards	Strategie	Orga-MA	Erzeugnisse	Sicherheit	Kunden	PPS	Lieferanten	Software	Maschinen	Werkzeuge	Mess- und Prüfmittel	Förderanlagen	Lagerinfrastruktur	Packmittel	Haltevorrichtungen	Verbrauchsmaterial	Einrichtung	Ladungsträger	Wertschöpfung MA	Förderfahrzeuge	
Informationsprozesse																						
Digitale Information	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	7	9	10	8	4	9	4	7	8	9	10	
Echtzeitnaher Informationsaustausch	8	8	4	10	4	7	10	7	10	9	7	10	7	8	3	10	2	5	9	5	9	
Automatische Informationssammlung	10	9	6	10	4	9	10	9	10	9	9	10	7	9	6	10	2	8	10	6	10	
Automatische Informationsbereitstellung	10	8	10	8	4	10	10	10	10	9	6	7	9	9	3	7	1	6	3	10	8	
Automatische Informationsverarbeitung	10	6	1	9	4	10	10	10	10	8	9	9	10	8	3	9	1	8	8	1	9	
Physische Prozesse																						
Automatische Objekterkennung	7	6	5	6	10	4	4	4	1	9	10	7	7	10	7	7	8	6	10	5	6	
Automatische Objektverfolgung	7	5	5	7	8	1	3	2	1	3	6	5	7	10	6	5	2	2	10	5	10	
Automatische Objektmanipulation	7	8	5	5	8	1	2	1	1	8	4	3	10	10	3	3	8	9	8	3	10	
Automatische Objektzustandsüberwachung	8	9	7	10	10	2	5	1	1	9	8	6	6	9	4	6	3	6	10	7	7	

Abbildung 31: Relevanzbewertung resultierender Relationen (Eigene Darstellung)

¹⁶⁷ Schumacher, Sihm & Erol (2016).

¹⁶⁸ Schumacher, Schumacher & Sihm (2020).

Eine Detaildarstellung der Relevanzbewertung befindet sich im Anhang (siehe *Kapitel 9.8*). So ergibt sich etwa für die Relation des DuA-Zielzustandes „Automatische Informationssammlung“ und dem WuO-Faktor „Maschinen“ eine hochrelevante Relation (Relevanzbewertung 10 von 10), oder zwischen der „Automatischen Informationsverarbeitung“ und den „Mitarbeitern“ eine niedrige Relation (Bewertung 1 von 10), da Mitarbeiter Informationen ohne Hilfsmittel nur manuell verarbeiten können. Im nächsten Schritt werden für alle Relationen mit einer Relevanzbewertung von mind. 5 von 10 (ergibt 143 verbleibende Relationen) reale existierende DuA-Lösungen recherchiert. So sollen beobachtbare und damit messbare Variablen (=Ausprägung der DuA-Lösung) zu den Relationen definiert werden.

6.2.2 Phase 2: Recherche realer DuA-Lösungen zu den relevanten Relationen¹⁶⁹

Die Inhalte dieser Phase wurden mithilfe einer studentischen Diplomarbeit erarbeitet. Ziel der Recherche ist es, zu den 143 relevanten Relationen real existierende DuA-Lösungen anzuführen. Hierzu wurde eine umfassende systematische Literaturrecherche, unter Nutzung einer hohen Anzahl an Suchbegriffen, in Englischer Sprache durchgeführt (siehe Abbildung 32).

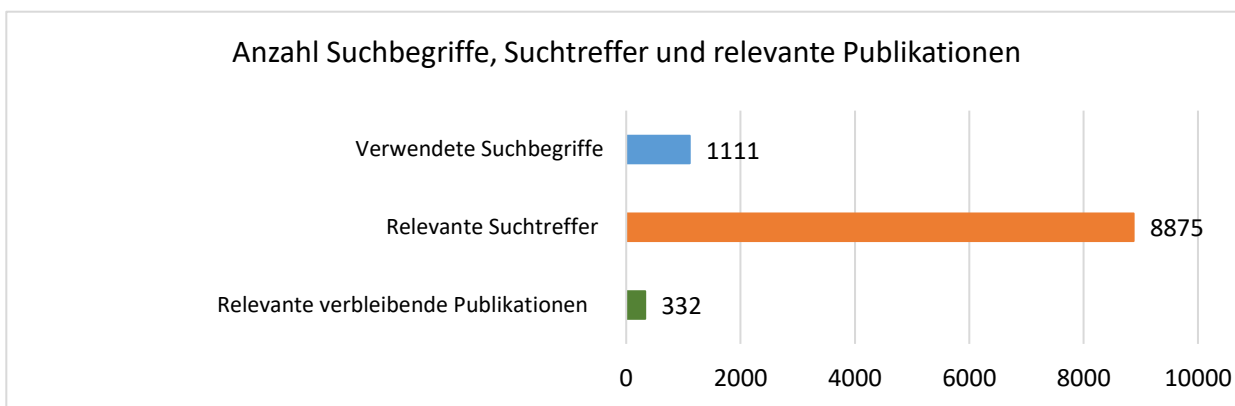


Abbildung 32: Übersicht Resultate der Literaturrecherche zu realen DuA-Lösungen (Eigene Darstellung)

Es wurden für die verbleibenden 143 Relationen durchschnittlich sieben Suchbegriffe definiert (z.B. „Condition Detection AND manufacturing machine“ oder „Automation AND machine load“)¹⁷⁰, was in 8875 Suchtreffern und 332 weiter berücksichtigten wissenschaftlichen Publikationen resultierte. Hierbei wurden nur DuA-Lösungen berücksichtigt, welche zumindest in Pilotanwendungen bereits in der Realität implementiert sind.

Die recherchierten DuA-Lösungen werden im nächsten Schritt zur Ableitung der Variablen zur Bewertung der DuA-Reife genutzt.

6.2.3 Phase 3: Überführung der DuA-Lösungen in messbare Variablen

Dem Operationalisierungsansatz von Atteslander folgend werden die gesammelten DuA-Lösungen in Bewertungsattribute zur Messung der DuA-Reife überführt. Das Resultat ist ein latentes Variablensystem, welches zu den 143 Relationen jeweils ein Bewertungsattribut und dessen operative Messung definiert (Beispiele siehe Tabelle 20).

¹⁶⁹ Diese Recherchearbeiten wurden im Zuge einer betreuten Diplomarbeit durchgeführt: Philip Geißler (2019)

¹⁷⁰ Philip Geißler (2019, S.254).

Tabelle 20: Beispiele zur Operationalisierung der DuA-Lösungen in Bewertungsattribute und deren Messung

Beispiele DuA-Lösung	Titel Bewertungsattribut	Messung der Attributsausprägung über quantitative Variable
Automatischer Informationsaustausch mit Maschinen	Maschinen mit Digital-Anbindung zu IT-Systemen (Kabel, WLAN zu ERP, MES etc.)	[%]-Anteil aller Maschinen mit direkter IT-Systemanbindung zum Datenaustausch
Ausstattung der Wertschöpfungs-Mitarbeiter mit IKT	Wertschöpfungs-MA mit mobilen digitalen Endgeräten (z.B. Laptop, Tablet, Smartphone etc.)	[%]-Anteil aller Wertschöpfungs-MA mit mobilen digitalen Endgeräten
Echtzeit-Monitoring der Materialanlieferungen	Echtzeit-Erfassung des Materiallieferortes in einem IT-System	[%]-Anteil aller Lieferungen deren Lieferort in Echtzeit in einem IT-System abgebildet wird
Cyber-Schutz von digitalgesteuerten Shop Floor-Anlagen	Einsatz von Cyber-Schutz-Software für Shop Floor-Anlagen (z.B. Maschinen-Firewalls, Bedienungsschutz etc.)	[%]-Anteil aller Shop Floor-Anlagen mit eigener Maschinen-Firewall

Um dem Ziel der Dissertation zu genügen, ein Bewertungsmodell mit quantitativen Messmetriken zu entwickeln, wurden alle 143 relevanten Relationen in messbare Variablen überführt. Diese Anzahl messbarer Variablen stellt auch die Anzahl der Bewertungsattribute des Modells dar.

Im Folgenden werden die Details und das Design der Bewertungsattribute definiert.

6.2.4 Phase 4: Design der Bewertungsattribute für die Anwendung

Zur Überführung der Bewertungsattribute in die praktische Anwendbarkeit ist die Festlegungen weiterer Elemente dieser erforderlich:

- Skalenfestlegung zur Messung der Variablenausprägung im Unternehmen:** Die Festlegung der Skala zur Reifemessung umfasst 13 Stufen, welche als Reifelevel bezeichnet werden. Die Anzahl von 13 Reifelevel ergibt sich aus drei Stufen mit Bezug auf die Planung und Umsetzung der DuA-Lösung in Form von Pilotanwendungen, sowie 10 Stufen zur Erfassung der Umsetzung in 10%-Schritten. Der Aufbau der Skala ist hierbei für alle 143 Bewertungsattribute gleich (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Übersicht der Reifelevel für alle Bewertungsattribute

Reifelevel (1-13)	Aussage des Reifelevel		
Level 1	Umsetzung der DuA-Lösung bis dato nicht geplant		
Level 2	Umsetzung der DuA-Lösung konkret geplant		
Level 3	DuA-Lösung zu <1% umgesetzt (Pilotanwendung)		
Level 4	DuA-Lösung zu 1-10% umgesetzt	Level 5	DuA-Lösung zu 11-20% umgesetzt
Level 6	DuA-Lösung zu 21-30% umgesetzt	Level 7	DuA-Lösung zu 31-40% umgesetzt
Level 8	DuA-Lösung zu 41-50% umgesetzt	Level 9	DuA-Lösung zu 51-60% umgesetzt
Level 10	DuA-Lösung zu 61-70% umgesetzt	Level 11	DuA-Lösung zu 71-80% umgesetzt
Level 12	DuA-Lösung zu 81-90% umgesetzt	Level 13	DuA-Lösung zu 91-100% umgesetzt

- **Festlegung einer Attributs-ID:** Diese ordnet ein Attribut einer der neun Bewertungsdimensionen zu und strukturiert diese in der jeweiligen Dimension mittels fortlaufender Nummer.
- **Festlegung des Attributs-Titel:** Dieser benennt das jeweilige Attribut bzw. das damit verbundene DuA-Lösungskonzept zur thematischen Abgrenzung und Einordnung.
- **Festlegung der Bewertungsfrage:** Diese benennt die zu messende Variable in Form einer konkreten Fragestellung.
- **Konkretisierung der Variable:** Diese führt mögliche DuA-Lösungen als operative Ausprägung der Variable an, um den Bewertungsraum einzugrenzen und zu detaillieren.
- **Festlegung von Umsetzungsbeispielen:** Diese unterstützen bei der Überführung der Variable auf das eigene Unternehmen und bei der Erfassung der Variablenausprägung.
- **Festlegung der Bewertungsauswahl „Negative Nutzenbewertung“:** Erfasst den Status eines Bewertungsattributes, wenn die Nutzen von diesem im Unternehmen bereits untersucht und als negativ bewertet wurde.
- **Festlegung einer „Relevanzbewertung“:** diese berücksichtigt die Einschätzung des Bewertungsteilnehmers, inwieweit die beschriebene DuA-Lösung bei umfassender Implementierung positiv zum Bereichs- bzw. Unternehmenserfolg beitragen kann.
- **Begründung bei hohen bewerteten Reifeleveln:** Dient der Prüfung, ob die Eigenwahrnehmung des Bewertungsteilnehmers mit der beabsichtigten Messung übereinstimmt.

Alle hier angeführten Elemente eines Bewertungsattributes werden zu einem Design zusammengefasst und resultieren somit in 143 Attributen gleicher Struktur (Beispielattribut siehe Abbildung 33).

Attributs-ID		Attributs-Titel (DuA-Lösungskonzept)	
Attribut D6.05		Automatischer Datenaustausch zwischen Produktionsmaschinen und übergeordneten IT-Systemen	
Bewertungsfrage: Welcher Anteil der Produktionsmaschinen tauscht automatisch Daten mit übergeordneten IT-Systemen wie MES, ERP oder BDE aus?			
Automatischer Datenaustausch: Austausch von Sensordaten der Maschine, Übermittlung von Betriebsdaten an IT-Systeme, Empfang von Auftragsdaten durch Maschinen, Übermittlung von Qualitätsdaten, Erhalt von Maschinen-Einstellungsdaten etc.			
Beispiel: Automatische Übermittlung erhobener Sensordaten zu Qualitätsparametern der Erzeugnisse an eine MES-Software, welche die Daten auswertet und abgeleitete Daten zur Maschineneinstellung zurücksendet.			
Umsetzung automatischer Datenaustausch mit IT-Systemen bis dato nicht untersucht		Umsetzung automatischer Datenaustausch mit IT-Systemen konkret geplant	
Automatischer Datenaustausch mit <1% der Produktionsmaschinen		Automatischer Datenaustausch mit 1-10% der Produktionsmaschinen	
Automatischer Datenaustausch mit 11-20% der Produktionsmaschinen		Automatischer Datenaustausch mit 21-30% der Produktionsmaschinen	
Automatischer Datenaustausch mit 31-40% der Produktionsmaschinen		Automatischer Datenaustausch mit 41-50% der Produktionsmaschinen	
Automatischer Datenaustausch mit 51-60% der Produktionsmaschinen		Automatischer Datenaustausch mit 61-70% der Produktionsmaschinen	
Automatischer Datenaustausch mit 71-80% der Produktionsmaschinen		Automatischer Datenaustausch mit 81-90% der Produktionsmaschinen	
Automatischer Datenaustausch mit 91-100% der Produktionsmaschinen		Keine (weitere) Umsetzung wegen durchgeführter negativer Nutzenbewertung	
Attribut sehr irrelevant für das Unternehmen	Attribut eher irrelevant für das Unternehmen	Attribut mittelmäßig relevant für das Unternehmen	Attribut eher relevant für das Unternehmen
			Attribut sehr relevant für das Unternehmen
Wenn Sie den Implementierungsgrad dieses Attributes mit mehr als 40% bewertet haben, geben Sie bitte in Stichworten Umsetzungsbeispiele aus Ihrem Unternehmen an:			

Bewertungsfrage (Variable)

Konkretisierung der Variable

Praxis-Beispiel

Zeile 1: 2 qualitative Implementierungs-Level (Indikatoren)

Zeile 2-6: 11 quantitative Implementierungs-Level (Indikatoren)

Negative Nutzenbewertung

Relevanz-Bewertung des Attributs für das Unternehmen

Begründung bei hoher Implementierungsstufe

Abbildung 33: Design eines Bewertungsattributes (Eigene Darstellung)

Die thematische Zuordnung der Bewertungsattribute zu den neun Bewertungsdimensionen des Modells führt zu 15-18 Attributen pro Dimension. Im Folgenden sind die Titel aller Bewertungsattribute der Dimensionen aufgeführt. Hierbei wird auch eine empfohlene Umsetzungsreihenfolge der Attribute im Unternehmen angegeben. Als Beispiel sind die Attribute der Dimension 6 - Produktionsprozesse Shop Floor angeführt (siehe Abbildung 34).

D6 – Produktionsprozesse Shop Floor

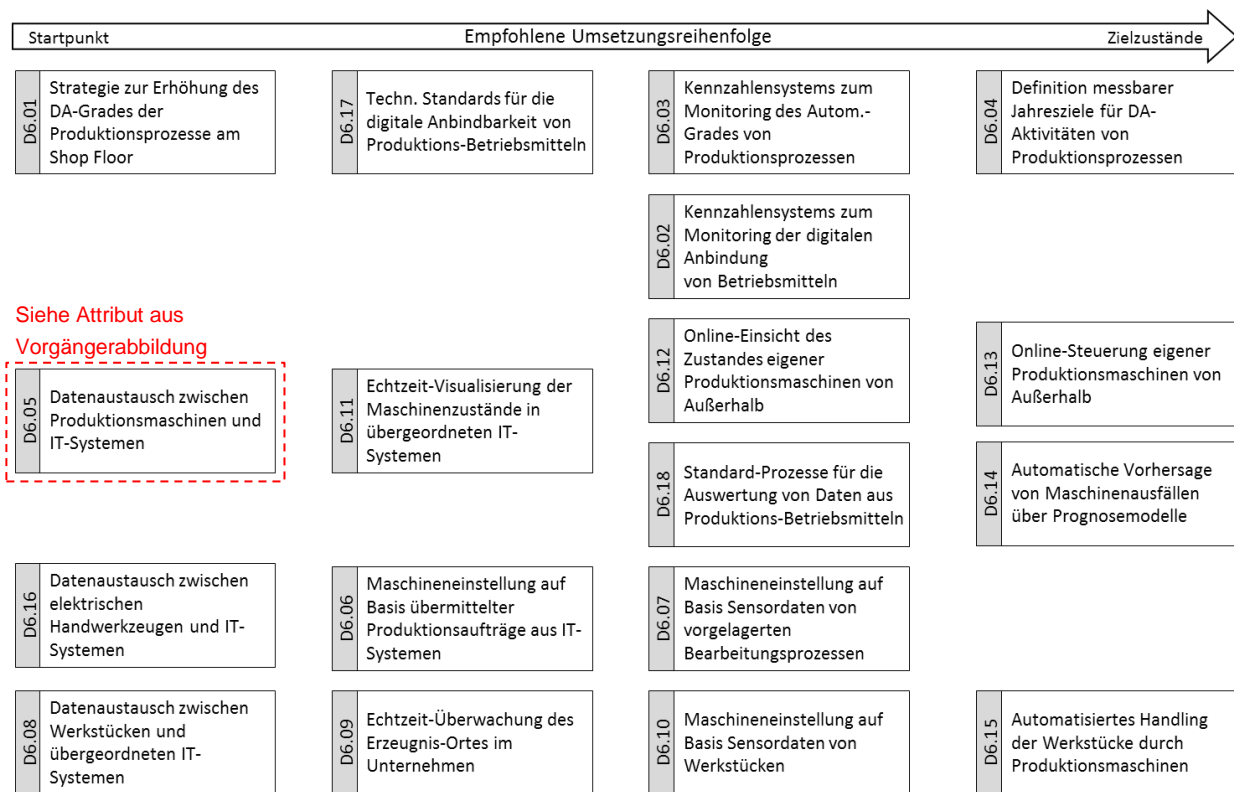


Abbildung 34: Struktur der Bewertungsattribute Dimension 6 – Produktionsprozesse Shop Floor (Eigene Darstellung)

Diese empfohlene Umsetzungsreihenfolge vereinfacht die spätere Ableitung von Umsetzungsroadmaps. So soll etwa, mit Bezug auf Abbildung 34, die Entwicklung einer „Strategie zur Erhöhung des DA-Grades der Produktionsprozesse am Shop Floor“ (D6.01) der Festlegung von „Kennzahlen zum Monitoring des Autom.-Grades von Produktionsprozessen“ (D6.03.), oder der „Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten von Produktionsprozessen“ (D6.04) vorausgehen. Diese Strukturierung der Attribute innerhalb einer Dimension wurde für alle neun Dimensionen durchgeführt (weitere Dimensionen siehe Abbildung 35 bis Abbildung 42).

D1 – Strategie und Führung

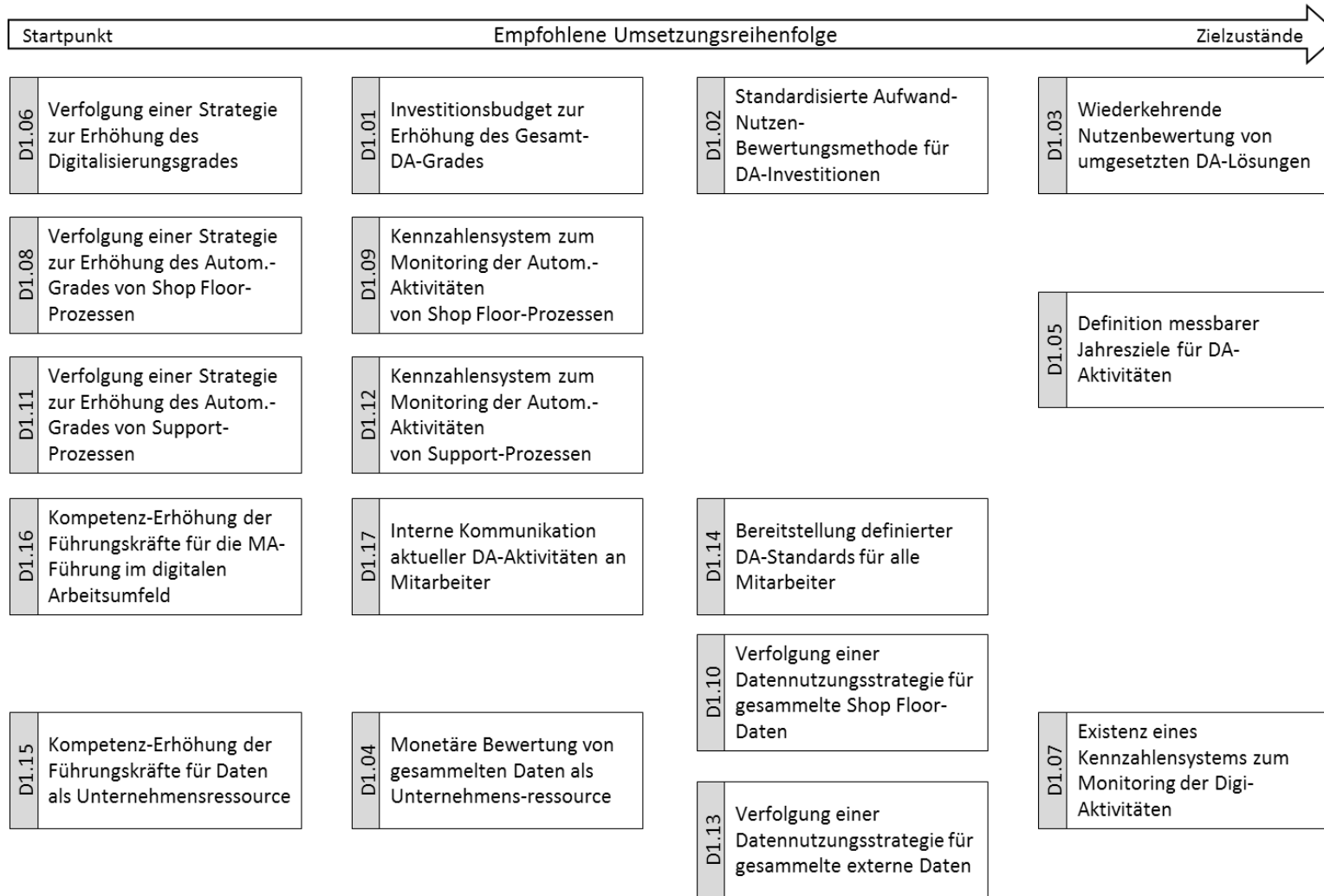


Abbildung 35: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 1 (eigene Darstellung)

D2 – Produkte und Kundenkontakt

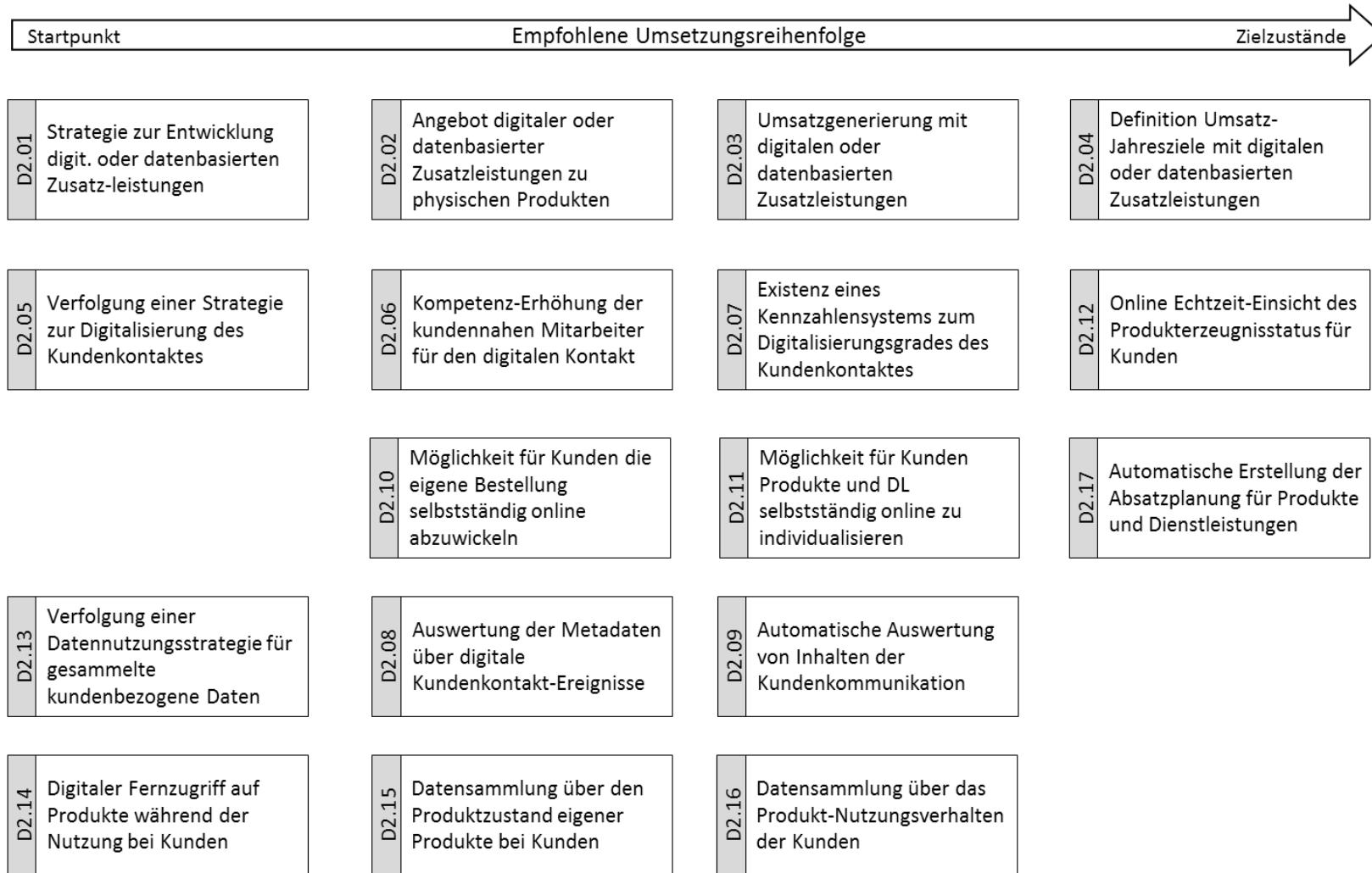


Abbildung 36: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 2 (eigene Darstellung)

D3 – Wertschöpfungsmitarbeiter

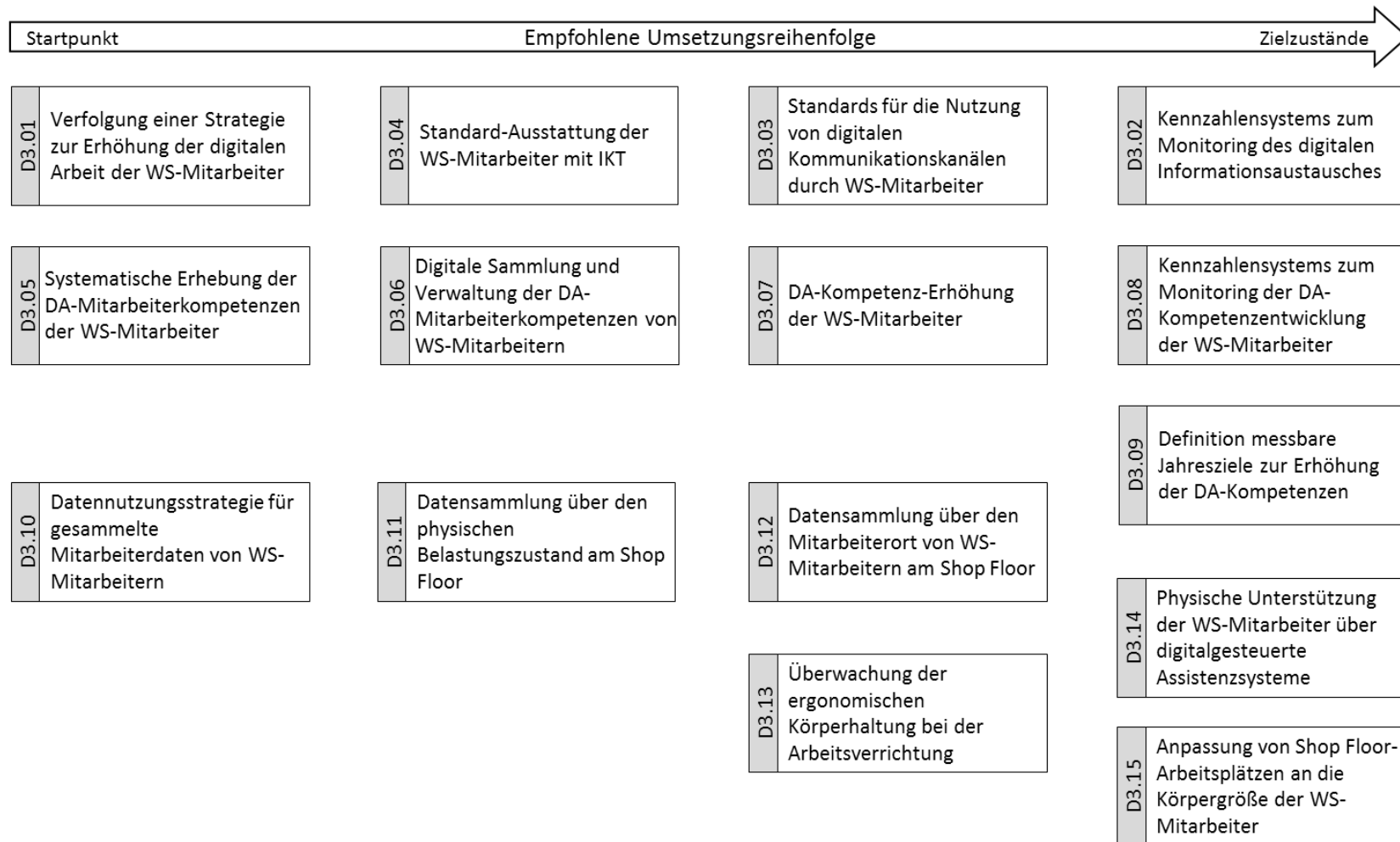


Abbildung 37:Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 3 (eigene Darstellung)

D4 – Organisationsmitarbeiter

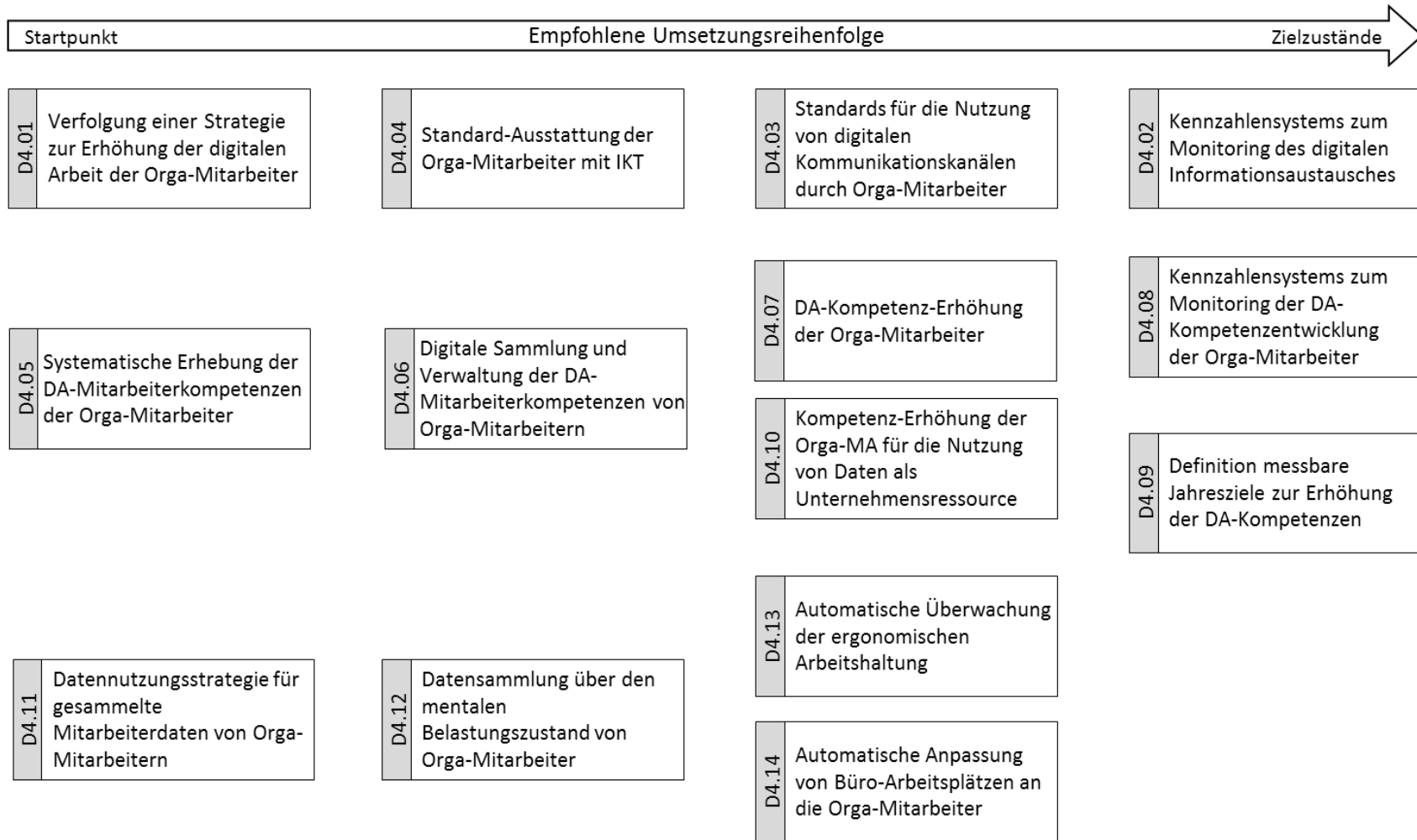


Abbildung 38: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 4 (eigene Darstellung)

D5 – Produktionsplanung und -Steuerung

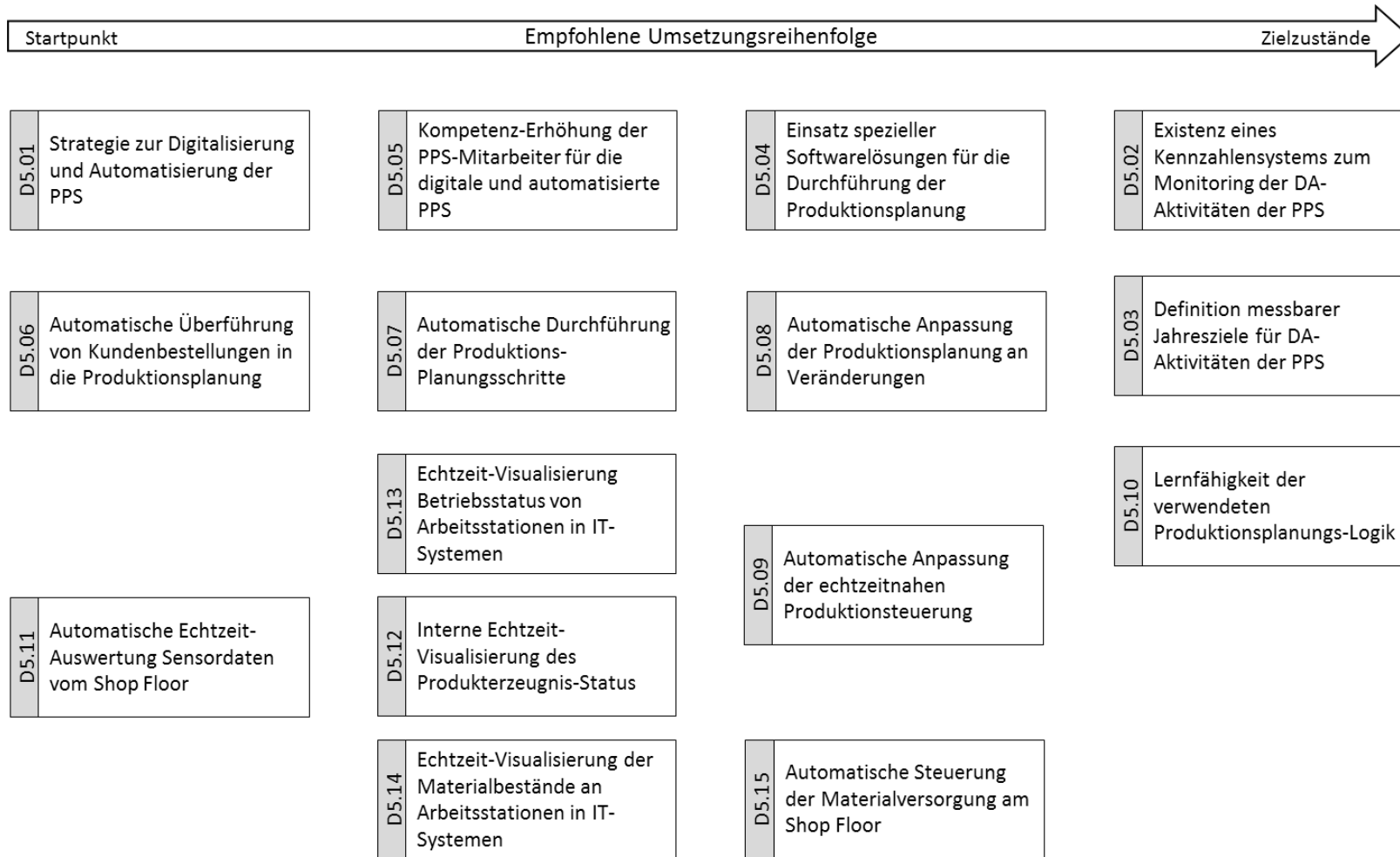


Abbildung 39: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 5 (eigene Darstellung)

D7 – Logistikprozesse Shop Floor

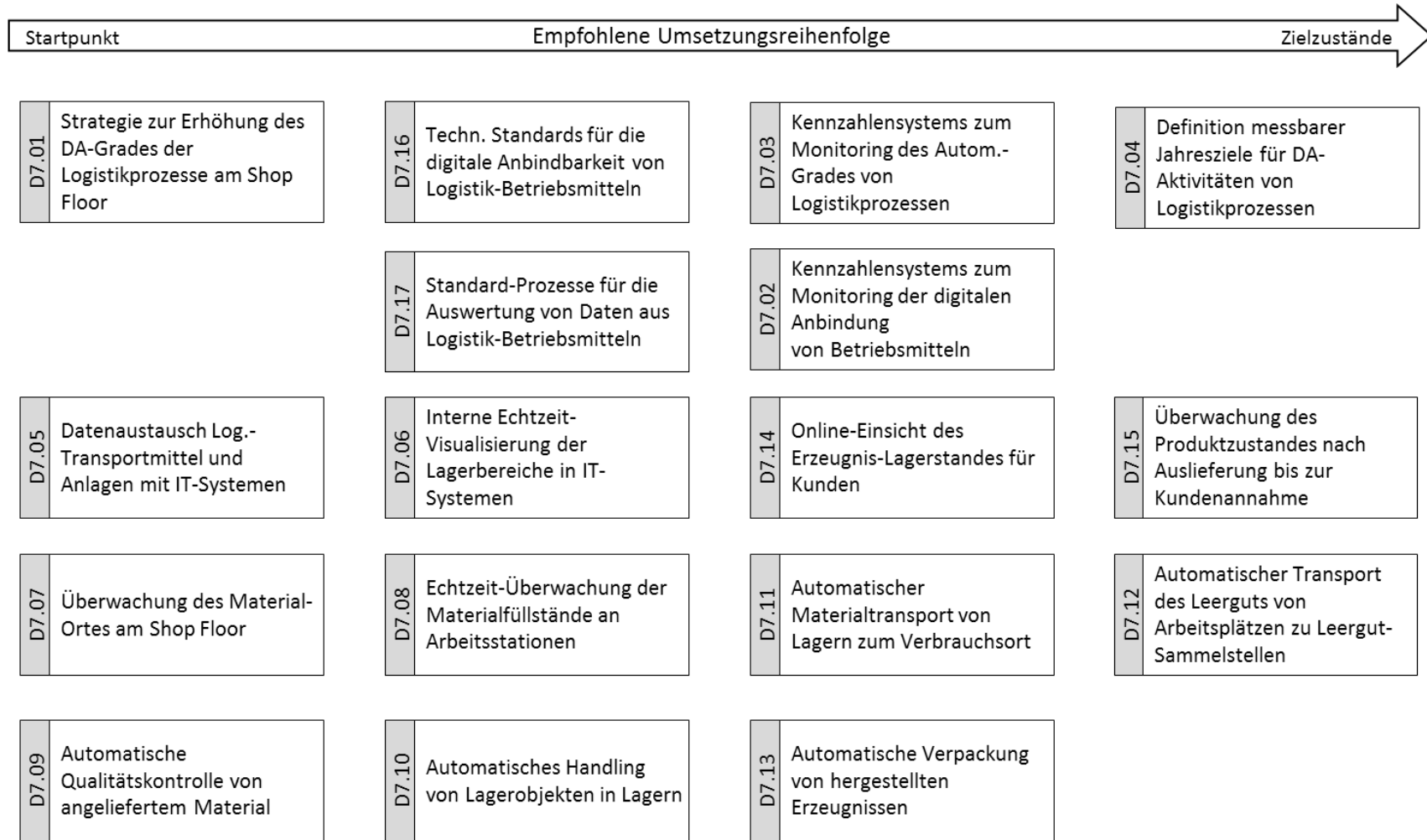


Abbildung 40: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 7 (eigene Darstellung). Dimension 6 siehe Abbildung 34

D8 – Beschaffung und Kundenkontakt

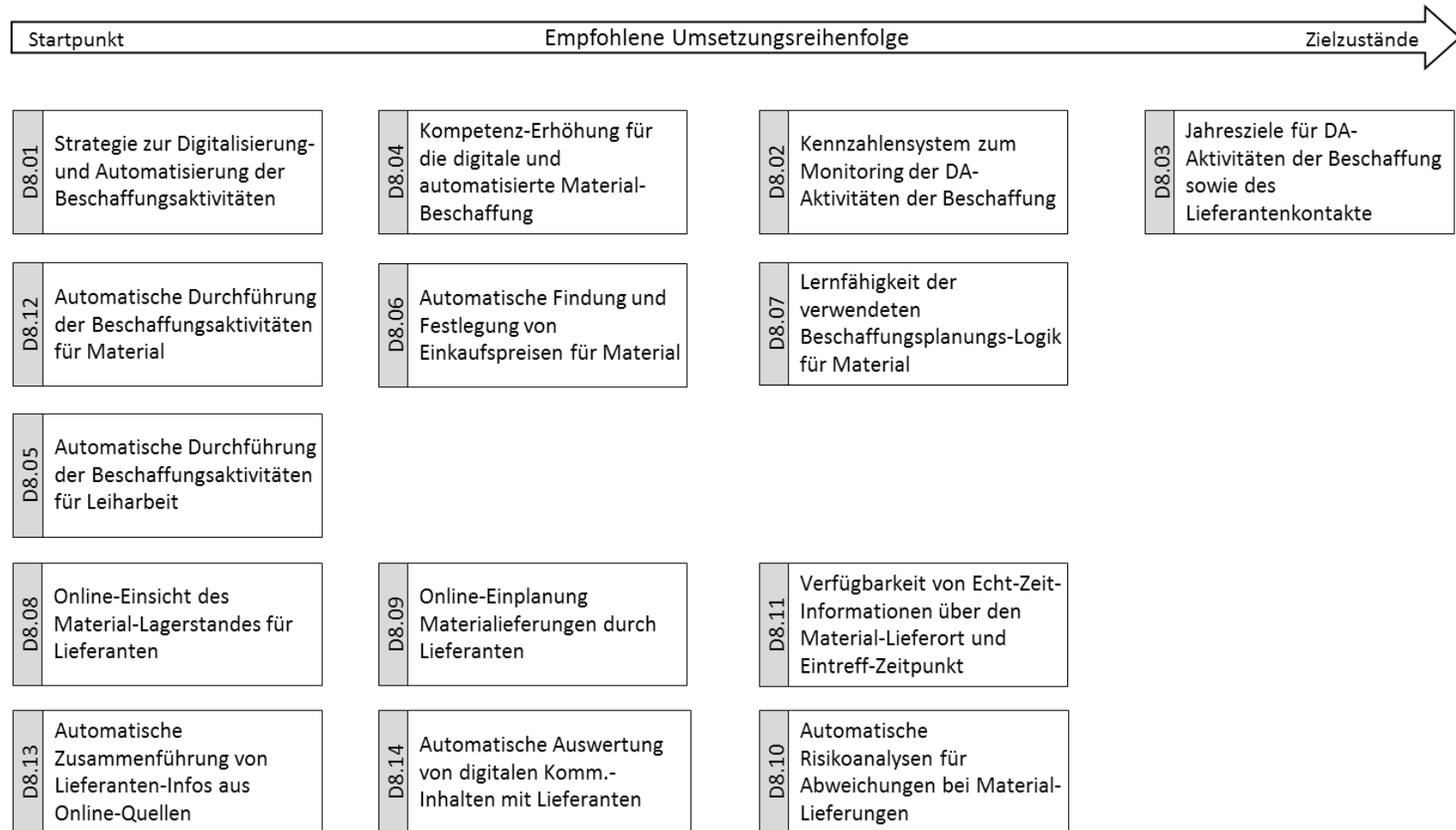


Abbildung 41: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 8 (eigene Darstellung)

Dimension 9 – Cyber Security

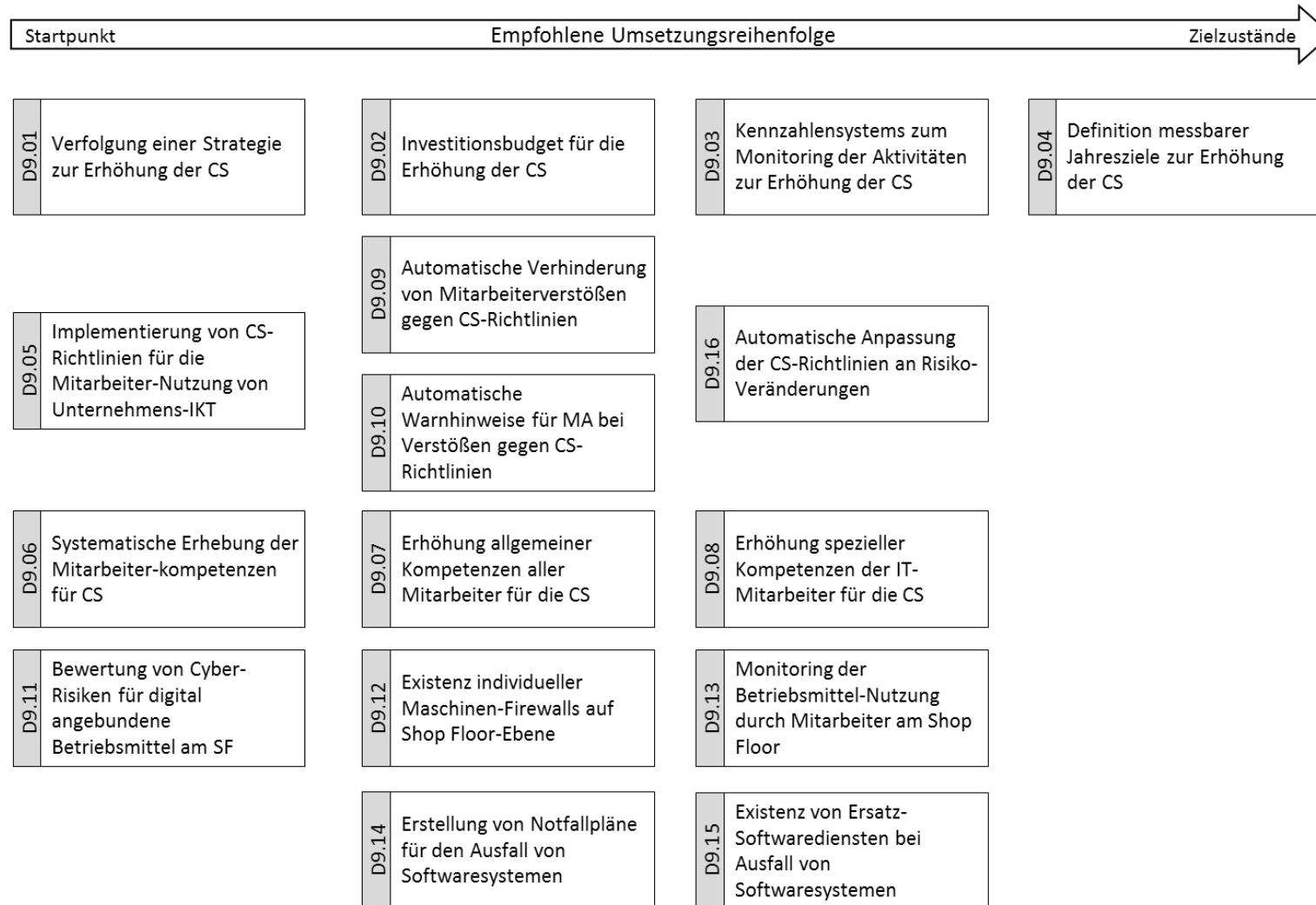


Abbildung 42: Übersicht Struktur Bewertungsattribute Dimension 9 (eigene Darstellung)

Nachdem die Inhalte des Bewertungsmodells definiert wurden, folgt im nächsten Schritt der Modellentwicklung die Festlegung einer Auswertungslogik, um gesammelte Bewertungsdaten analysierbar und in DuA-Handlungsfelder überführbar zu machen.

6.3 Entwicklung der Auswertungslogik

Die Entwicklung der Auswertungslogik stellt die dritte Subaktivität des Schrittes 6 des Design Science-Vorgehens dar (siehe Abbildung 43).

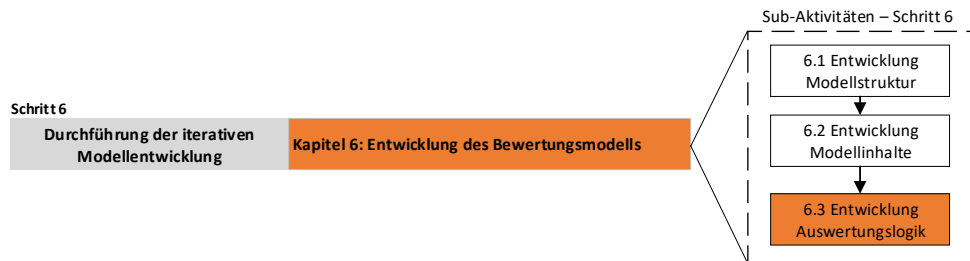


Abbildung 43: Zuordnung der dritten Subaktivität zum Schritt 6 des Design Science-Vorgehens

Unter Auswertungslogik des Bewertungsmodells wird die Überführung der gesammelten Daten aus der Modellanwendung in Bewertungsaussagen über die DuA-Reife verstanden. Zur Ableitung von Bewertungsaussagen ist die Festlegung dafür erforderlicher Bewertungsaspekte erforderlich, deren Ausprägung erfasst wird:

- **DuA-Reifelevel:** Der Reifelevel der Bewertungsattribute ergibt sich über deren Einteilung in eine von 13 Level – von sehr niederer Reife (1) bis zu sehr hoher Reife (13). Die Reifelevel der Attribute können anschließend zum Reifelevel der zugehörigen Dimension oder der Querschnittsthemen zusammengefasst werden.
- **Relevanz der Bewertungsattribute:** Die Relevanz der Bewertungsattribute ergibt sich über deren Bewertung in einer von 5 möglichen Relevanzbewertungen – von sehr niederer Relevanz (1) bis zu sehr hoher Relevanz (5). Die Relevanz der Attribute kann anschließend zur Relevanz der zugehörigen Dimension oder der Querschnittsthemen zusammengefasst werden.
- **Entwicklungsbedarf der Bewertungsattribute:** Der Entwicklungsbedarf der Bewertungsattribute gibt an, inwieweit Handlungsbedarf für das betreffende Attribut besteht. Zur Angabe wird der sog. Entwicklungsbedarf-Index (EBI) eingeführt. Der EBI ist eine Kennzahl, welche sich aus der Lücke des aktuellen Reifelevel des Attributs und dem maximal erreichbaren Reifelevel (Level 13) bzw. einem festgelegten Soll-Reifelevel, in Kombination mit der Relevanzbewertung des Attributs, ergibt. Der EBI kann Werte von sehr niederem Handlungsbedarf (EBI = 0) bis zu sehr hohem Handlungsbedarf (EBI = 100) annehmen. Die Auswertung des EBI hilft bei der späteren Priorisierung der DuA-Handlungsfelder.

Eine Übersicht der Bewertungsaspekte zur Ableitung von Bewertungsaussagen, sowie deren Skalen sind im Folgenden dargestellt (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Bewertungsaspekte und Skalen des Bewertungsmodells

Bewertungsaspekt	Erklärung	Skala
DuA-Reifelevel	Umsetzungslevel der DuA-Lösungen	1- Nieder bis 13 - Hoch
Relevanz der Bewertungsattribute	Potentialbewertung für das Unternehmen	1 - Nieder bis 5 - Hoch
Entwicklungsbedarf-Index (EBI)	Kennzahl für Handlungsbedarf	1 - Nieder bis 100 - Hoch

Zur statistischen und softwarebasierten Auswertung der angeführten Bewertungsaspekte wurde ein Vorgehensmodell definiert, welches durch sechs Schritte der Auswertung führt (siehe Abbildung 44).

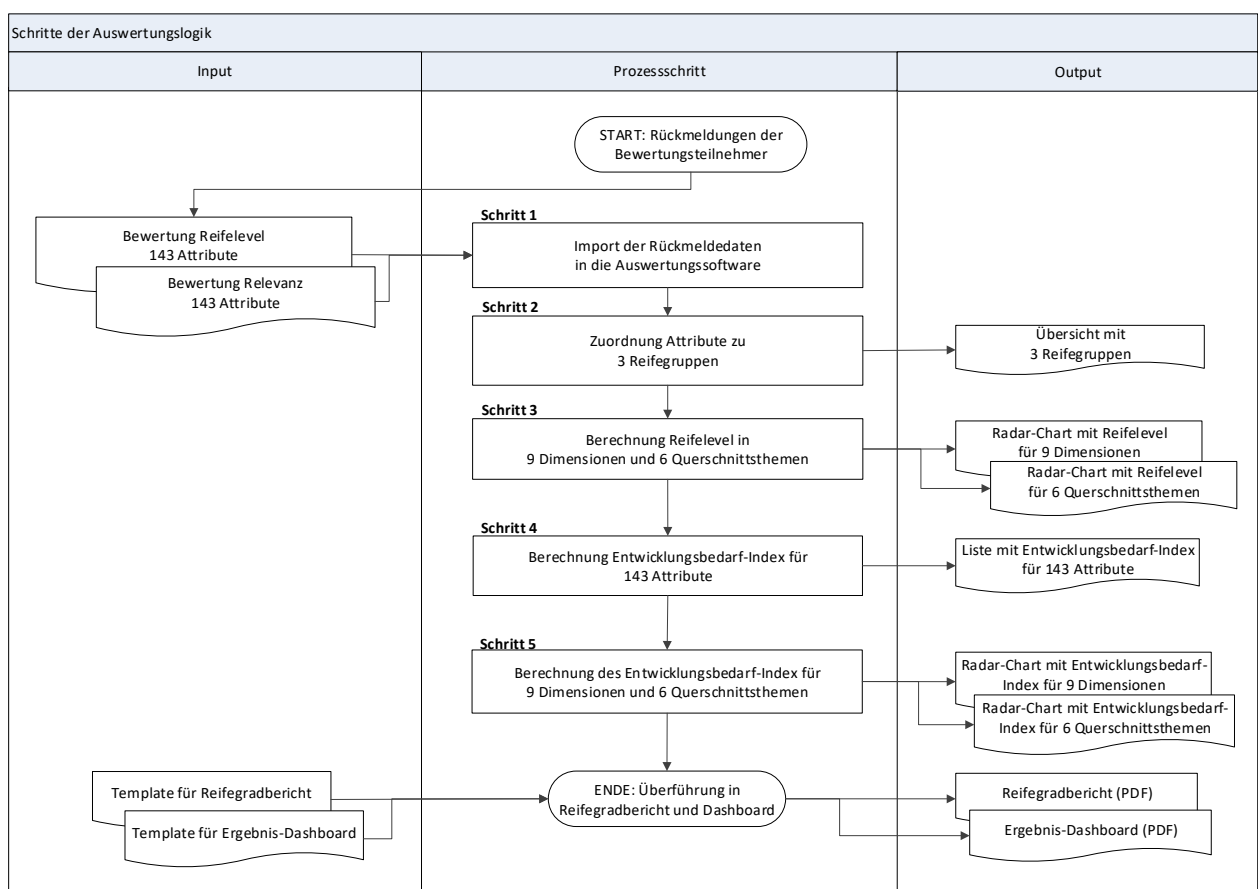


Abbildung 44: Vorgehensmodell zur Auswertung der Bewertungsdaten (eigene Darstellung)

Die Durchführung der Auswertungsschritte erfolgt automatisch nach Import der Bewertungsdaten des Unternehmens. Die Konzeption der Auswertung, sowie die mathematische Formalisierung, wird in folgender Tabelle zusammengefasst (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Auswertungen und mathematische Beziehungen

Schritt 1: Import der Rückmeldedaten in die Auswertungssoftware	
<p>Die Datensammlung von den Bewertungsteilnehmern erfolgt mittels Onlineumfragesoftware, in welche die Teilnehmer die Attributbewertungen nach Erhebung im Fachbereich selbstständig eingeben. Das Resultat ist ein Datensatz mit Bewertungsrückmeldungen, welcher im ersten Schritt manuell auf Vollständigkeit geprüft wird und anschließend in die verwendeten Softwaretools importiert wird (Softwaretools: Tableau™, Stata™, MS Excel™).</p>	
Schritt 2: Zuordnung Attribute zu drei Gruppen auf Basis der Reifelevel	
<p>Ein Reifeüberblick über alle Attribute wird über die Zuordnung der Attribute zu drei Reifegruppen geschaffen. Hierbei wird jedes Attribut, seinem Reifelevel nach, einer der drei Gruppen zugeordnet und somit eine Verteilung aller Attribute geschaffen. Neben der Verteilung in den drei Gruppen wird auch eine Verteilung der Attribute über alle 13 Reifelevel dargestellt.</p>	
$RGA = \begin{cases} \text{Initialisierung wenn } RLA_{DkAi} \leq RL\ 3 \\ \text{Realisierung wenn } RLA_{DkAi} \geq RL\ 4 \\ \text{und } \leq RL\ 8 \\ \text{Standardisierung wenn } RLA_{DkAi} \geq RL\ 9 \end{cases}$	<p>RGA... Reifegruppe des Attributs RLA_{DkAi}...Reifelevel eines Attributes mit Laufindex über die Attribute einer Dimension RL...Reifelevel (1-13)</p>
Schritt 3: Berechnung Reifelevel in neun Dimensionen und sechs Querschnittsthemen	
<p>Der festgelegten Struktur des Modells folgend, wird der Reifelevel der neun Dimensionen aus dem durchschnittlichen Reifelevel der zugehörigen Bewertungsattribute berechnet.</p>	
$DLD_{Dk} = \frac{\sum_{i=1}^n DLA_{DkAi}}{\sum_{i=1}^n n_{Dk}}$	<p>DLD_{Dk}...Reifelevel Dimension mit Laufindex über die Dimensionen n_{Dk}...Anzahl der Attribute der Dimension mit Laufindex über die Attribute der Dimension</p>
<p>Formelerklärung: Berechnung des Reifelevels <i>DLD</i> der Dimensionen 1-9 über Division des Reifelevels <i>DLA</i> aller Attribute der Dimension durch die Anzahl der Attribute <i>n</i> in der jeweiligen Dimension.</p> <p>Neben der Dimensionenauswertung wird der Reifelevel auch aus Sicht der sechs Querschnittsthemen bewertet, welche sich aus einer veränderten Zusammenstellung der Attribute ergibt. Die Berechnung erfolgt wiederum über den durchschnittlichen Reifelevel der Attribute, welche einem Querschnittsthema zugeordnet sind.</p>	
$DLT_{Tm} = \frac{\sum_{i=1}^g DLA_{TmAi}}{\sum_{i=1}^g g_{Tm}}$	<p>DLT_{Tm}...Reifelevel Querschnittsthema mit Laufindex über die Querschnittsthemen DLA_{TmAi}...Reifelevel Attribute im Querschnittsthema mit Laufindex über die Attribute des Querschnittsthemas g_{Tm}...Anzahl der Attribute im Querschnittsthema mit Laufindex über die Attribute des Querschnittsthemas</p>
<p>Formelerklärung: Berechnung des Reifelevels <i>DLT</i> der Querschnittsthemen 1-6 über Division des Reifelevels <i>DLA</i> aller Bewertungsattribute des Querschnittsthemas durch die Anzahl der Attribute <i>g</i> des jeweiligen Querschnittsthemas.</p>	
Schritt 4: Berechnung Entwicklungsbedarf-Index (EBI) für die Bewertungsattribute	
<p>Zur Priorisierung von DuA-Handlungsfeldern wird ein Entwicklungsbedarf-Index (EBI) berechnet, welcher den Handlungsbedarf für jedes Attribut zwischen angibt. Für die Berechnung können zwei Varianten verfolgt werden: ersten kann der EBI aus der Reifelevel-Lücke zum maximalen Reifelevel (13) berechnet werden (Var. A), oder aus der Reife-Lücke zu einem Soll-Reifelevel (Var. B).</p>	

Var. A: $EBI_{DkAi} = (DLA_{Max} - DLA_{DkAi}) * (RBA_{DkAi}) * (g)$

Var. B: $EBI_{DkAi} = (DLA_{DkAiSOLL} - DLA_{DkAi}) * (RBA_{DkAi}) * (g)$

EBI_{DkAi} ...Entwicklungsbedarf-Index der Attribute mit Laufindex über die Attribute der Dimension

RBA_{DkAi} ...Relevanzbewertung Attribute mit Laufindex über die Attribute einer Dimension

$DLA_{DkAiSOLL}$...Soll-Reifelevel eines Attributes mit Laufindex über die Attribute der Dimension

g... Normierungsfaktor

DLA_{Max} ...maximaler Reifelevel

Formelerklärung: Berechnung des Entwicklungsbedarf-Index EBI über die Differenz des maximal möglichen Reifelevels DLA_{Max} (Var.A), oder einen definierten Soll-Reifelevel DLA_{Soll} (Var B.) multipliziert mit der jeweiligen Relevanzbewertung des Attributs RBA, sowie einem Normierungsfaktor g ¹⁷¹.

Schritt 5: Berechnung des EBI für die Dimensionen und Querschnittsthemen

Aus dem EBI der einzelnen Attribute wird nun der Entwicklungsbedarf-Index auf Dimensionenebene berechnet.

$$EBID_{Dk} = \frac{\sum_{i=1}^n EIA_{DkAi}}{\sum_{i=1}^n n_{Dk}}$$

$EBID_{Dk}$...Entwicklungsbedarf-Index Dimension

Formelerklärung: Berechnung des Entwicklungsbedarf-Index EBID einer Dimension mittels Division der Summe aller Entwicklungsbedarf-Indizes der Attribute EIA durch die Anzahl der Attribute n der jeweiligen Dimension.

Aus veränderter Zuordnung der Attribute zu Querschnittsthemen wird nach gleichem Vorgehen der Entwicklungsbedarf-Index dieser berechnet.

$$EBIT_{Tm} = \frac{\sum_{i=1}^g EIA_{TmAi}}{\sum_{i=1}^g g_{Tm}}$$

$EBIT_{Tm}$...Entwicklungsbedarf-Index Querschnittsthema

Die resultierenden Auswertungen erstellen sich automatisch über die verwendeten Softwaretools nach manuellem Import der Bewertungsdaten. Die Ergebnisinterpretation erfolgt manuell durch DuA-Experten und wird anschließend in einen Reifegradbericht sowie ein Ergebnis-Dashboard überführt.

Im Folgenden werden die Eigenschaften des entwickelten Bewertungsmodells zusammengefasst.

6.4 Zusammenfassung Bestandteile des Bewertungsmodells

Das Ergebnis der Entwicklungsschritte aus den Kapiteln 6.1-6.3 ist ein Bewertungsmodell für die DuA-Reife von Produktionsunternehmen. Die Modellbestandteile lassen sich folgt zusammenfassen (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Bestandteile des Bewertungsmodells

Bestandteile	Beschreibung
Bewertungsfokus (siehe Kapitel 2.3 und Kapitel 6.1)	Fokus auf industrielle Produktionsunternehmen mit Voraussetzungen: <ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung materieller, diskreter und bewegbarer Güter • Inhouse-Produktion mit verketteten Wertschöpfungsbereichen

¹⁷¹ Der Normierungsfaktor wird genutzt, um eine einheitliche Skala von 1-100 zu erhalten, verändert die Bewertungsergebnisse jedoch nicht.

Struktur des Bewertungsmodells (siehe Kapitel 6.1)	Das Modell strukturiert sich in: <ul style="list-style-type: none"> • Neun Dimensionen (D1 – D9) • Sechs Querschnittsthemen (T1-T6)
Bewertungsattribute (siehe Kapitel 6.2)	Das Modell besteht aus 143 Bewertungsattributen, welche den neun Dimensionen sowie den sechs Querschnittsthemen zugeordnet sind. Die Bewertungsattribute sind für die Anwendung mit einer ID, einem Titel, einer Beschreibung und Beispielen versehen. Die Bewertungsattribute beinhalten folgende Bewertungen: <ul style="list-style-type: none"> • Bewertung des Reifelevels • Bewertung der Relevanz für das Unternehmen
Reifelevel (siehe Kapitel 6.2)	Der Reifelevel gibt die Umsetzung eines DuA-Bewertungsattributes bzw. der damit verbundenen DuA-Lösung an und kann 13 progressive Level aufweisen: <ul style="list-style-type: none"> • Reifelevel 1: keine Umsetzung der DuA-Lösung geplant • Reifelevel 13: DuA-Lösung vollständig umgesetzt
Relevanzbewertung (siehe Kapitel 6.2)	Die Relevanzbewertung gibt den potenziellen Nutzen der DuA-Lösung des Bewertungsattributes für das Unternehmen an und kann fünf Relevanzstufen aufweisen: <ul style="list-style-type: none"> • Relevanzbewertung 1: Sehr niedrige Relevanz der DuA-Lösung für das Unternehmen • Relevanzbewertung 5: Sehr hohe Relevanz der DuA-Lösung für das Unternehmen
Handlungsbedarf-Index (siehe Kapitel 6.3)	Der Handlungsbedarf-Index ist ein Indikator für den Handlungsbedarf zur Erhöhung des Reifelevels. Dieser kann Werte zwischen 0-100 annehmen: <ul style="list-style-type: none"> • EBI 0: Niedriger Entwicklungsbedarf für das Bewertungsattributs aus Sicht des Unternehmens • EBI 100: Hoher Entwicklungsbedarf für das Bewertungsattributs aus Sicht des Unternehmens

Nach der Entwicklung des Bewertungsmodells folgt die Validierung der bisherigen Entwicklungsschritte, wie im Folgenden beschrieben.

6.5 Validierung der theoretischen Entwicklungsschritte

Mit Bezug auf die festgelegten Validierungen der Dissertation aus *Kapitel 5.3* werden an dieser Stelle Güteanforderungen an das Entwicklungsvorgehen, als auch das resultierende Modell, überprüft und nachgewiesen:

- Systematik und Konsistenz der Entwicklungsschritte der Dissertation
- Konsistenz der Operationalisierung industrieller DuA
- Hinreichend ganzheitliche Abbildung industrieller DuA für die Bewertung

6.5.1 Validierung der Systematik und Konsistenz der Entwicklungsschritte der Dissertation

Die Güteanforderung einer systematischen und konsistenten Entwicklung der Inhalte kann über die Methodenbeschreibungen und vor allem die Bereitstellung von Rahmen- und Vorgehensmodellen erfolgen¹⁷². Demnach wird das Entwicklungsvorgehen der Dissertation über folgende Entwicklungsmodelle systematisiert (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Definierte Entwicklungsmodelle zur Systematisierung der Entwicklungen

Inhalt	Rahmenmodell	Vorgehensmodell
Strukturierung der Kapitelinhalte der Dissertation in Form von Concept-Maps.	X	
Anleitung durch die Schritte zur Durchführung der systematischen Literaturrecherche.		X
Strukturierung der verwendeten Forschungsmethoden zugeordnet zur Design Science-Vorgehensweise.	X	
Anleitung durch die Schritte zur Erstellung von Concept-Maps.		X
Anleitung durch die Schritte zur Durchführung des Survey Research im empirischen Teil der Dissertation.		X
Anleitung durch die Schritte zur Durchführung des Action Research im empirischen Teil der Dissertation.		X
Anleitung durch Schritte zur Entwicklung des Bewertungsmodells.		X
Strukturierung der DuA-Zielzustände mit den WuO-Faktoren in einem Relationsmodell.	X	
Anleitung durch die Schritte zur Auswertung der Bewertungsdaten.		X
Anleitung durch die Schritte zur Anwendung des Bewertungsmodells.		X

Alle hier angeführten Rahmen- und Vorgehensmodelle basieren auf dem jeweiligen SOTA, wurden jedoch konkret für die systematische Ausarbeitung der Dissertationinhalte entwickelt. Die Entwicklungsmodelle sind im betreffenden Kapitel der Arbeit oder im Anhang angeführt.

6.5.2 Validierung der Konsistenz der Operationalisierung industrieller DuA

Die Validierung des Operationalisierungsansatzes erfolgte hierbei über wiederkehrende Präsentation vor Fachexperten aus Wissenschaft und Praxis, sowie der iterativen Einarbeitung der Rückmeldungen. Im Folgenden ist eine anonymisierte Übersicht der Experten angeführt, mit welchen der Operationalisierungsansatz validiert wurde¹⁷³ (siehe Tabelle 26).

¹⁷² Seepersad et al. (2006, S.308).

¹⁷³ Personenbezogene Daten wurden anonymisiert

Tabelle 26: Befragte Experten zum Operationalisierungsansatz

Position	Institution (Land)	Bereich
Assistant Professor, Department of Global Trade	Universität (Österreich)	Wissenschaft
Chair of Engineers Ireland South East Region	Universität (England)	Wissenschaft
Professor, Head of Department of Business Informatics	Universität (Österreich)	Wissenschaft
Research Associate and Lecturer	Universität (Türkei)	Wissenschaft
Head of Private Law Department	Universität (Türkei)	Wissenschaft
Department Head Industrial Management	Fachhochschule (Österreich)	Wissenschaft
Gruppenleiter Geschäftsfeld Unternehmensmanagement	Forschungsinstitut (Deutschland)	Wissenschaft / Praxis
Projektleiter Geschäftsfeld Unternehmensmanagement	Forschungsinstitut (Deutschland)	Wissenschaft / Praxis
Project Manager and Research Fellow	Forschungsinstitut (Ungarn)	Wissenschaft / Praxis
Themenfeldleitung Industrial Data Science	Forschungsinstitut (Österreich)	Wissenschaft / Praxis
Gruppenleiter, Industrial Data Analytics	Forschungsinstitut (Österreich)	Wissenschaft / Praxis
Assistent der Geschäftsleitung Produktion, Stabstelle Digitalisierung	Produktionsunternehmen (Globale Niederlassungen)	Praxis
Leitung IT und Digitalisierung	Produktionsunternehmen (Österreich)	Praxis
Leitung Programm Digital Transformation	Produktionsunternehmen (Globale Niederlassungen)	Praxis
EVP Strategic Programs and Asset Management	Produktionsunternehmen (Globale Niederlassungen)	Praxis
Vice-President and Chief Digital Officer	Produktionsunternehmen (Globale Niederlassungen)	Praxis
Digitalisierungsbeauftragter im Manufacturing	Produktionsunternehmen (Österreich)	Praxis
Bereichsleiter Produktionstechnik Operations & Qualitätsmanagement	Produktionsunternehmen (Österreich)	Praxis

Des Weiteren wurde der Operationalisierungsansatz in folgenden Publikationen (Peer-Review) veröffentlicht (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Publikationen des Dissertanten zur Operationalisierung

Publikationen mit Bezug auf den Operationalisierungsansatz
Schumacher, Andreas; Sihm, Wilfried; Erol, Selim (Hg.) (2016): Automation, digitization and digitalization and their implications for manufacturing processes. Innovation and Sustainability Conference, Bukarest 2016. ¹⁷⁴
Schumacher, Andreas; Schumacher, Christian; Sihm, Wilfried (2020): Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation. In: Numan M. Durakbasa und M. Güneş Gençyilmaz (Hg.): Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019, Bd. 70. Cham: Springer International Publishing, S. 301–310.
Schumacher, Andreas, Sihm, Wilfried (2020): A Monitoring System for Implementation of Industrial Digitalization and Automation using 143 Key Performance Indicators. In: Procedia CIRP. In press (accepted 01.04.2020).
Schumacher, Andreas, Sihm, Wilfried (2020): A Strategy Guidance Model to Realize Industrial Digitalization in Production Companies. In: Journal of Management and Production Engineering Review. Under review.

6.5.3 Validierung der ganzheitlichen Abbildung industrieller DuA für die Bewertung

Die Validierung der ganzheitlichen Abbildung der DuA erfolgte durch Experteninterviews- und Bewertungen mit neun Experten. Die Bewertung der Ganzheitlichkeit der Modellinhalte erfolgte in Form einer Inhaltsvorstellung sowie einem direkten Feedbackgespräch. Zusammenfassend haben die Expertenbefragungen zur Validierung folgende Rückmeldungen ergeben – die Rückmeldungen wurden nach deren Nennung¹⁷⁵ sortiert (Top 3 Rückmeldungen nach Nennung):

- „Die Ganzheitlichkeit der Bewertung der DuA-Reife besteht, jedoch nur mit der klaren Eingrenzung, dass es sich um eine produktions- bzw. wertstromorientierte Bewertung handelt. Bei gesamtunternehmerischer Betrachtung ist die Ganzheitlichkeit nicht mehr gegeben.“
- „Für die ganzheitliche Abbildung einer Dimension reicht die Anzahl der Bewertungsattribute nur bedingt aus¹⁷⁶. Die gewählten Attribute in den Dimensionen bilden diese jedoch ausreichend ab und erfordern bereits einen hohen Bewertungsaufwand in den Unternehmen.“
- „Der Ansatz, die Digitalisierung und Automatisierung in Bezug auf Informationsprozesse und physische Prozesse differenziert zu betrachten, fördert die ganzheitliche Bewertung der DuA maßgeblich.“

Bzgl. der Relevanz der Modellinhalte wurden die Experten folglich angewiesen, eine Relevanz-Bewertung von 1 - niedrige Relevanz bis 5 - hohe Relevanz für die Bewertungsattribute anzugeben (Auswertung siehe Abbildung 45).

¹⁷⁴ Diese Publikation gilt als erster Ideengeber der Dissertationseinhalte

¹⁷⁵ Als Nennung werden Aussagen der Experten mit vergleichbarem Inhalt bezeichnet

¹⁷⁶ Die ursprünglichen 189 Relationen wurden bereits aus Praxisgründen auf 143 Attribute reduziert wurden

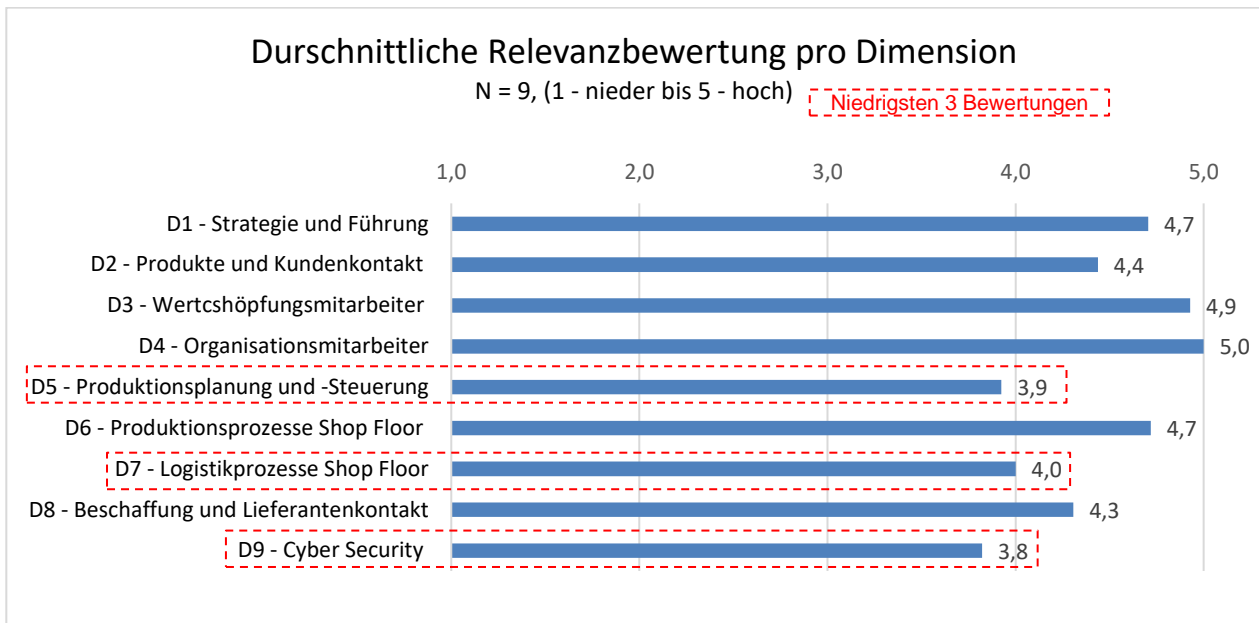


Abbildung 45: Expertenbewertung der Relevanz der Modellinhalte

Für die drei Dimensionen mit der niedrigsten Relevanzbewertung wurden die Fachexperten erneut um detailliertes Feedback gebeten:

- Feedback D5 - Produktionsplanung und Steuerung:** Die teilweise integrierte Betrachtung von Planung und Steuerung kann zu Bewertungsunschärfen im Unternehmen führen.
Lösungsansatz: Trennung der Dimension in planungs- sowie steuerungorientierte Attribute schärft den Bewertungsfokus.
- Feedback D7 - Logistikprozesse Shop Floor:** Die Materialsteuerung wird nicht ausreichend betrachtet und so ein essenzieller Teil bei der Bewertung vernachlässigt.
Lösungsansatz: in Dimension D5 sind Attribute für die Planung und Steuerung von Material vorgesehen, welche nun D7 zugeordnet werden, um die Ganzheitlichkeit dieser Dimension zu erhöhen.
- Feedback D9 - Cyber Security:** Die Attribute decken wichtige Aspekte der Cyber Attacken- und Fehlervermeidung nicht ab.
Lösungsansatz: Die Inhalte der Attribute wurden überarbeitet und vermehrt auf die Cyber Security-Prävention ausgerichtet, sowie der bestehende Fokus auf die Reaktion nach Schadenseintritt reduziert.

Neben der Validierung der theoretischen Relevanz der Modellinhalte wurden die Experten auch angewiesen die Verständlichkeit der entwickelten Bewertungsattribute inkl. Attributstitel, Beschreibung und Messskalen zu bewerten von 1 - schlechte Verständlichkeit bis 5 - gute Verständlichkeit (Auswertung siehe Abbildung 46).

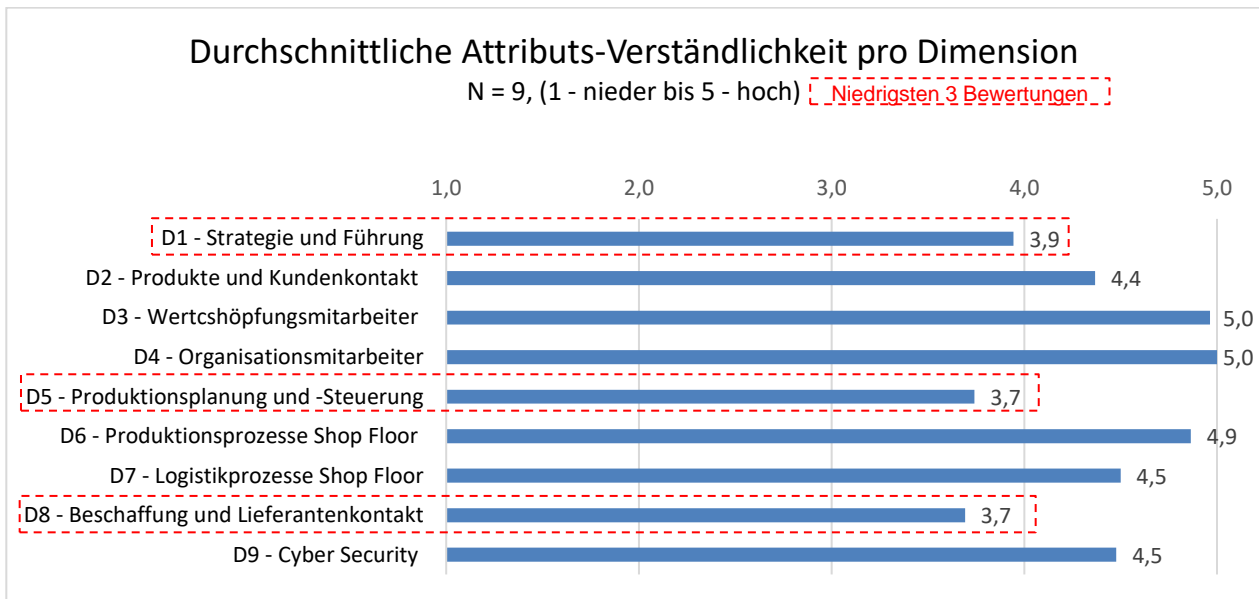


Abbildung 46: Expertenbewertung der Verständlichkeit der Bewertungsattribute

Mit dieser Bewertung und Validierung sollen unklare Formulierungen eliminiert werden, um so möglichst hohe Messgenauigkeit zu erreichen. Für die drei Dimensionen mit der niedrigsten Verständlichkeitsbewertung wurden die Fachexperten erneut um detailliertes Feedback gebeten:

- Feedback D1 - Strategie und Führung:** Die Fragestellungen zu den Attributen sind teilweise unscharf formuliert und sind daher nur schwer quantitativ im Unternehmen erfassbar.
Lösungsansatz: Alle Attribute der Dimension wurden überarbeitet und deren Bewertungsfokus neu eingegrenzt, um die Aussagekraft der Attribute zu erhöhen.
- Feedback D5 - Produktionsplanung und Steuerung:** Die bereits beschriebene, teilweise Integration von Planung und Steuerung, vermindert auch die Verständlichkeit der Bewertungsattribute.
Lösungsansatz: Trennung der Attribute in planungs- sowie steuerungorientierte Attribute.
- Feedback D8 - Beschaffung und Lieferantenkontakt:** Fehlende Unterteilung in strategische und operative Beschaffung erschwert die Bewertung der Attribute teilweise.
Lösungsansatz: Trennung der Attribute in strategische, sowie operativ fokussierende Attribute.

Mit der Einarbeitung der Expertenrückmeldungen wird die Validierung der theoretischen Entwicklungen abgeschlossen und wie folgt zusammengefasst: Die Güteanforderungen an die Entwicklungsschritte der Dissertation, an die Konsistenz der Operationalisierung der DuA, sowie an die ganzheitliche Abbildung industrieller DuA konnten durchgehend belegt werden und wurden auch aus Expertensicht bestätigt. Güteaspekte mit niedrigen Bewertungen wurden entsprechend überarbeitet, bevor das Modell zur Anwendung kommt.

Nach der Fertigstellung und Validierung des theoretischen Modells besteht der nächste Schritt in der Praxisanwendung und Validierung, wie im folgenden Kapitel ausgeführt.

7 Praxisanwendung des Bewertungsmodells

Kapitel 7 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, dem Modelltransfer und der Anwendung in der Praxis (siehe Abbildung 47).

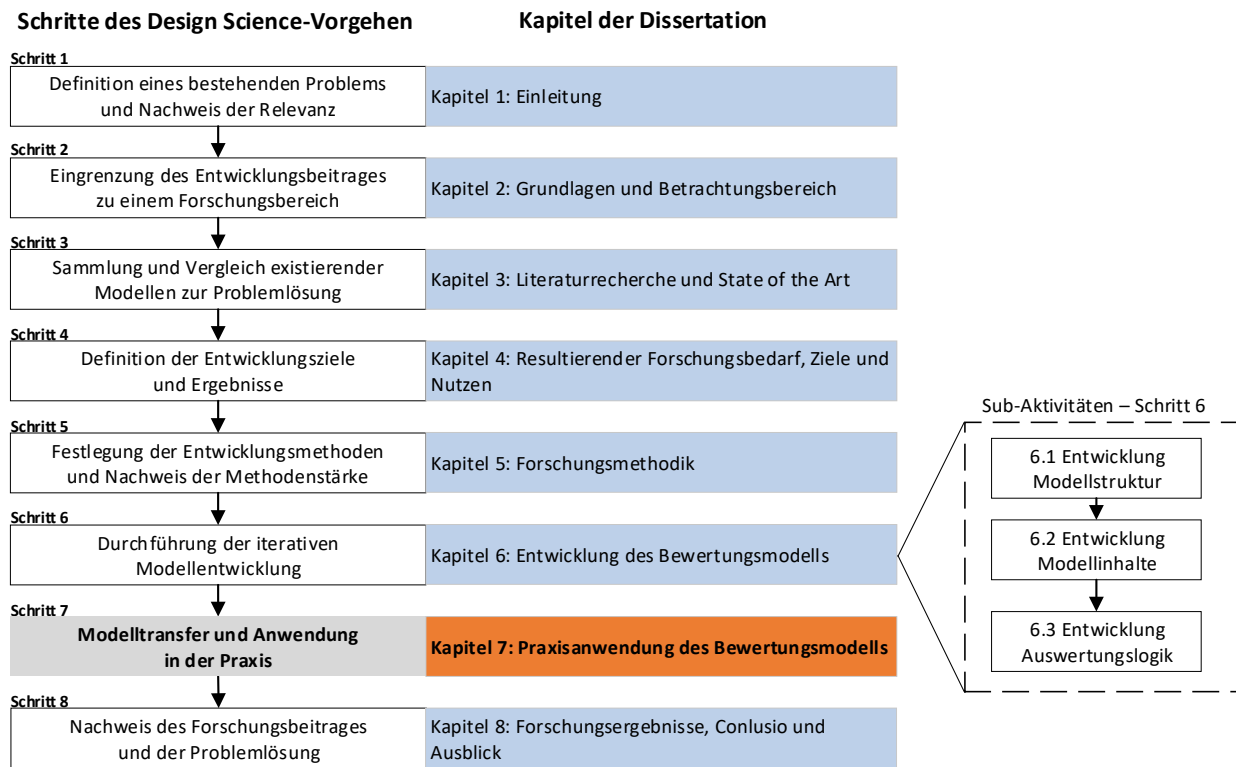


Abbildung 47: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Kapitel 7 beinhaltet einen Überblick der Modellanwendungen, zugehörige Ergebnisbeschreibungen der Anwendung, sowie die Validierung der Anwendungsergebnisse (siehe Abbildung 48).

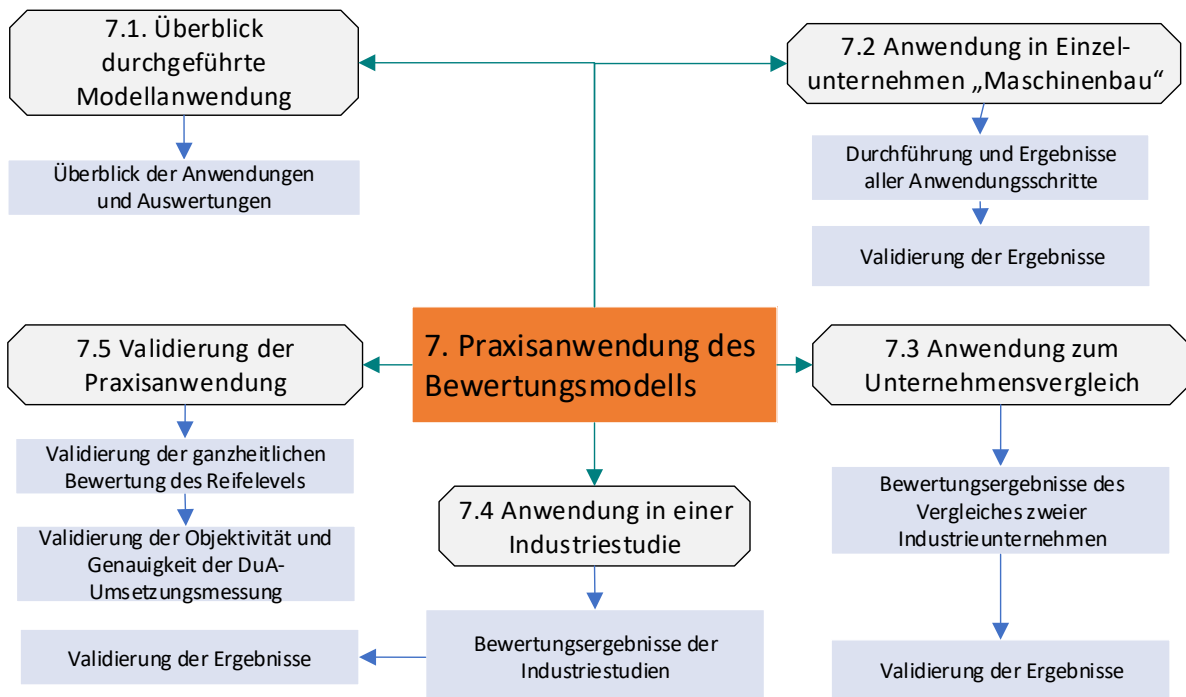


Abbildung 48: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 7 (eigene Darstellung)

7.1 Überblick durchgeführte Modellanwendungen

Für die Dissertation wurden drei Praxisanwendungen mit jeweils verschiedenem Anwendungsfokus durchgeführt. Der veränderte Anwendungsfokus soll die Nutzbarkeit des Bewertungsmodells für unterschiedliche Zwecke belegen (siehe Abbildung 49).

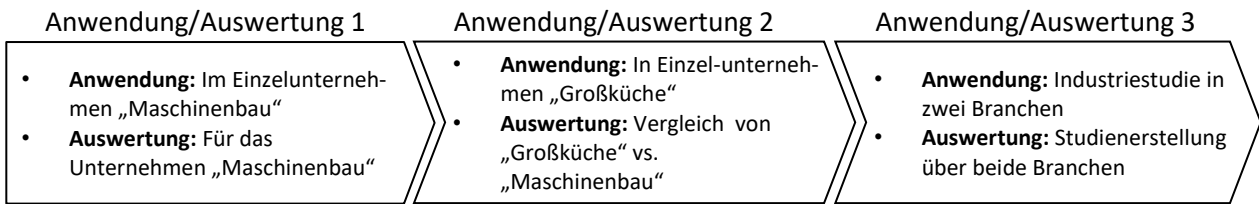


Abbildung 49: Anwendungen des Bewertungsmodells und dessen Fokus

Zur Durchführung der praktischen Anwendung wurden in der Planungsphase des Dissertationsprojektes Kooperationen mit Unternehmen und Industriefachverbänden abgeschlossen. Im Zuge der Kooperationen wurden zwei Anwendungen in Form von Use-Cases in Einzelunternehmen, sowie eine Anwendung in Form einer Industriestudie durchgeführt. Die folgenden Beschreibungen der praktischen Anwendungen, sowie der Resultate erfolgt aufgrund der strategischen Relevanz der Inhalte auf Wunsch der Kooperationspartner anonymisiert.

7.2 Anwendung in Einzelunternehmen „Maschinenbau“

Im ersten Use-Case wurde das Bewertungsmodell in einem österreichischen Unternehmen im Bereich des Maschinenbaues angewendet (siehe Tabelle 28).

Tabelle 28: Unternehmens- und Use-Case-Daten des Unternehmen „Maschinenbau“

Unternehmensdaten ¹⁷⁷	
<ul style="list-style-type: none"> Anzahl Mitarbeiter: ca. 7000 MA Anzahl Standorte: ca. 10 Umsatz: ca. 2 Mrd. Euro/Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> Erzeugnisart: Materielle Erzeugnisse Fertigungsgröße im Werk: ca. 2000 Stk./Jahr Produktionsorganisation: Fließ- und Standplatzproduktion
Use-Case-Daten	
<p>Ausgangssituation:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie über alle Werke ist geplant Informationen zum derzeitigen Reifegrad der DuA fehlen <p>Ziele der Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Umfassende Ersterhebung der DuA-Reife Ableitung von DuA-Handlungsfeldern als Input für die Strategieentwicklung <p>Use-Case-Dauer: 4 Monate mit wiederholten Vor-Ort-Workshops</p> <p>Anzahl der Bewertungsteilnehmer: 10 MA des Unternehmens (Operativ bis Geschäftsführung)</p>	

¹⁷⁷ Zur Anonymisierung werden ungefähre Werte der Daten angegeben

7.2.1 Vorgehensweise zur Anwendung im Unternehmen

Die Vorgehensweise zur Durchführung des Use-Cases folgt einem Vorgehen nach sieben Schritten, wie im Folgenden beschrieben (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Vorgehen zur Anwendung des Bewertungsmodells im Unternehmen

Schritt 1: Strategische Entscheidung zur Anwendung							
Da das Bewertungsmodell als Strategietool zu verstehen ist, sind zu Beginn sog. „Alignment-Workshops“ mit dem Top-Management des Unternehmens erforderlich, um die Nachhaltigkeit der abgeleiteten DuA-Handlungsfelder zu garantieren.							
Schritt 2: Einführungsworkshops im Unternehmen							
Auf operativer Anwendungsebene des Modells muss eine Vereinheitlichung des Wissens zum Thema DuA aller Teilnehmer erfolgen, um so die Konsistenz ¹⁷⁸ der Bewertungsergebnisse zu verbessern.							
Schritt 3: Sammlung DuA-Ziele und aktuelle DuA-Projekte im Unternehmen							
Zum Start der Bewertung erfolgt die Sammlung der DuA-Ziele sowie aktuell laufender DuA-Projekte im Unternehmen. Die Zieldefinition dient als Rahmen für die Ableitung der DuA-Handlungsfelder in Schritt 7 und die Sammlung aktuell laufender DuA-Projekte vereinfacht die spätere Integration der DuA-Handlungsfelder in die bestehende Projektlandschaft.							
Schritt 4.1 und 4.2: Erhebung Reifelevel und Relevanz der Attribute							
In Schritt 4 folgt die Erhebung des Reifelevels aller 143 Attribute. Hierzu werden Bewertungsteilnehmer im Unternehmen bestimmt, welche jeweils deren Bereich zugeordnete Dimensionen bewerten. Mit Ausnahme der Dimensionen D3 und D4: Dimension D3 - Wertschöpfungsmitarbeiter wird von jedem Fachbereichen beantwortet, welcher Mitarbeiter am Shop Floor hat und Dimension D4 - Organisationsmitarbeiter wird von allen Fachbereichen bewertet. Eine Zuordnung der Dimensionen des Modells zu bewertenden Fachbereichen des Unternehmens ist in Abbildung 50 angeführt.							
Bewertung der Dimension durch Fachbereiche:							
Dimension:	Management Digitalisierung	Vertrieb und Kundenservice	Logistik	IT	Beschaffung und Einkauf	Produktion	Produktions-Planung und Steuerung
D1 – Strategie & Führung	X						
D2 – Produkte & Kundenkontakt		X					
D3 – Wertschöpfungsmitarbeiter			X			X	
D4 – Organisationsmitarbeiter	X	X	X	X	X	X	X
D5 – Produktionsplanung & Steuerung							X
D6 – Produktionsprozesse Shop Floor						X	
D7 – Logistikprozesse Shop Floor			X				
D8 – Beschaffung & Lieferantenkontakt					X		
D9 – Cyber Security				X			
Summe Dimensionen	2	2	3	2	2	3	2

Abbildung 50: Bewertungszuordnung zu Fachbereichen (Eigene Darstellung)

Da es sich bei den Attributen um quantitativ messbare Kennzahlen handelt, verfolgt dieser Bewertungsansatz keine Durchschnittsbildung aus den Bewertungen aller Teilnehmer, sondern verlangt einen erhobenen Kennwert pro Attribut. Lediglich in den Dimensionen 3 und 4, welche mehrfach bewertet werden, wird sowohl der Durchschnitt Aller als auch die Einzelbewertung der Fachbereiche

¹⁷⁸ Die Bewertungskonsistenz ist messbar mittels Standardabweichung über mehrere Teilnehmer zum selben Bewertungsattribut

abgebildet. Neben dem Reifelevel wird auch die Relevanz der Attribute für das Unternehmen aus Sicht der Teilnehmer abgefragt. Diese dient der Ableitung des Entwicklungsbedarf-Index in Schritt 6 des Anwendungsvorgehen.

Schritt 5.1 (Var. B) und Schritt 6 (Var. A und Var. B)

Beinhaltet die softwaregestützte Auswertung der Bewertungsrückmeldungen. Die Sammlung der Bewertungen erfolgt über ein Onlinetool, welches die Teilnehmer durch die Attribute der jeweiligen Dimension führt. Die Rückmeldungen werden anschließend mit einem vorgefertigten Softwaretemplate strukturiert und in Auswertungen des Reifelevels, sowie der Relevanzbewertungen überführt. Das Bewertungsmodell erlaubt die Ableitung des Handlungsbedarfes über zwei Vorgehensweisen:

- **Variante A:** Bedarfsableitung über die Bildung von Entwicklungsbedarf-Indizes, welche sich aus der Kombination der Reifegradlücke zum maximal möglichen Reifelevel und der Relevanzbewertung errechnen.
- **Variante B:** Bedarfsableitung über die Bildung von Entwicklungsbedarf-Indizes, welche sich aus der Kombination der Reifegradlücke zu einem definierten Soll-Reifelevel und der Relevanzbewertung errechnen. In dieser Variante ist die Festlegung eines Soll-Reifelevels für alle Attribute erforderlich. Die Vorgehensweise der Variante B bietet den Vorteil erhöhter Aussagekraft der Bewertungsergebnisse aufgrund der unternehmensindividuellen Zielwertfestlegung.

Schritt 7 (Var. A und Var. B)

In beiden Varianten werden nun jene Attribute, Dimensionen und Querschnittsthemen mit dem höchsten Entwicklungsbedarf extrahiert. Somit lassen sich DuA-Handlungsfelder aus Dimensionensicht, aus Sicht der Querschnittsthemen, als auch aus individueller Sicht der Bewertungsattribute ableiten.

Die Resultate aus allen sieben Anwendungsschritten werden in einem Reifegradbericht, sowie einem Ergebnis-Dashboard zusammengeführt.

Die Schritte 1-3 dienen hierbei der Bewusstseins-schaffung für Management und Bewertungsteilnehmer, sowie der Sammlung aktueller Digitalisierungsprojekte im Unternehmen. Da die Resultate der Schritte 1-3 aus dem Use-Case nicht direkt zum Nachweis der Zielerreichung der Dissertation beitragen, werden diese aus Gründen der Informationssensibilität nicht weiter ausgeführt. Die Resultate wurden in Workshops im Unternehmen vorgestellt und als Strategieinput übergeben. Im Folgenden werden daher die, für die Dissertation relevanten, Resultate der Anwendungsschritte 4-7 beschrieben. Diese wurden mit dem Unternehmen zur Modellvalidierung plausibilisiert.

7.2.2 Resultate Schritt 4.1 – Erhebung des aktuellen Reifelevels

Nach der Durchführung der Einführungsworkshops erfolgte die Bewertung der Attribute durch die Bewertungsteilnehmer im Unternehmen. Die Sammlung der Bewertungsdaten wurde mittels Onlineumfragetool durchgeführt, um die Ergebnisse in einheitlicher und digitaler Form in die Auswertungstemplates überführen zu können. Im Unternehmen Maschinenbau wurde der Reifelevel von 138 Attributen erhoben¹⁷⁹ und in Summe 266 Bewertungen¹⁸⁰ abgegeben, resultierend in folgender Verteilung der Attribute über die 13 Reifelevel und Reifegruppen (siehe Abbildung 51).

¹⁷⁹ Somit wurden 5 Attribute nicht bewertet

¹⁸⁰ Aufgrund Mehrfachbewertung Dimension 3 und 4

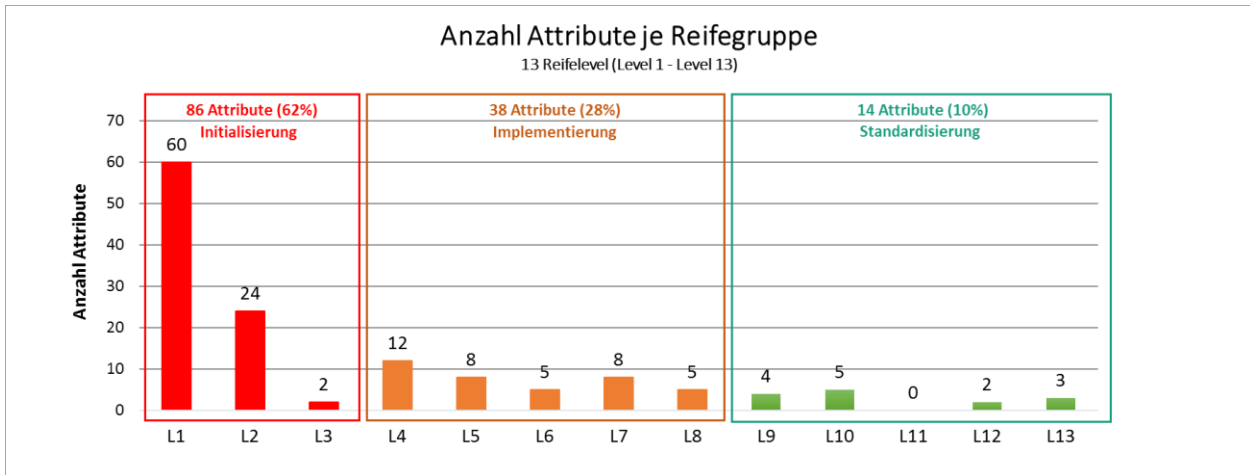


Abbildung 51: Erhobene Reifelevel aller Attribute

Die Verteilung zeigt, dass 60 der 138 Attribute den niedrigsten Reifelevel 1 von 13 aufweisen (entspricht Implementierungsstatus: DuA-Lösung im Unternehmen bis dato nicht untersucht) und nur 3 Attribute den höchsten Reifelevel 13 (entspricht: DuA-Lösung zu 100% umgesetzt) (Details siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: Bewertung und Plausibilisierung der Attributverteilung nach Reifelevel

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
86 von 138 Attributen (62%) mit einem der drei niedrigsten Reifelevel	<p>Plausibilisierung: Aus Sicht aller 10 Bewertungsteilnehmer bildet die Attributverteilung die Realität im Unternehmen ab, da die meisten DuA-Lösungen bzw. deren Dringlichkeit bekannt sind, jedoch deren Nutzen für das Unternehmen noch nicht untersucht wurde.</p> <p>Bewertungsdetails zu Abbildung 51: Attribute mit Fokus auf Strategien und die Nutzung von DuA-Kennzahlen weisen durchgehend niedrige Reifelevel über alle Dimensionen auf, mit Ausnahme von Dimension 8 (D1.06 = 2, D1.08 = 1, D2.05 = 1, D3.02 = 1, D3.08 = 1, D4.08 = 1, D5.02 = 1, D6.03 = 1, D6.04 = 1, D7.01 = 1, D7.02 = 1, D9.01 = 1, D9.04 = 1)¹⁸¹.</p>
14 von 138 Attributen (10%) mit einem der fünf höchsten Reifelevel	<p>Plausibilisierung: Standardisierte DuA-Lösungen existieren im Unternehmen punktuell, jedoch meist als Insellösungen von Fachabteilungen isoliert umgesetzt.</p> <p>Bewertungsdetails zu Abbildung 51: Attribute etwa mit Bezug auf die digitale Vernetzung, Steuerung und Zustandsvisualisierung von Fertigungsmaschinen weisen alle den höchsten Reifelevel auf (D6.04 = 13, D6.05 = 13, D6.11 = 13, D6.12 = 13).</p>

Parallel zur Bewertung des Reifelevel der 138 Attribute wurde die Relevanz der Attribute für das Unternehmen abgefragt, um an späterer Stelle den EBI berechnen zu können.

¹⁸¹ Eine Liste aller 143 Attribute befindet sich im Anhang in Kapitel 9.9

7.2.3 Resultate Schritt 4.2 – Erhebung der Relevanz der Bewertungsattribute

Neben der Bewertung des Reifelevel jedes Attributs wurden die Bewertungsteilnehmer angewiesen, die Relevanz in fünf Relevanzstufen anzugeben (siehe Abbildung 52).

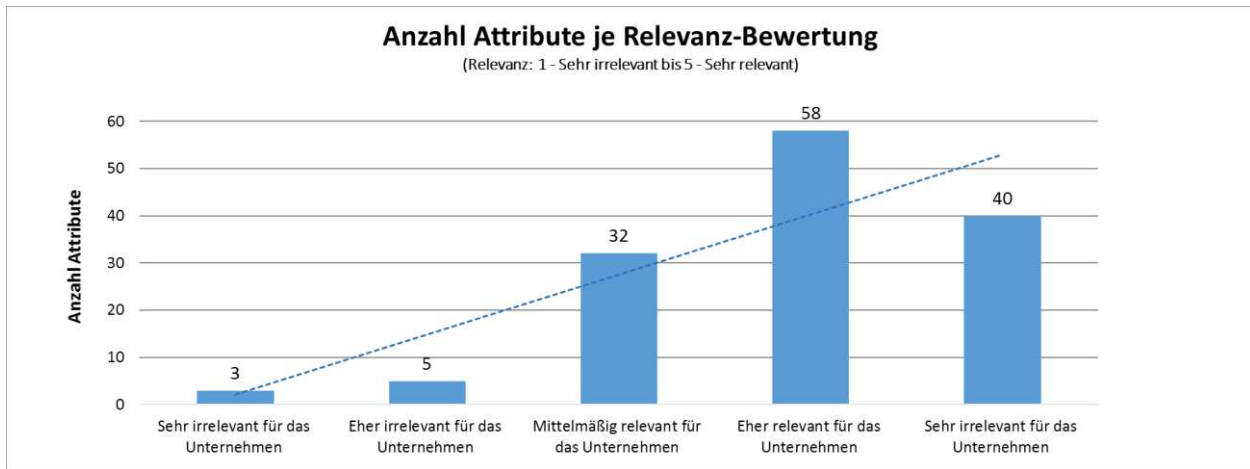


Abbildung 52: Erhobene Relevanz aller Attribute für das Unternehmen

Die Relevanz wurde hierbei definiert als „das Potential des Attributs bei umfassender Implementierung positiv zum Bereichs- bzw. Unternehmenserfolg beizutragen“. Die Verteilung der Relevanzbewertung aller Attribute zeigt eine Verschiebung zu höheren Relevanzstufen. So weisen nur drei Attribute die niedrigste Relevanz und 40 Attribute die höchste Relevanz für das Unternehmen auf (Details siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Bewertung und Plausibilisierung der Relevanzverteilung

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
8 von 138 Attributen (6%) mit niedrigsten zwei Relevanzstufen	Plausibilisierung: Der möglichste ganzheitliche Bewertungsansatz mit einer Abdeckung vielfältiger DuA-Lösungen in Unternehmen führt zwingend zu Attributen, welche für einzelne Unternehmen wenig Relevanz haben. So sehen die Teilnehmer für drei Attribute gar keine Relevanz und für fünf Attribute wenig Relevanz.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 52: Attribute mit Bezug auf die automatische Verpackung von Produkten oder die Onlineeinsicht in den Produktlagerstand weisen niedrige Relevanzbewertungen auf (D7.13 = 1, D7.14 = 1, D7.17 = 2), was auf die Beschaffenheit der Produkte (Gewicht bis 40 Tonnen), sowie auf die Einzelproduktion nach Kundenbestellung zurückzuführen ist.
98 von 138 Attributen (71%) mit höchsten zwei Relevanzstufen	Plausibilisierung: Den Großteil der Attribute sieht das Unternehmen als relevant und knapp 1/3 aller Attribute sogar mit höchster Relevanz. Teilnehmer-rückmeldungen bestätigen, dass die Inhalte der Attribute die wichtigsten DuA-Lösungen im Unternehmen weitreichend abdecken.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 52: Vor allem Attribute mit strategischen Inhalten erhielten jeweils höchste Relevanzbewertung (D1.01-D1.08 = 5, D1.10 = 5, D2.04 = 5, D3.01 = 5, D5.03 = 5, D6.01-D6.05 = 5, D7.01 = 5, D7.03-D7.04 = 5, D8.01-D8.03 = 5).

Durchschnittliche Relevanz über alle Attribute von 4,0 aus 5.	Plausibilisierung: Über alle Attribute bewertet das Unternehmen die Inhalte des Bewertungsmodells mit hoher Relevanz, was zu einer hohen Wahrscheinlichkeit relevanter abgeleiteter DuA-Handlungsfelder an späterer Stelle führt.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 52: Die Verteilung der Relevanzbewertung auf Dimensionenebene reichen von 4,8 aus 5 (D1 - Strategie und Führung) bis 3,6 aus 5 (D9 - Cyber Security).

Die Relevanzbewertungen des Unternehmens werden in Schritt 6 zusammen mit den Reifelevel-Bewertungen in den EBI überführt.

7.2.4 Resultate Schritt 5 und 6 – Auswertung Reifelevel und Entwicklungsbedarf

Die Schritte 5 und 6 erfordern keine Aktivitäten des Unternehmens, sondern werden über die Auswertungssoftware und Auswertungstemplates abgearbeitet. Hierbei wird der Reifelevel und EBI aus Sicht der neun Dimensionen, sowie aus Sicht der sechs Querschnittsthemen betrachtet. Aufgrund des großen Umfangs der Bewertungsergebnisse wird an dieser Stelle der Dissertation ein Auszug der Resultate präsentiert (siehe Abbildung 53).

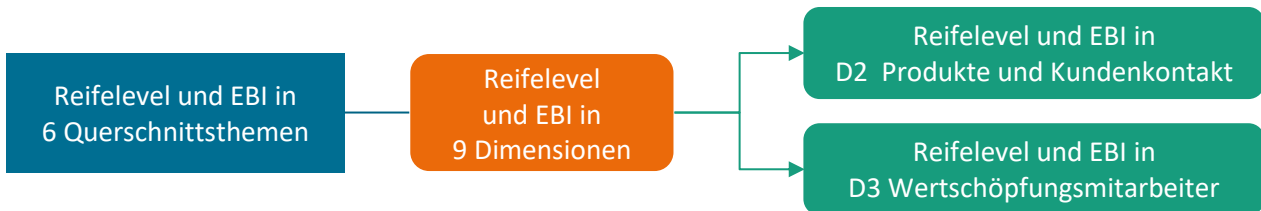


Abbildung 53: Übersicht vorgestellte Auswertungen Reifelevel und EBI

Die Resultate der Dimensionen D2 und D3 wurden zur Gegenüberstellung jener Bereiche, mit dem höchsten Reifelevel (D2 - Produkte und Kundenkontakt) und dem niedrigsten Reifelevel (D3 - Wertschöpfungsmitarbeiter), ausgewählt.

Auswertung Reifelevel und EBI in neun Dimensionen

Der Auswertungslogik des Modells folgend, wird der Reifelevel der neun Dimensionen aus dem durchschnittlichen Reifelevel der zugehörigen Attribute berechnet (siehe Abbildung 54 – links). Weiters erfolgt die Ableitung des EBI der neun Dimensionen aus der Multiplikation der Reifegradlücke zum maximal möglichen Reifelevel (Level 13) mit der Relevanzbewertung auf Attributsebene¹⁸² (siehe Abbildung 54 – rechts).

¹⁸² Sowie Multiplikation mit einem Faktor um eine EBI-Skala von 0-100 zu erhalten

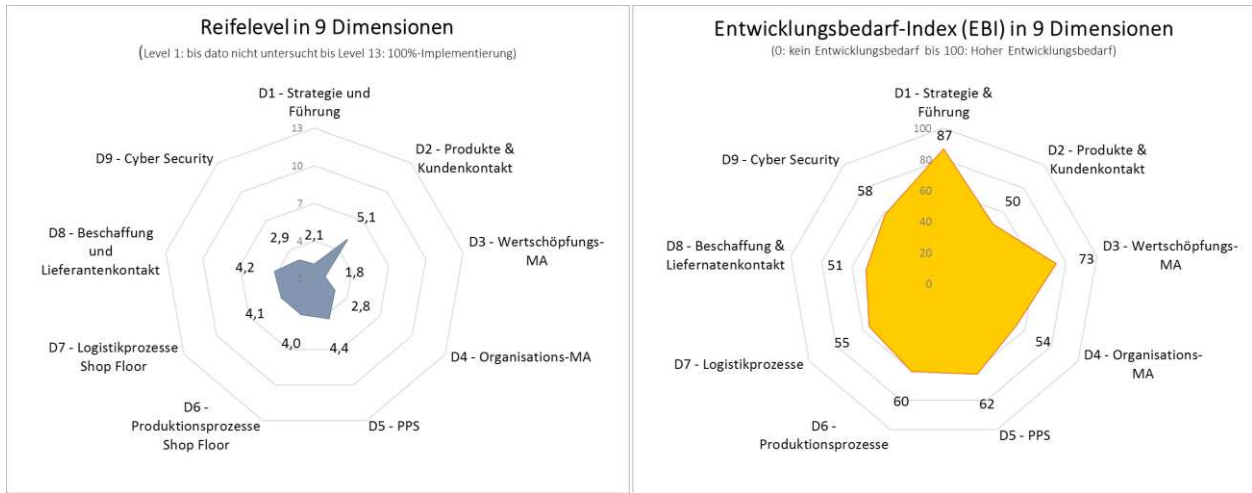


Abbildung 54: Reifelevel in neun Dimensionen (links) und resultierender EBI (rechts)

Bei diesem Unternehmens-Use-Case wurde aus Ressourcengründen auf Unternehmensseite die Variante A der Anwendungsmethode zur EBI-Berechnung verfolgt. Somit erfolgt die EBI-Berechnung unter Nutzung der Reifegradlücke zum maximalen Reifelevel 13, anstatt zu einem festgelegten Soll-Reifelevel für jedes Attribut.

Reifelevel in neun Dimensionen (Abbildung 54 - links):

Die Reifegradverteilung in neun Dimensionen zeigt einen Reifelevel zwischen 1,8 von 13 (D3 - Wertschöpfungsmitarbeiter) und 5,1 von 13 (D2 - Produkte und Kundenkontakt), wobei der durchschnittliche Reifelevel über alle Dimensionen 3,5 aus 13 beträgt (Details siehe Tabelle 32).

Tabelle 32: Bewertung und Plausibilisierung der Dimensionenbewertung Reifelevel

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
<p>Niedrigster Reifelevel: 1,8 in D3 -Wertschöpfungsmitarbeiter</p>	<p>Plausibilisierung: dieser Reifelevel kommt aus Sicht der Teilnehmer vor allem durch fehlende Strategien, Kennzahlen und Ziele für die DuA-Kompetenzentwicklung, oder die fehlende Sammlung und Nutzung von Mitarbeiterdaten zustande.</p> <p>Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Die Attribute mit strategischen Inhalten weisen allesamt niedrige Reifelevel auf (D3.01-D3.02 = 1¹⁸³, D3.05 = 1, D3.08-D3.10 = 1).</p>
<p>Höchster Reifelevel: 5,1 in D2 -Produkte und Kundenkontakt</p>	<p>Plausibilisierung: Dieser Reifelevel resultiert aus einem Digitalisierungsprogramm des Unternehmens in Bezug auf deren Produkte, welches die Produktausstattung mit DuA-Elementen und deren digitale Vernetzung vorantreibt. Die Attribute dieser Dimension mit Bezug auf den Kundenkontakt weisen im Vergleich zur Produktseite noch weitgehend niedrige Reifegrade auf, was aus Sicht der Teilnehmer der Realität entspricht.</p> <p>Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Attribute mit produktbezogenen DuA-Lösungen weisen höchste Reifelevel auf (D2.02 = 13, D2.04 = 13, D2.14 = 13) und jene mit Kundenbezug durchgehend niedrige Reifelevel (D2.05-D2.06 = 1, D2.09 = 1, D2.10 = 2, D2.12 = 2).</p>

¹⁸³ Werte gerundet aus der Bewertungssumme der drei teilnehmenden Fachabteilungen (Fertigung, Montage, Logistik)

Durchschnittlicher Reifelevel: 3,5 aus 13	Plausibilisierung: Ein Gesamt-Reifelevel von 3,5 aus 13 bedeutet, dass weniger als 1/3 der möglichen 13 Reifelevel erreicht wurde. Dies ist aus Sicht der Bewertungsteilnehmer nicht überraschend und stimmt mit der Realität überein.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Mit Bezug auf die 13 definierten Reifelevel bedeutet Level 3,5 eine durchschnittliche Ausprägung der DuA-Lösungen von ca. 5%. ¹⁸⁴

Aus der Bewertung der Reifelevel in den neun Dimensionen ergeben sich durch Kombination mit der jeweiligen Relevanzbewertung die EBI auf Dimensionenebene.

Entwicklungsbedarf-Index (EBI) in neun Dimensionen (Abbildung 54 - rechts):

Der EBI nimmt im Unternehmen Maschinenbau Werte zwischen 50 aus 100 (D2 Produkte und Kundenkontakt) und 87 aus 100 (D1 - Strategie und Führung) an, wobei der durchschnittliche EBI über alle Dimensionen 61 aus 100 beträgt (Details siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Bewertung und Plausibilisierung der Dimensionenbewertung des EBI

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
Höchster EBI: 87 in D1 - Strategie und Führung	Plausibilisierung: Obwohl Dimension D1 nicht den niedrigsten Reifelevel aller Dimensionen aufweist, führt die hohe Relevanzbewertung der Attribute zu hohem Entwicklungsbedarf. Die fehlende strategische Planung der Digitalisierung wird von den Bewertungsteilnehmern ebenfalls als wichtigster Handlungsbereich gesehen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Der EBI von Dimension 1 liegt 14% über jenem von Dimension D3 - Wertschöpfungsmitarbeiter (D3 mit niedrigstem Reifelevel) und beinhaltet kein Attribut mit einem niedrigeren EBI als 75 aus 100.
Niedrigster EBI: 50 in D2 - Produkte und Kundenkontakt	Plausibilisierung: Konsistent mit dem höchsten Reifelevel der Dimension D2 wird der Entwicklungsbedarf von D2 am niedrigsten aller neun Dimensionen bewertet. Dies resultiert neben dem hohen Reifelevel auch aus der niedrigsten Relevanzbewertung von D2 aller Dimensionen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Der EBI der Dimension 2 ist zwar der niedrigste aller Dimensionen, liegt aber nur 1% unter dem EBI der Dimension D8 Beschaffung und Lieferantenkontakt und 5% unter D7 Logistikprozesse Shop Floor. Dimension 2 weist drei Attribut mit höchstem EBI 100 auf und 3 Attribute mit dem niedrigsten EBI von 0 (kein Handlungsbedarf).
Durchschnittlicher EBI: 62 aus 100 (über alle Dimensionen und Querschnittsthemen)	Plausibilisierung: Gesamt besteht im Unternehmen umfassender Handlungsbedarf, was sich in einem durchschnittlichen EBI von 62 aus 100 widerspiegelt. Diese Bewertung wird von den Bewertungsteilnehmern als plausible Abbildung der Realität bewertet.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 54: Über alle 138 bewerteten Attribute ergibt sich der höchste EBI für 13 Attribute (D1.02, D1.04, D1.14, D1.16, D5.02, D6.01, D6.03, D6.14, D7.01, D7.03, D7.04, D7.09, D7.09) und der niedrigste EBI für 4 Attribute (D6.04, D6.05, D6.11, D6.12).

¹⁸⁴ Bei linearer Weiterführung der Ausprägung zwischen den diskreten Reifeleveln

Nach Betrachtung aus Dimensionensicht folgt nun die Betrachtung aus Sicht der Querschnittsthemen.

Reifelevel und EBI in sechs Querschnittsthemen

Der Reifelevel der sechs Querschnittsthemen berechnet sich aus dem durchschnittlichen Reifelevel der beinhalteten Attribute (siehe Abbildung 55 – links). Die Ableitung des EBI der sechs Querschnittsthemen erfolgt wiederum über die Berücksichtigung der Reifegradlücke sowie der Relevanzbewertung (siehe Abbildung 55 – rechts).

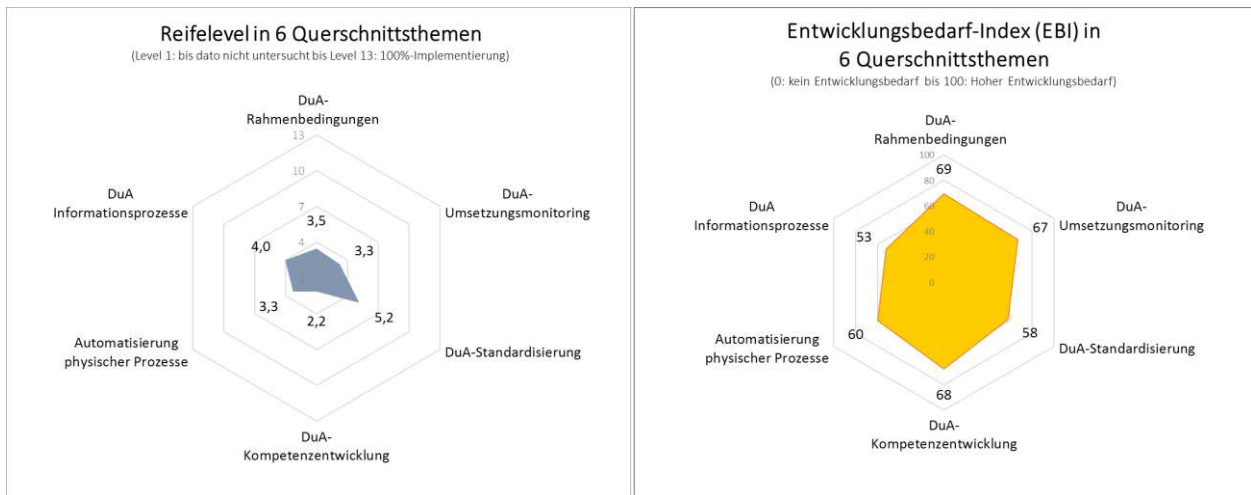


Abbildung 55: Reifelevel in sechs Querschnittsthemen (links) und resultierender EBI (rechts)

Reifelevel in sechs Querschnittsthemen (Abbildung 55 - links):

Der Reifelevel der DuA-Querschnittsthemen liegt zwischen 2,2 aus 13 (DuA Kompetenzentwicklung) und 5,2 aus 13 (DuA-Standardisierung) (Details siehe Tabelle 34).

Tabelle 34: Bewertung und Plausibilisierung der Bewertung von Querschnittsthemen-Reifelevel

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
Höchster Reifelevel: 5,2 beim Querschnittsthema DuA-Standardisierung	Plausibilisierung: Nach Rückmeldung der Bewertungsteilnehmer werden DuA-Lösungen zwar oftmals isoliert in Fachbereichen eingeführt, dort aber in standardisierter Form. Somit ist Standardisierung auf Fachbereichsebene gegeben, welche jedoch nicht werks- oder unternehmensweit ausgerollt wird. Damit entspricht dieses Bewertungsergebnis der Realität im Unternehmen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 55: Standardisierungsbezogene Attribute wie z.B. die Standard IKT-Ausstattung der Mitarbeiter am Shop Floor und in administrativen Bereichen (D3.04 = 6, D4.03 = 6), die Vorgabe von IKT-Nutzungsstandards (D3.03 = 5, D4.04 = 9), oder die Festlegung von Standards für die technische Betriebsmittelanbindung (D7.16 = 9) weisen allesamt vergleichsweise hohe Reifelevel auf.
Niedrigster Reifelevel: 2,2 beim Querschnittsthema DuA-Kompetenzentwicklung	Plausibilisierung: Konsistent mit der Eigenwahrnehmung der Bewertungsteilnehmer sind die DuA-Kompetenzen der Mitarbeiter aller Fachbereiche im Vergleich zu den technologischen Möglichkeiten wenig ausgeprägt.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 55: Kompetenzbezogene Attribute weisen in allen Dimensionen niedrige Reifelevel auf, wie etwa die

	Kompetenzerhöhung der Führungskräfte (D1.14 und D1.15 = 1), die Erhebung der DuA-Mitarbeiterkompetenzen (D3.05 = 1, D4.05 = 1), oder die Kompetenzerhöhung operativer Mitarbeiter in diversen Fachbereichen (D2.06 = 1, D9.07 = 2, D9.08 = 2).
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Die Reifelevel der Querschnittsthemen führen wiederum zum damit verbundenen Entwicklungsbedarf.

EBI in sechs Querschnittsthemen (Abbildung 55 - rechts):

Der EBI der Querschnittsthemen weist Werte zwischen 53 aus 100 (DuA Informationsprozesse) und 68 aus 100 (DuA-Rahmenbedingungen) auf, wobei dieser für alle sechs Querschnittsthemen in einer Bandbreite von +/-15 liegt (Details siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Bewertung und Plausibilisierung der Bewertung des EBI von Querschnittsthemen

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen und Details
Höchster EBI: 68 für DuA-Rahmenbedingungen	Plausibilisierung: Die Bewertungsteilnehmer sehen den Entwicklungsbedarf bei der Schaffung von Rahmenbedingung ebenfalls am höchsten und bestätigen somit das Bewertungsergebnis.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 55: Von 13 Attributen, mit dem höchsten EBI 100 von 100, betreffen drei die DuA-Rahmenbedingungen: zwei Attribute zu DuA-Strategien in Fachbereichen (D6.01 und D7.01) und ein Attribut zur Bewertung von Daten als Unternehmensressource (D1.04).
Niedrigster EBI: 53 bei DuA-Informationsprozesse	Plausibilisierung: Die hohe Standardisierung bei Technologiebeschaffungen und umfassendem Einsatz von Softwaresystemen auf allen Unternehmensebenen führt zu einem niedrigem EBI im Bereich der DuA von Informationsprozessen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 55: Der digitale Fernzugriff auf Produkte ist bereits vollständig implementiert (EBI D2.14 = 0) und die Ausstattung der Mitarbeiter am Shop Floor mit IKT schon umfassend umgesetzt (EBI D3.04 = 45, EBI D4.04 = 28). Weiters wurde die Onlinesteuerung von Maschinen von außerhalb der Niederlassung mit geringer Relevanz bewertet und weist damit einen geringen EBI auf (EBI D6.13 = 40).

Zur Detailbetrachtung der Bewertungsergebnisse auf Attributsebene werden die Ergebnisse aller Attribute jener zwei Dimensionen, mit dem höchsten und niedrigsten Reifelevel, präsentiert.

Reifelevel und EBI: Dimension 2 - Produkte und Kundenkontakt (höchster Reifelevel)

Der Reifelevel in einer Dimension ergibt sich aus dem bewerteten Reifelevel aller zugehörigen Attribute. Der EBI der Attribute berechnet sich anschließend über die Reifegradlücke zwischen dem Ist-Reifelevel zum maximalen Reifelevel 13 und der Multiplikation mit der Relevanzbewertung. Zur besseren Darstellung des Reifelevels und dem resultierendem EBI in einer Grafik werden diese auf eine einheitliche Prozentskala von 0-100% transformiert (siehe Abbildung 56).

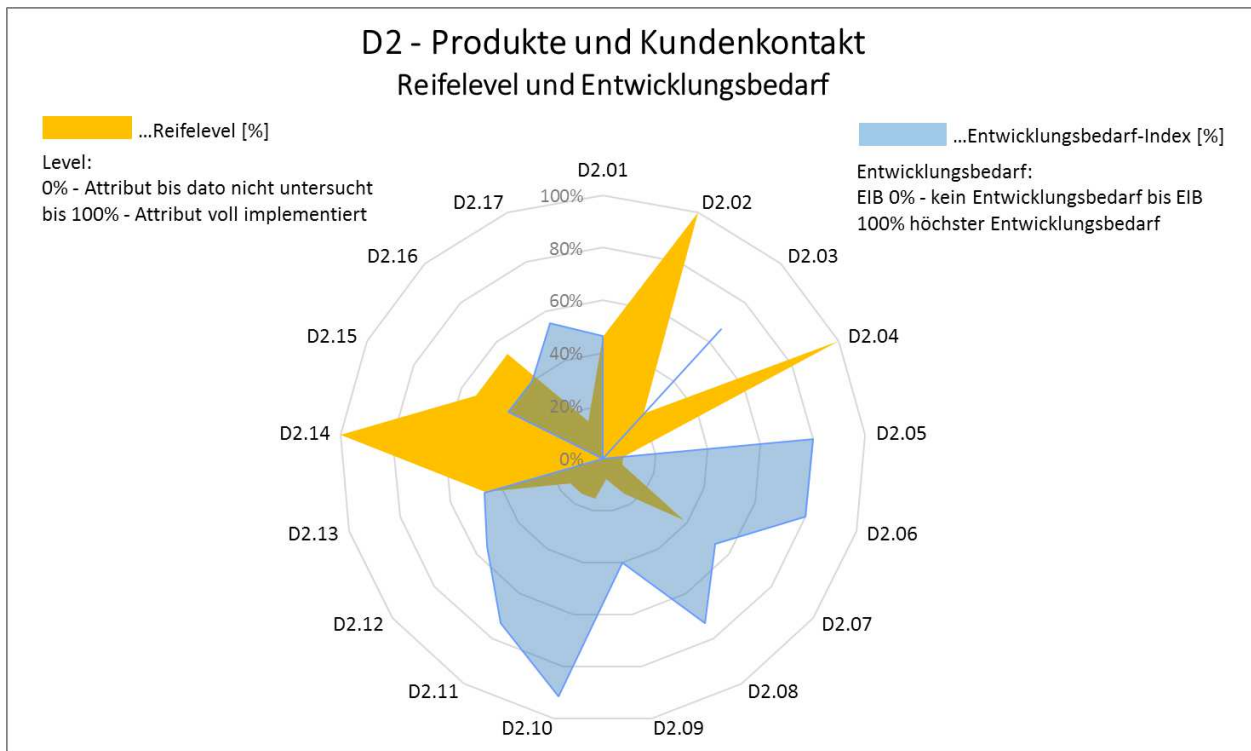


Abbildung 56: Erhobener Reifelevel Dimension 2 und resultierender EBI

So entspricht etwa ein Reifelevel von 6 aus 13 für das Attribut D2.01 einem Reifelevel von 45% (erreichter Reifelevel in Prozent – siehe gelber Bereich im Diagramm). Der EBI wird aufgrund seiner Skala von 0-100 direkt in Prozent angegeben. Für das Attribut D2.01 ergibt sich folglich ein EBI von 47 aus 100, was mittleren Entwicklungsbedarf indiziert (siehe blauer Bereich im Diagramm). Die Analyse auf Attributsebene erlaubt den Reifelevel, die Relevanz sowie den entstehenden EBI für DuA-Lösungen auf operativer Ebene zu betrachten und damit die Ableitung von operativen DuA-Handlungsfeldern (Attributliste siehe Tabelle 36). Die Schwelle zur Festlegung, ob ein Attribut als Entwicklungsattribut berücksichtigt wird, kann unternehmensindividuelle festgelegt werden. Im Folgenden werden alle Attribut mit einem EBI größer als 70 als ein Attribut mit Entwicklungsbedarf weiter zur Handlungsfeldableitung berücksichtigt, was in D2 zu fünf Entwicklungsattributen führt (siehe Tabelle 36).¹⁸⁵

¹⁸⁵ Schwelle von EBI = 70 wurde auf Wunsche des Use-Case-Unternehmens festgelegt

Tabelle 36: Übersicht Reifelevel, Relevanz und EBI aller Attribute von Dimension 2

Attr.	Titel der Attribute	Reifelevel (1 nieder - 13 hoch)	Reifelevel (0% nieder - 100% hoch) ¹⁸⁶	Relevanz (1 nieder - 5 hoch)	EBI (0% nieder - 100 hoch)
D2.01	Verfolgung einer Strategie zur Entwicklung digit. oder datenbas. Zusatzleistungen zu physischen Produkten	6	42	4	47
D2.02	Angebot digitaler oder datenbasierter Zusatzleistungen zu physischen Produkten	13	100	4	0
D2.03	Umsatzgenerierung mit digitalen und datenbasierten Zusatzleistungen zu physischen Produkten	3	17	4	67
D2.04	Definition Umsatz-Jahresziele mit digit. oder datenbas. Zusatzleistungen zu physischen Produkten	13	100	5	0
D2.05	Verfolgung einer Strategie zur Digitalisierung des Kundenkontaktes	1	0	4	80
D2.06	Kompetenz-Erhöhung der kundennahen Mitarbeiter für den digitalen Kontakt mit Unternehmenskunden	1	0	4	80
D2.07	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Digitalisierungsgrades des Kundenkontaktes	5	33	4	53
D2.08	Automat. Auswertung der Metadaten über digitale Kundenkontakt-Ereignisse	2	8	4	73
D2.09	Automatische Auswertung von Inhalten der Kundenkommunikation	1	0	2	40
D2.10	Möglichkeit für Kunden die eigene Bestellung von Produkten und Dienstl. selbstständig online abzuw.	2	8	5	92
D2.11	Möglichkeit für Kunden Produkte und Dienstleistungen selbstständig online zu individualisieren	2	8	4	73
D2.12	Online Echtzeit-Einsicht des Produkterzeugnisstatus für Kunden	2	8	3	55
D2.13	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte kundenbezogene Daten	6	42	4	47
D2.14	Digitaler Fernzugriff auf Produkte während der Nutzung bei Kunden	13	100	4	0
D2.15	Automatische Datensammlung über den Produktzustand eigener Produkte bei Kunden	7	50	4	40
D2.16	Automatische Datensammlung über das Produkt-Nutzungsverhalten der Kunden	7	50	4	40
D2.17	Automatische Erstellung der Absatzplanung für Produkte und Dienstleistungen	2	8	3	66

Die Verteilung der Reifelevel von Dimension 2 erstreckt sich im Unternehmen von 0% (entspricht Reifelevel 1) bis 100% (entspricht Reifelevel 13). Wobei diese Dimension die höchste Anzahl an Attributen mit dem maximalen Reifelevel 13 aller Dimensionen aufweist (Details siehe Tabelle 37).

¹⁸⁶ Aufgrund der Umrechnung von 13 Level auf 100% kann der Reifelevel in Prozent nur 13 Werte zwischen 0-100% annehmen

Tabelle 37: Bewertung und Plausibilisierung Bewertung der Reifelevel-Bewertung und EBI Dimension 2

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate im Unternehmen
<p>D2.02, D2.04 und D2.14 mit maximalen Reifelevel</p>	<p>Plausibilisierung: Die punktuell hohen Reifelevel dieser Dimensionen resultieren nach Unternehmensrückmeldung aus einer Digitalisierungs-offensive der Geschäftsführung auf Produktseite und sind damit für die Bewertungsteilnehmer plausibel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertungsdetails zu Abbildung 56: Attribut D2.02 „Angebot digitaler oder datenbasierter Zusatzleistungen zu physischen Produkten“: Für alle produzierte Maschinen werden vom Unternehmen Zusatzleistungen, wie etwa die datenbasierte Instandhaltung oder wiederkehrende Softwareupdates, angeboten. • Bewertungsdetails zu Abbildung 56 - Attribut D2.02 „Definition Umsatz-Jahresziele mit digitalen oder datenbasierten Zusatzleistungen zu physischen Produkten“: Als Resultat des Angebotes von digitalen Zusatzleistungen wurden auch Umsatzziele für diese festgelegt. • Bewertungsdetails zu Abbildung 56 - Attribut D2.14 „Digitaler Fernzugriff auf Produkte während der Nutzung bei Kunden“: Um definierte digitale Leistungen für verkaufte Maschinen anbieten zu können, sind diese mit umfassendem digitalen Fernzugriff ausgestattet.
<p>D2.10, D2.05 und D2.06 mit den höchsten EBI</p>	<p>Plausibilisierung: Jene Attribute der Dimension mit Bezug auf den Kundenkontakt, weisen einen vergleichsweise niedrigen Reifelevel auf, woraus sich erhöhter Entwicklungsbedarf ergibt. Nach Rückfrage beim Unternehmen wurde der Kundenkontakt bei der gestarteten Produktdigitalisierungs-offensive nicht mitberücksichtigt, was sich konsistent in den Bewertungsergebnissen widerspiegelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertungsdetails zu Abbildung 56 - Attribut 2.10 „Möglichkeit für Kunden die eigene Bestellung von Produkten und Dienstleistungen selbstständig online abzuwickeln“ (EBI = 92): Die Produktbestellung erfolgt beim Unternehmen ausschließlich über direkten Kontakt mit der Verkaufsabteilung und erlaubt keine eigenständige Kaufabwicklung – obwohl dies lt. Bewertungsteilnehmer die Effizienz der Kundenabwicklung erhöhen würde. • Bewertungsdetails zu Abbildung 56 - Attribut 2.05 „Verfolgung einer Strategie zur Digitalisierung des Kundenkontaktes“ (EBI = 80): Eine formale Strategie ist in diesem Bereich nicht festgelegt und DuA-Lösungen werden punktuell und bottom-up-getrieben implementiert. • Bewertungsdetails zu Abbildung 56 - Attribut 2.06 „Kompetenz-Erhöhung der kundennahen Mitarbeiter für den digitalen Kontakt mit Unternehmenskunden“ (EBI = 80): Kundennahe Mitarbeiter weisen lt. Bewertungsteilnehmer vergleichsweise höhere DuA-Kompetenzen auf, als etwa Wertschöpfungsmitarbeiter. Jedoch besteht kein standardisierter und mitarbeiterindividueller Digitalschulungsplan.

Reifelevel und EBI: Dimension 3 - Wertschöpfungsmitarbeiter (niedrigster Reifelevel)

Dimension 3 wurde mit dem niedrigsten Reifelevel aller Dimensionen 1,8 aus 13 bewertet. Keines der Attribute wurde mit einem Reifelevel höher als vier bewertet und kein Attribut mit einem EBI

von kleiner als 75 aus 100, was hohen Handlungsbedarf indiziert. Zur Vereinheitlichung des Reifelevel und des EBI wurden diese wiederum auf eine einheitliche Prozentskala transformiert (siehe Abbildung 57).

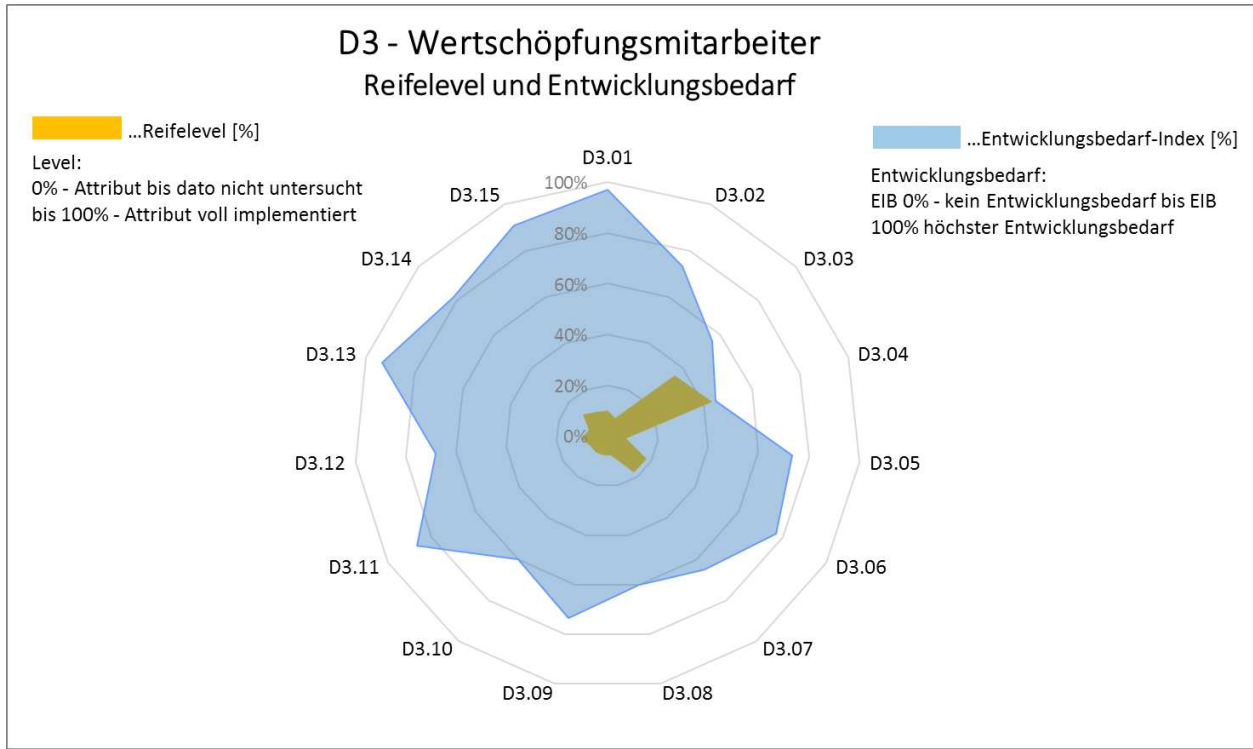


Abbildung 57: Erhobener Reifelevel Dimension 3 und resultierender EBI

Dimension 3 ist eine jener beiden Dimensionen (neben D4 - Organisationsmitarbeiter), welche von all jenen drei Fachbereichen mit Mitarbeitern in Wertschöpfungsbereichen bewertet wurde. Im Fall des Unternehmens „Maschinenbau“ wurde die Dimension von den Fachbereichen Logistik, Fertigung, sowie Montage bewertet (siehe Abbildung 58).

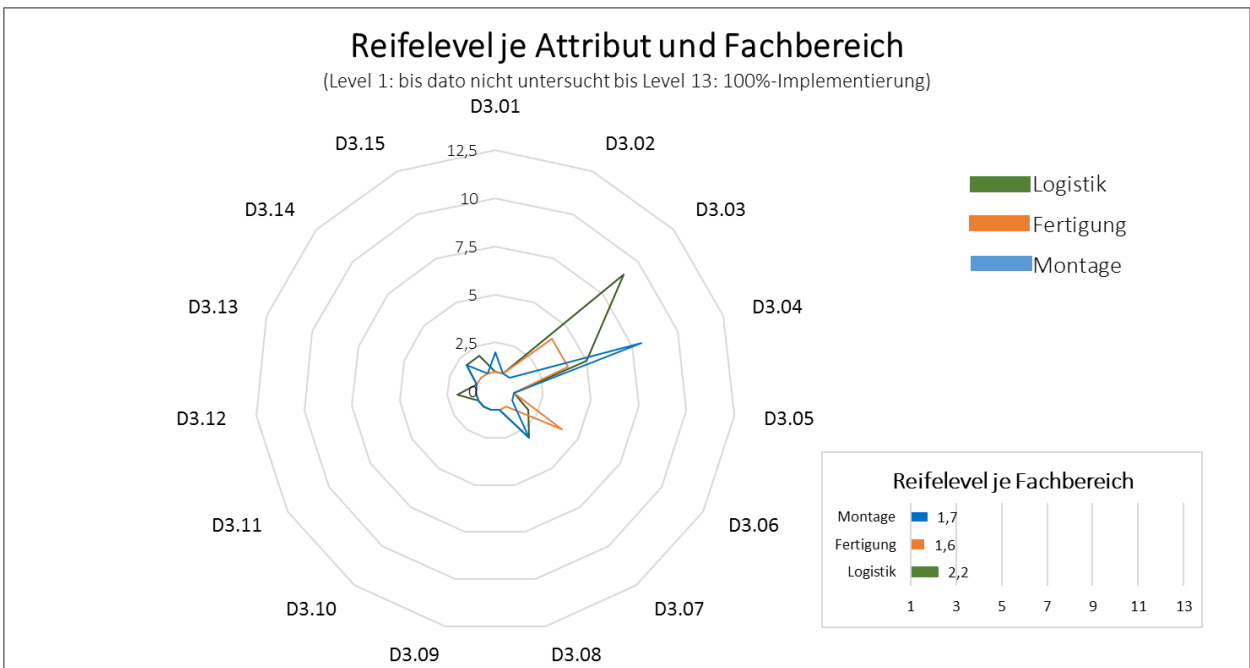


Abbildung 58: Erhobener Reifelevel je Fachbereich Dimension 3

Der Fachbereich Logistik, bewertet den Reifelevel etwas höher (2,2 aus 13) wie die Fertigung (1,6 aus 13) sowie die Montage (1,7 aus 13), wobei sich die Verteilung der Bewertung über die Attribute aller drei Fachbereichen ähnlich verhält. Die Attribute D3.03 „Implementierung von Unternehmens- Standards für die Nutzung von digitalen Kommunikationskanälen durch WS-Mitarbeiter“ und D3.04 „Standard-Ausstattung der WS-Mitarbeiter mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)“ weisen in allen Fachbereichen den höchsten Reifelevel auf. Die konsistente Verteilung der Reifelevel über die Fachbereiche validiert das Bewertungsmodell insofern, da die Bewertungsteilnehmer die Ähnlichkeit, sowie Ausprägung des Reifelevels in den drei Bereichen, als mit der Realität übereinstimmend bewerten.

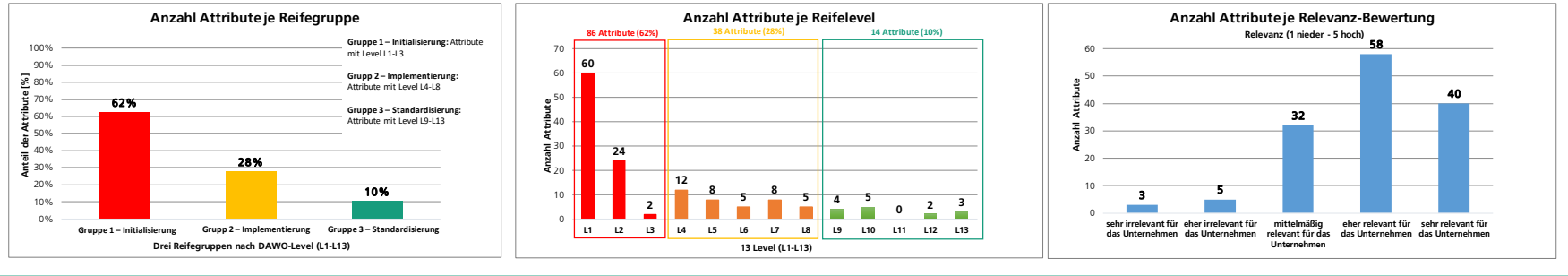
Alle hier vorgestellten Bewertungen werden in einem Ergebnis-Dashboard zusammengefasst, welches zum Monitoring des Reifegrades, etwa durch wiederkehrende Bewertungen genutzt werden kann. Das Ergebnis-Dashboard ist aus Darstellungsgründen im Folgenden auf zwei Abbildung aufgeteilt (siehe Abbildung 59 und Abbildung 60).

Reifelevel und Entwicklungsbedarf in jeder Dimension



Abbildung 59: Ergebnis-Dashboard Unternehmen Maschinenbau zur Bewertungsübersicht (Teil 1 von 2)

Reifelevel und Relevanz je Attribut



Reifelevel und Entwicklungsbedarf je Dimension und Querschnittsthema

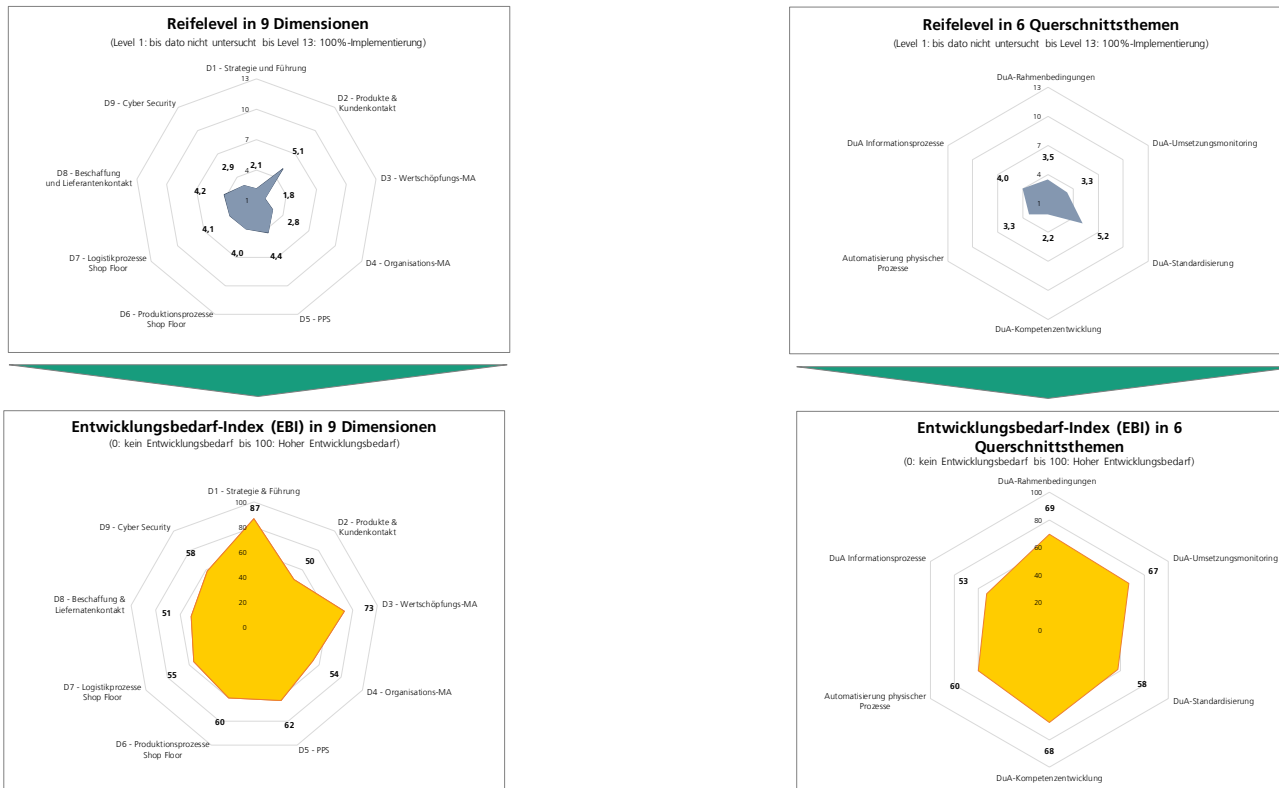


Abbildung 60: Ergebnis-Dashboard Unternehmen Maschinenbau zur Bewertungsübersicht (Teil 2 von 2)

Im Folgenden werden diese Auswertungen genutzt, um Handlungsfelder für das Unternehmen „Maschinenbau“ abzuleiten.

7.2.5 Resultate Schritt 7 – Ableitung von DuA-Handlungsfeldern

Zur Ableitung der DuA-Handlungsfelder werden jene Dimensionen, Querschnittsthemen und Attribute mit dem höchstem EBI und damit Entwicklungsbedarf genutzt. Aus Sicht der Dimensionen weist D1 - Strategie und Führung mit einem EBI 81 von 100 und aus Sicht der Querschnittsthemen jenes der DuA-Rahmenbedingungen mit einem EBI 69 von 100 den höchsten Entwicklungsbedarf auf. Eine Detailbetrachtung der Attribute mit höchstem EBI ergibt eine Liste mit 13 Attributen, welche allesamt einen EBI 100 von 100 aufweisen (siehe Tabelle 38).

Tabelle 38: Übersicht aller Attribute mit maximalen EBI (100)

Attr.	Titel der Attribute	EBI (0 nieder – 100 hoch)
D1.02	Standardisierte Aufwand-Nutzen-Bewertungsmethode für DA-Investitionen	100
D1.03	Wiederkehrende Nutzenbewertung von umgesetzten DA-Lösungen	100
D1.04	Monetäre Bewertung von gesammelten Daten als Unternehmensressource	100
D1.15	Kompetenz-Erhöhung der Führungskräfte für die Nutzung von Daten als Unternehmensressource	100
D1.16	Kompetenz-Erhöhung der Führungskräfte für die Mitarbeiterführung im digitalen Arbeitsumfeld	100
D5.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der DA-Aktivitäten der PPS	100
D6.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des DA-Grades der Produktionsprozesse am Shop Floor	100
D6.03	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Autom.-grades von Produktionsprozessen	100
D6.14	Automatische Vorhersage von Maschinenausfällen über Prognosemodelle	100
D7.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des DA-Grades der Logistikprozesse am Shop Floor	100
D7.03	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Automatisierungsgrades von Logistikprozessen	100
D7.04	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten von Logistikprozessen	100
D7.09	Automatische Qualitätskontrolle von angeliefertem Material	100
D7.12	Automatischer Transport des Leerguts von Arbeitsplätzen zu Leergut-Sammelstellen	100

Die extrahierten Attribute mit dem höchsten Handlungsbedarf aus Unternehmenssicht wurden im Zuge von Workshops zu fünf DuA-Handlungsfeldern (HF1-HF5) zusammengefasst (siehe blaue Textfelder in Abbildung 61).

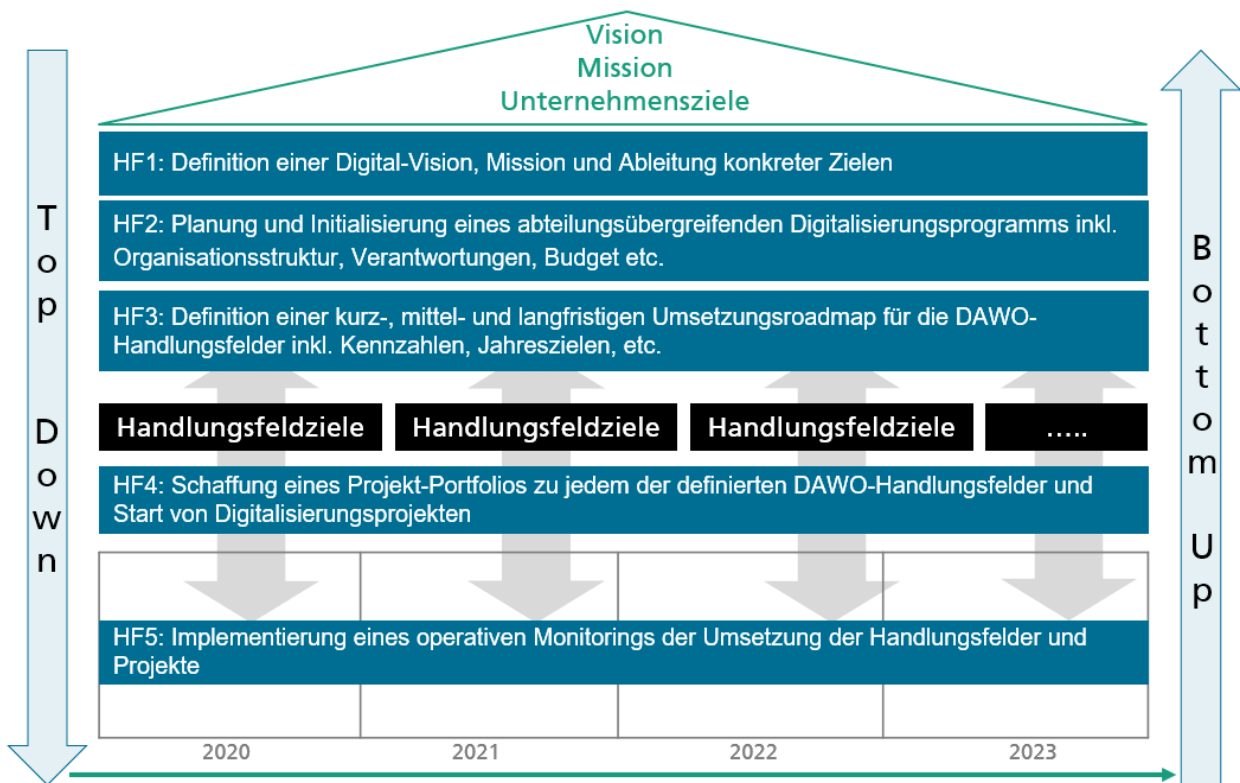


Abbildung 61: Abgeleitete Handlungsfelder in Form eines Digital Management Systems

Aufgrund der Informationssensibilität werden die Inhalte der Handlungsfelder auf Wunsch des Unternehmens nicht weiter ausgeführt. Die Handlungsfelder betreffen großteils die Operationalisierung einer zu definierenden digitalen Vision, Mission sowie damit verbundener Unternehmensziele. Die damit erreichte Schließung der Lücke von Managementebene zu operativer Ebene wird auch von den Bewertungsteilnehmern als wichtigster nächster Schritt gesehen. Die DuA-Umsetzungsprojekte auf operativer Ebene ergeben sich anschließend direkt über die Verfolgung der Attribute mit höchstem EBI in den jeweiligen Fachbereichen. Hierzu beinhaltet der Reifegradbericht Bewertungslisten aller Dimensionen mit absteigend gereihten EBIs.

Nach der Ableitung von DuA-Handlungsfeldern für das Unternehmen „Maschinenbau“ wurden alle Schritte der Anwendungsmethode abgearbeitet und somit eine vollständige Modellanwendung durchgeführt.

Im Folgenden wird die Modellanwendung in einem zweiten Use-Case im Unternehmen „Großküche“ vorgestellt. Die Bewertungsergebnisse des Unternehmens Großküche werden für einen Unternehmensvergleich der Unternehmen Maschinenbau vs. Großküche genutzt, um nachzuweisen, dass das Modell branchen- und produktbedingte Bewertungsunterschiede erfassen und abbilden kann.

7.3 Anwendung zum Unternehmensvergleich

Im zweiten Use-Case wird das Unternehmen Großküche bewertet, welches Fertiggessen kocht, in Essensschalen abfüllt und an Großabnehmer und Einzelkunden vertreibt. Die Bewertungsergebnisse des Unternehmens Großküche werden folglich den Ergebnissen des Unternehmens Maschinenbau gegenübergestellt, um so Unterschiede zu analysieren und auf die Erfüllung der

Güteanforderungen des Modells rückzuschließen. Beim Unternehmen Großküche wurde die Bewertung für eine Produktionsniederlassung durchgeführt (siehe Tabelle 39).

Tabelle 39: Unternehmens- und Use-Case-Daten Unternehmen Großküche

Unternehmensdaten ¹⁸⁷	
<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Mitarbeiter: ca. 200 MA • Anzahl Standorte: 3 • Umsatz: ca. 100 Mio. Euro/Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugnisart: Materielle Erzeugnisse • Fertigungsgröße: Großserien (>1 Mio. Stk./ Jahr) • Produktionsorganisation: Fließ- und Standplatzproduktion
Use-Case-Daten	
<p>Ausgangssituation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie wurde bereits gestartet • Informationen zum derzeitigen Implementierungsstatus der DuA sind bereits vorhanden und sollen mit der Bewertung validiert werden <p>Ziele der Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Validierung des DuA-Reifelevel • Ableitung zusätzlicher DuA-Handlungsfelder <p>Use-Case-Dauer: 4 Monate mit wiederholten Vor-Ort-Workshops</p> <p>Anzahl der Bewertungsteilnehmer: neun MA des Unternehmens von Abteilungsleitung bis Geschäftsführung</p>	

Die Durchführung der Bewertung im Unternehmen Großküche folgt wiederum den Schritten des Vorgehensmodells zur Anwendung, wobei auf die Durchführungsschritte nicht mehr mit demselben Detaillierungsgrad wie beim Use-Case im Unternehmen Maschinenbau eingegangen wird. Im Fokus steht die Gegenüberstellung des Reifelevels beider Unternehmen, welcher aufgrund der stark unterschiedlichen Produkte (Maschinen vs. Fertiggessen) Rückschlüsse über die universelle Anwendbarkeit des Modells in verschiedenen Branchen ermöglichen soll. Zu diesem Zweck werden die Detailergebnisse des Unternehmens Großküche sowie, des Unternehmens Maschinenbau, in jeweils derselben Grafik gegenübergestellt und die Bewertungsunterschiede analysiert und plausibilisiert.

¹⁸⁷ Zur Anonymisierung werden ungefähre Werte der Daten angegeben

Die Vergleichswerte für das Unternehmen Maschinenbau werden aus dem bereits vorgestellten Use-Case des letzten Kapitels übernommen. Eingangs wird die Verteilung der Attribute über die 13 Reifelevel gegenübergestellt (siehe Abbildung 62).

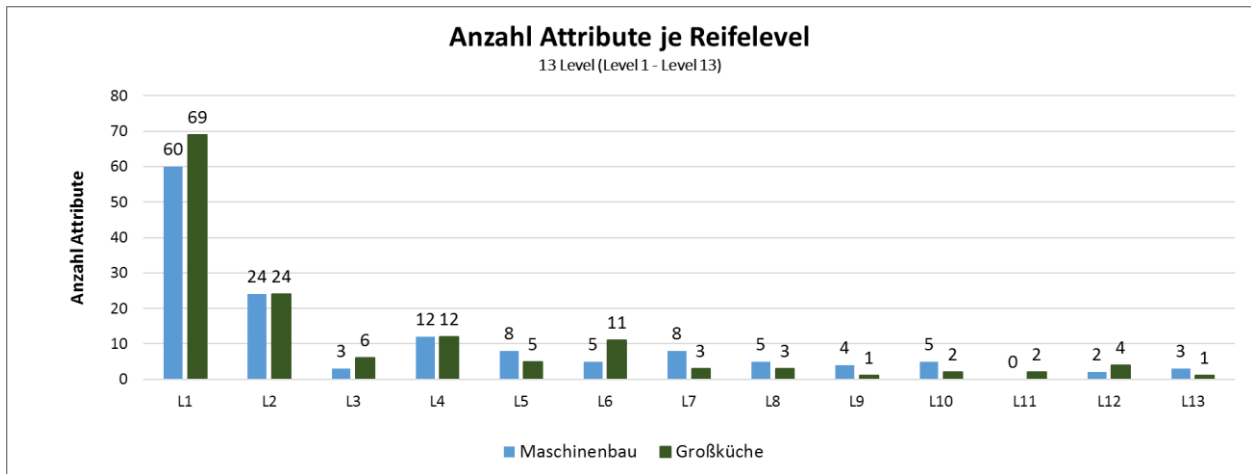


Abbildung 62: Gegenüberstellung erhobene Reifelevel aller Attribute

Die Verteilung zeigt einen ähnlichen Verlauf zwischen den Unternehmen Großküche (kurz: G) und Maschinenbau (kurz: M), wobei das Unternehmen Großküche neun Attribute mehr mit dem niedrigsten Reifelevel 1 aufweist (M60/G69)¹⁸⁸ (Details siehe Tabelle 40).

Tabelle 40: Bewertung und Plausibilisierung der Attributverteilung nach Reifelevel

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate und Details
Ähnliche Verteilung der Reifelevel aller Attribute zwischen den Unternehmen	Plausibilisierung: Vor allem aufgrund der Unternehmensgröße sowie der Internationalisierung des Unternehmens Maschinenbau ist dessen DuA weiter fortgeschritten, dies ist vor allem auf den umfassenden Einsatz von Software und erhöhte DuA-Standardisierung zurückzuführen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 62: Vor allem bei den Attributen mit Reifelevel L1 (M60/G69), Level 6 (M5/G11) und Level 7 (M8/G3) ergeben sich Abweichungen. Signifikant ist, dass Level 2 (M24/G24) und Level 4 (M12/G12), die dieselbe Anzahl an Attributen aufweisen.

Auch im Unternehmen Großküche wurde die Relevanz der Attribute für das Unternehmen für alle 143 Attribute bewertet (siehe Abbildung 63).

¹⁸⁸ Auswertungsdetails werden jeweils mit M und G zur Unternehmensindikation, sowie den Bewertungsdetails angeführt.

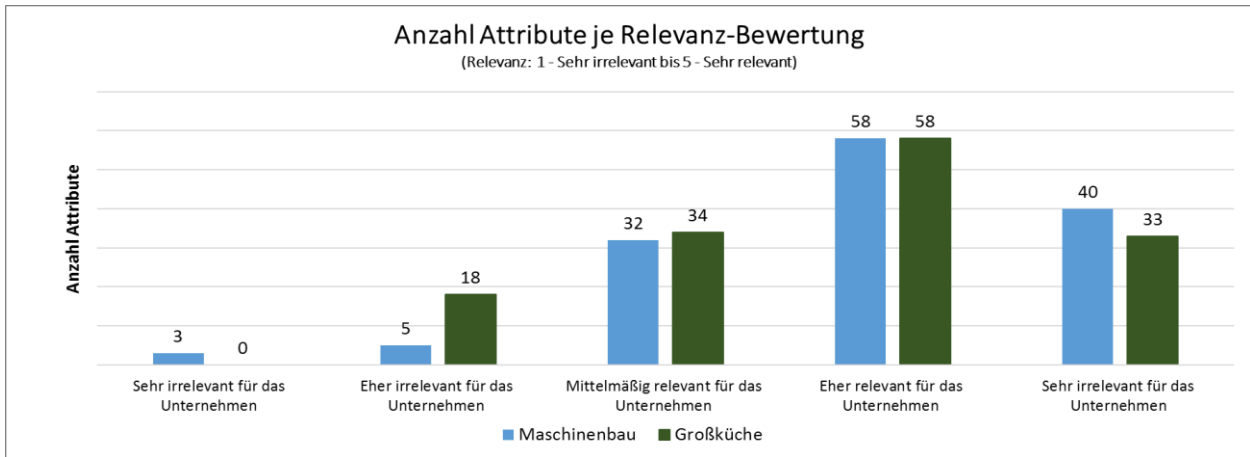


Abbildung 63: Gegenüberstellung erhobene Relevanz für alle Attribute

Die Verteilung der Relevanz weist ebenfalls Ähnlichkeit zum Unternehmen Maschinenbau auf, wobei das Unternehmen Großküche die Relevanz über alle Attribute mit 3,4 von 5 niedriger als das Unternehmen Maschinenbau mit 4,0 von 5 bewertet (Details siehe Tabelle 41).

Tabelle 41: Bewertung und Plausibilisierung der Relevanzverteilung

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate und Details
Ähnliche Verteilung der Relevanzbewertung	Plausibilisierung: Aufgrund der Produkteigenheiten sowie der kleineren Unternehmensgröße des Unternehmens Großküche sind vor allem Attribute mit Bezug zur digitalen Produktvernetzung von geringerer Relevanz.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 63: Die Relevanzstufen 1 (M3/G0), 3 (M32/G34), und 4 (M58/G58) weisen ähnliche Verteilungen auf. Größere Abweichungen treten bei den Stufen 2 (M5/G18) und 5 (M40/G33) auf. Aus Dimensionensicht tragen die Dimensionen D2 - Produkte und Kundenkontakt sowie D9 - Cyber Security (je 4 Attribute mit Relevanzbewertung 2) zur niedrigeren Relevanzbewertung des Unternehmens Großküche bei.

Die Bewertungen auf Attributsebene werden über die Auswertungslogik wiederum in den Reifelevel der neun Dimensionen und den resultierenden EBI überführt (siehe Abbildung 64).

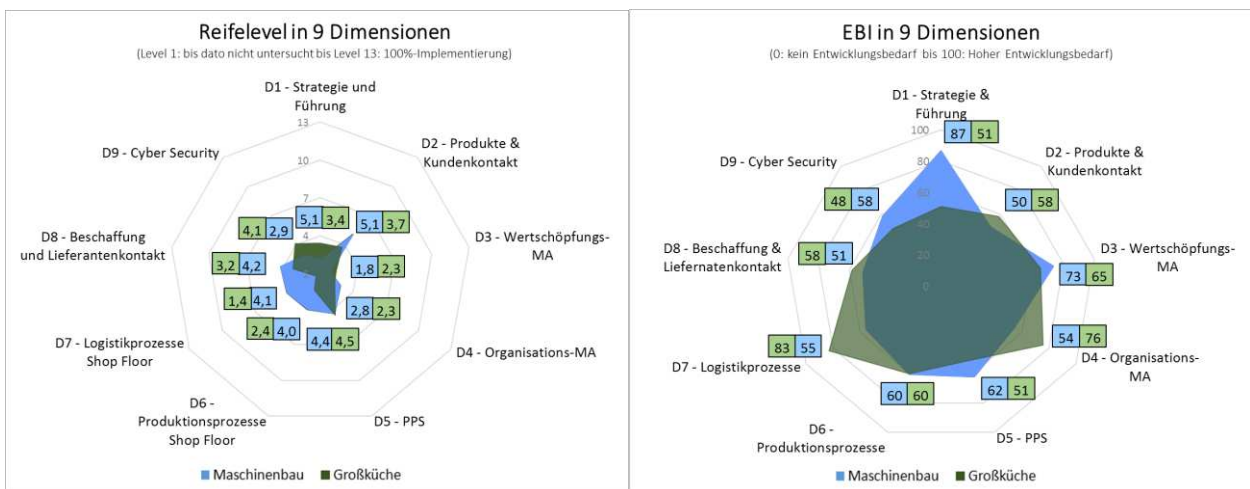


Abbildung 64: Gegenüberstellung Reifelevel in neun Dimensionen (links) und EBI (rechts)

Über alle Dimensionen zeigt das Unternehmen Maschinenbau einen durchschnittlichen Reifelevel von 3,5 aus 13, sowie einen resultierenden EBI von 61 aus 100 und das Unternehmen Großküche einen Reifelevel von 3,0 aus 13, sowie einen EBI von 62 aus 100 (Details siehe Tabelle 42).

Tabelle 42: Bewertung und Plausibilisierung der Dimensionenbewertung des Reifelevels

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate und Details
Höchste Reifelevel Abweichung: D9 - Cyber Security	Plausibilisierung: Der höhere Reifelevel des Unternehmens Großküche in D9 lässt sich durch die organisationale Integration der Digitalisierungs-entwicklung im Unternehmen mit Cyber Security-Aktivitäten in der Rolle des IT-Leiters erklären.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 64: Für Dimension D9 weist das Unternehmen Großküche einen 130% höheren Reifelevel auf als das Unternehmen Maschinenbau, mit einer Reifelevel-Differenz von 2,3. Reifelevel-Abweichungen treten weiters in Dimension D3 - Wertschöpfungsmitarbeiter (M1,8/G2,3) und D4 - Organisationsmitarbeiter (M2,8/G2,3) auf.
Höchste EBI-Abweichung: D1 - Strategie und Führung	Plausibilisierung: Aufgrund der zentralen Koordination und bereits gestarteten Entwicklung der Digitalisierungsstrategie im Unternehmen Großküche in Kombination mit einer kleineren Unternehmens-struktur (G: 2 Standorte vs. M: 6 Standorte), weist das Unternehmen Großküche weniger Handlungsbedarf für D1 auf.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 64: In Dimension D1 weist das Unternehmen Maschinenbau einen höheren EBI auf als das Unternehmen Großküche (M87/G51). Im Gegensatz weist das Unternehmen Großküche in den Dimensionen D4 - Organisationsmitarbeiter (M54/G67) und D7 Logistikprozesse (M55/G83) jeweils einen höheren EBI auf.

Nach der Gegenüberstellung aus Sicht der neun Dimensionen folgt jene aus Sicht der sechs Querschnittsthemen (siehe Abbildung 65).

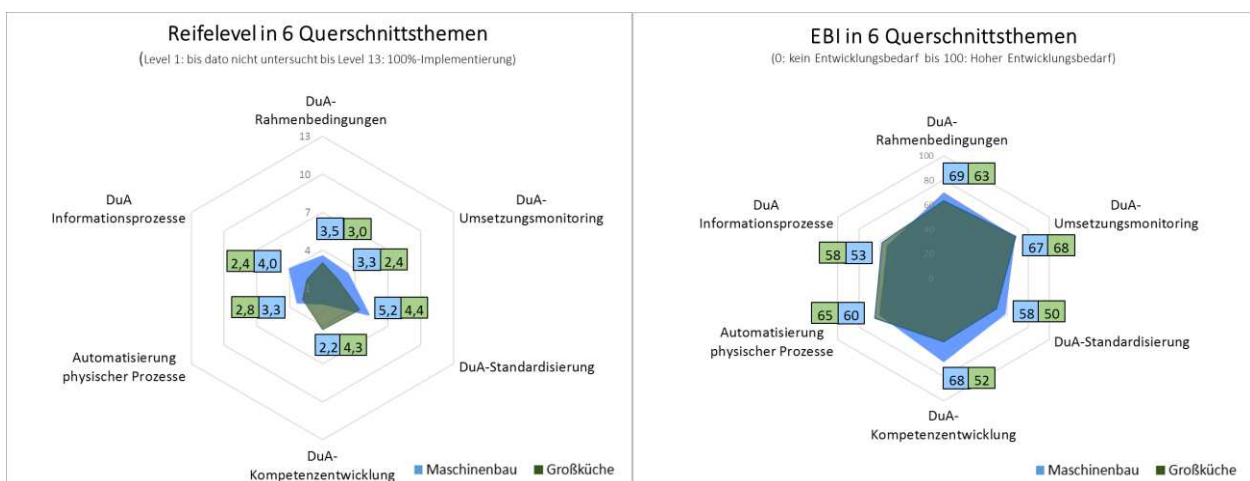


Abbildung 65: Gegenüberstellung Reifelevel in sechs Querschnittsthemen (links) und EBI (rechts)

Während die Verteilung des Reifelevel über die Querschnittsthemen Differenzen zeigt, verhält sich die Verteilung des EBI weitgehend ähnlich (Details siehe Tabelle 43).

Tabelle 43: Bewertung und Plausibilisierung der Bewertung von Querschnittsthemen-Reifelevel

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate und Details
Höchste Reifelevel und EBI-Differenz im Querschnittsthema: DuA-Kompetenzentwicklung	Plausibilisierung: Der höhere Reifelevel des Unternehmens Großküche im Bereich der DuA-Kompetenzentwicklung resultiert vorrangig aus hoch bewerteten Kompetenzen des Managements.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 65: Im Querschnittsthema der DuA-Kompetenzentwicklung weist das Unternehmen Großküche einen fast doppelt so hohen Reifelevel (M2,2/G4,3), sowie einen geringeren EBI als das Unternehmen Maschinenbau auf (M68/G52).

Zur Detaillierung der Gegenüberstellung auf Attributsebene wird, mit Fokus auf die unterschiedlichen Produkte der Unternehmen, Dimensionen D2 - Produkte und Kundenkontakt herangezogen (siehe Abbildung 66).

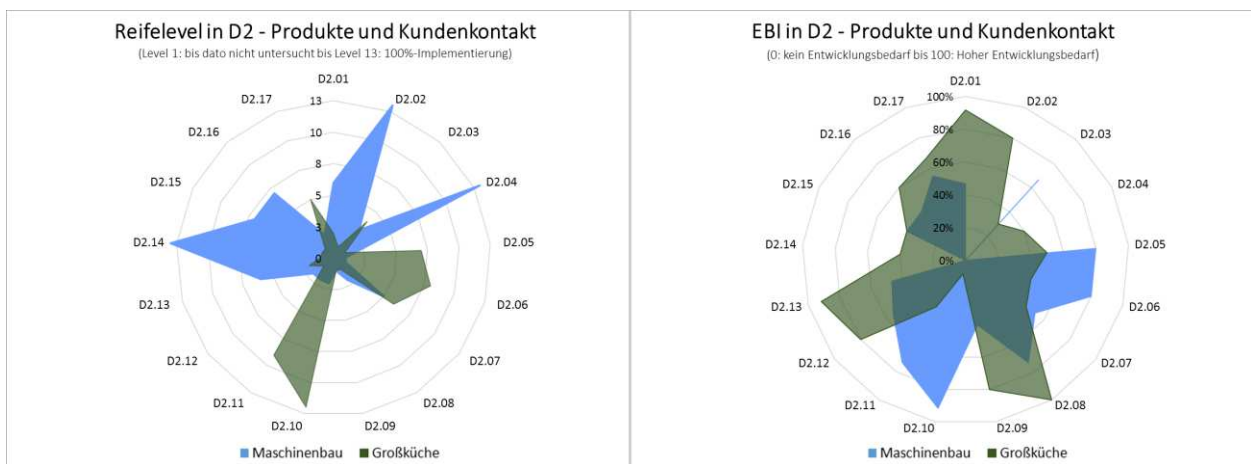


Abbildung 66: Gegenüberstellung Reifelevel Dimension 2 und EBI

Auf Attributsebene zeigt sich eine weitgehend unterschiedliche Verteilung des Reifelevels sowie des EBI über die 17 Attribute¹⁸⁹ der Dimension (Details siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Bewertung und Plausibilisierung der Bewertung des Reifelevel und EBI in Dimension D2

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate und Details
Höhere Reifelevel-Differenz bei Attributen mit Bezug auf die Produktdigitalisierung: <ul style="list-style-type: none"> D2.02 Angebot digitaler oder datenbasierter Zusatzleistungen zu physischen Produkten D2.04 Definition Umsatz-Jahresziele mit digitalen oder datenbasierten Zusatzleistungen zu physischen Produkten D2.14 Digitaler Fernzugriff auf Produkte während der Nutzung bei Kunden 	Plausibilisierung: Die Produkteigenschaften im Unternehmen Maschinenbau (elektrisch angebunden, digital steuerbar etc.) führen zu höheren Reifelevels für darauf bezogene Attribute, als jene im Unternehmen Großküche (Produkt bestehend aus der Verpackung und dem Essensinhalt)
	Bewertungsdetails zu Abbildung 66: Für die Attribute D2.02 (M13/G1), D2.04 (M13/G1) sowie das Attribut D2.14 (M13/G1) besteht die maximal mögliche Reifelevel-Differenz von 13.

¹⁸⁹ Liste aller Attribute von Dimension 2 siehe Anhang, Kapitel 9.5

<p>Hohe Reifelevel-Differenz für Attribute mit Bezug zur digitalen Kundenvernetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • D2.10 Möglichkeit für Kunden die eigene Bestellung von Produkten und Dienstleistungen selbstständig online abzuwickeln • D2.11 Möglichkeit für Kunden Produkte und Dienstleistungen selbstständig online zu individualisieren 	<p>Plausibilisierung: Für Attribute mit Bezug auf die Produktbestellung und deren Individualisierung weist das Unternehmen Großküche aufgrund erforderlicher kurzer Bestellzyklen des Fertigens, sowie kundenindividueller Ernährungsbedarfe, höhere Reifelevels auf.</p>
<p>Hohe EBI-Differenzen: konsistent mit der Reifelevel-Verteilung</p>	<p>Bewertungsdetails zu Abbildung 66: Für das Attribut D2.10 (M2/G12) sowie D2.11 (M2/G9) bestehen jeweils große Reifelevel Differenzen.</p> <p>Plausibilisierung: Die EBI-Differenz zwischen den Unternehmen ist durchgehend konsistent mit den Reifelevel-Differenzen.</p> <p>Bewertungsdetails zu Abbildung 66: Für die Attribute mit den höchsten Reifelevel-Differenz ergeben sich EBIs von D2.02 (M0/G80), D2.04 (M0/G40), D2.10 (M92/G8), D2.11 (M73/G33), D2.14 (M40/G0).</p>

Sowohl die Gegenüberstellung der Bewertungen in Dimension D2 - Produkte und Kundenkontakt als auch die vorhergehenden Vergleiche zeigen, dass das Modell Branchen- und Produktunterschiede im Detail erfassen und in Form veränderter Reifelevel und EBI abbilden kann:

- Die Verteilung der Attribute über die 13 Reifelevel erfasst den etwas niedrigeren Reifelevel des Unternehmens Großküche im Detail.
- Die Verteilung der Attribute über die fünf Relevanzstufen erfasst fehlende Potentiale einzelner Attribute (z.B. jene mit Bezug auf die digitale Vernetzung der Produkte) für das Unternehmen Großküche.
- Die Verteilung des Reifelevels über neun Dimensionen, sowie die sechs Querschnittsthemen zeigt eine durchwegs unterschiedliche Ausprägungen. Damit kann der häufig auftretende Modellfehler „erzwungener“ Resultate¹⁹⁰ beim Modell ausgeschlossen werden.
- Die Verteilung des Reifelevels auf Attributsebene (am Beispiel D2 Produkte und Kundenkontakt) zeigt, dass Produktunterschiede und damit verbundene Digitalisierungspotentiale durch die Bewertungsergebnisse der Attribute abgebildet werden.

Zusammengefasst, über die Einzelbewertung als auch den Unternehmensvergleich, validiert die Bewertungsanalyse die Inhalte und Anwendbarkeit des Modells. Zur weiteren Modelltestung und Modelltestung wird eine Anwendung in Form zweier Industriestudien und deren Gegenüberstellung präsentiert.

¹⁹⁰ Wenn sich die Resultate in wesentlich unterschiedlichen Bewertungsumgebungen stark ähneln, hat ein Modell nicht die Fähigkeit, diese Unterschiede akkurat abzubilden.

7.4 Anwendung in einer Industriestudie

Auf Makroebene kommt das Bewertungsmodell in Form einer Querschnittstudie mit zwei österreichischen Industriebranchen (Elektronikindustrie – kurz: ELI und Metallindustrie – kurz: MTI) zur Anwendung.

Die Gegenüberstellung der Studienergebnisse beider Branchen erlaubt die weitere Validierung der Inhalte des Modells, da zwei Vergleichsgruppen mit wesentlich ähnlicher Struktur im selben Bewertungsumfeld (österreichische Industrie) auch ähnliche Bewertungsergebnisse aufweisen sollten. Unerklärbare Abweichungen würden auf eine fehlerhafte Mess-Metrik oder Modellinhalte hinweisen. Folgende zwei Studien wurden durchgeführt und deren Ergebnisse gegenübergestellt (siehe Tabelle 45).

Tabelle 45: Studien- und Branchendaten der Anwendung „Branchenvergleich“

Studiendaten	
<p>Studiendesign:¹⁹¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchführung als Querschnittstudien über die Unternehmen der Branchen • Benennung der Studie als „Digitalisierungsstudie“ und Bewertung der Reife in Form von „Digi-Level“ zwischen 1 (nieder) bis 4 (hoch) • Reduktion der Modellinhalte auf 30 Bewertungsaspekte in sechs Bewertungsdimensionen • Studienpublikation in Form von Highlightstudien im Umfang von ca. 30 Seiten <p>Umfrageformat: Beantwortung über ein Onlineumfragetool Umfragedauer: 3 Monate</p>	
Metallindustrie (MTI)	Elektronikindustrie (ELI)
<ul style="list-style-type: none"> • Aussendung: an 924 Unternehmen • Rücklaufquote: 187 Unternehmen (20,2%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aussendung: an 202 Unternehmen • Rücklaufquote: 63 Unternehmen (31,1%)

Die Bewertungsfragen unterteilen sich in 50% Fragen mit quantitativen Bewertungsskalen und 50% mit qualitativen Bewertungsskalen (gleichverteilt über die Bewertungsthemen), um an späterer Stelle den Einfluss der Metrik bzw. der Bewertungsskalen auf das Bewertungsergebnis analysieren zu können. In Abbildung 67 ist eine Beispielfrage der Studie, sowie die Bewertungsergebnisse beider Branchen gegenübergestellt.

¹⁹¹ Das Studiendesign wurde auf Wunsch der Studienpartner angepasst bzgl. Benennungen, Reifelevel, Dimensionen

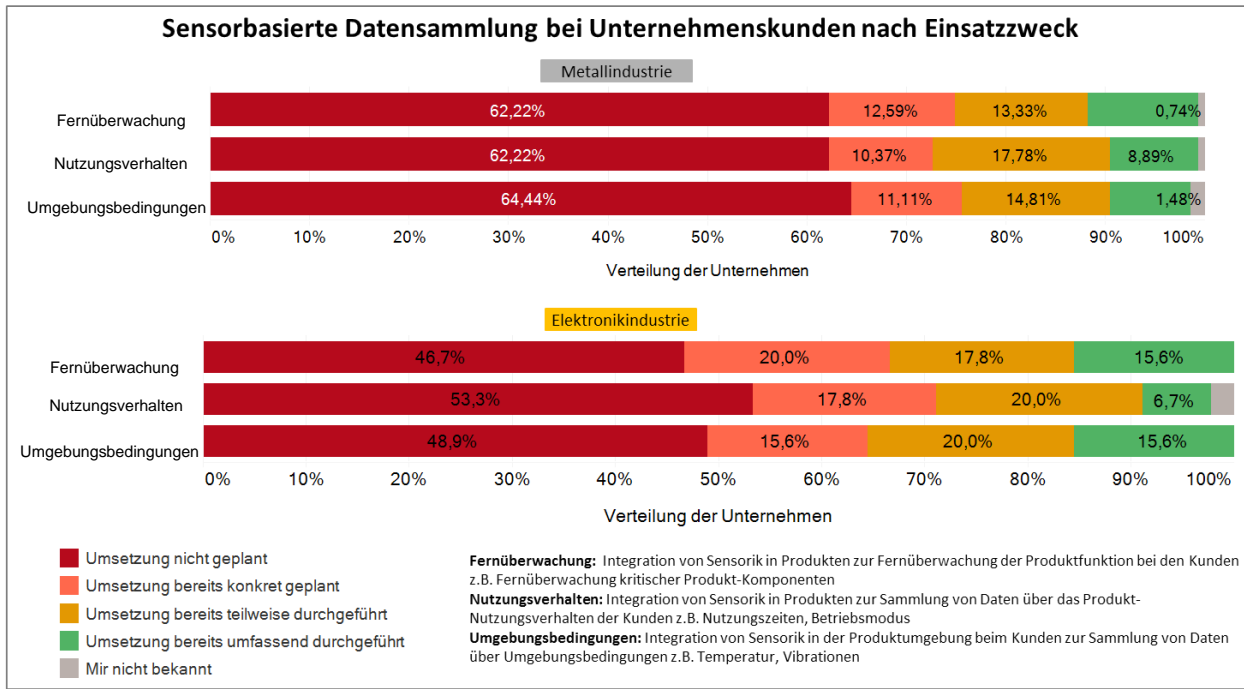


Abbildung 67: Beispielfrage aus der Studie: Sensorbasierte Kunden-Datensammlung (Gegenüberstellung)

Die in drei Aspekte der Datensammlung aufgeteilten, Studienfragen weisen allesamt einen höheren Implementierungsstatus in der ELI auf (Details siehe Tabelle 46).

Tabelle 46: Bewertung und Plausibilisierung der Studienfrage zur Datensammlung bei Kunden

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
Attribut der Kunden-Datensammlung: weiter fortgeschrittene in der ELI	Plausibilisierung: Die Datensammlung für alle drei definierten Einsatzzwecke ist in der ELI weiter fortgeschritten als in der MTI was aufgrund der Nähe der ELI zu Technologien, wie der Sensorik bzw. der standardisierten Ausstattung der Produkte mit Elektronikkomponenten, plausibel ist.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 67: In der MTI haben durchschnittlich 3,7% der Unternehmen die Datensammlung aller drei Einsatzzwecke umfassend umgesetzt, während in der ELI bereits durchschnittlich 12,6% der Unternehmen volle Umsetzung angeben. Weiters geben 63% der MTI-Unternehmen an, keine Umsetzung zu planen, im Vergleich zu 49,6% der ELI-Unternehmen.

Die Ergebnisse aller Bewertungsfragen werden im Folgenden in Form der Digi-Level der Unternehmen weiter analysiert. Hierfür werden die Bewertungsskalen der Fragen in die vier Digi-Level überführt. Zur Auswertung der Gesamt-Digi-Level eines Unternehmens wird der Durchschnitt der Digi-Level über alle Bewertungsfragen gebildet. Ein Unternehmen wurde für die Auswertung des Gesamt-Digi-Levels berücksichtigt, wenn mindestens 75% aller Bewertungsfragen beantwortet wurden. Anschließend werden die Digi-Level aller Unternehmen mit den demographischen Daten der Unternehmen in Relation gebracht, um Aussagen über den Reifegrad der Branchen aus verschiedenen Blickwinkeln zu treffen.

Eingangs wird die Verteilung der MTI- und ELI-Unternehmen über deren Einteilung in einen der vier Digi-Level (Einteilung auf Basis ihres Gesamt-Digi-Levels des Unternehmens), sowie der Digi-

Level-Ausprägung über alle Unternehmen der Branchen in sechs Dimensionen ausgewertet (siehe Abbildung 68).

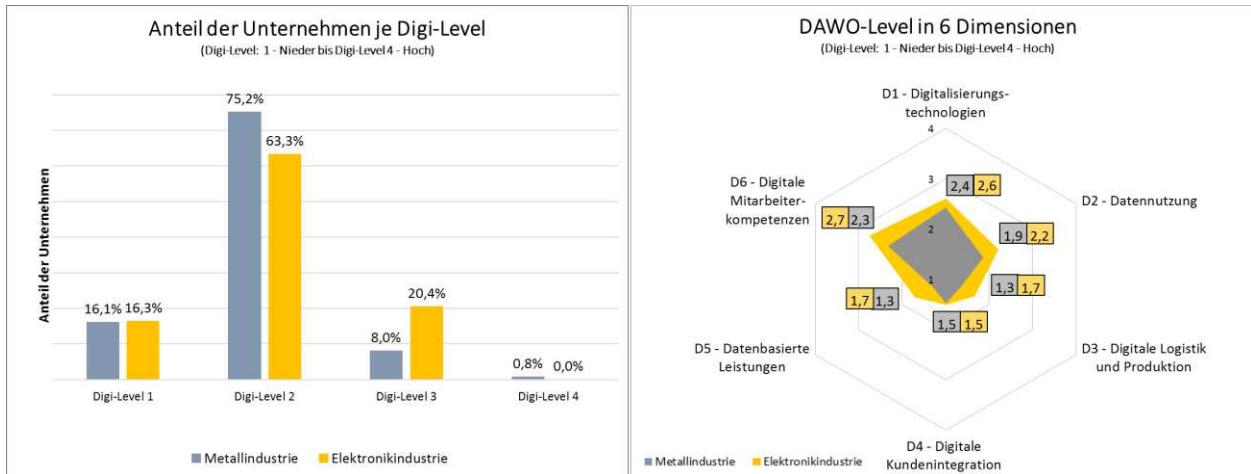


Abbildung 68: Gegenüberstellung in vier Digi-Level und sechs Dimensionen

Die ELI weist vor allem in Digi-Level 3 mehr Unternehmen auf und in allen sechs Dimensionen einen gleichen oder höheren Digi-Level als die MTI (Details siehe Tabelle 47).

Tabelle 47: Bewertung und Plausibilisierung der Verteilung in 4 Digi-Level und sechs Dimensionen

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
ELI mit höherem Gesamt-Digi-Level als MTI in den vier Digi-Leveln	Plausibilisierung: Die ELI weist einen höheren Gesamt-Digi-Level auf als die MTI. Dies ist bei Betrachtung der Produktionsart sowie der Produkte der ELI plausibel, da diese elektronische Komponenten als Branchenkern hat.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 68: Die ELI weist einen 14% höheren Gesamt-Digi-Level von 2,1 im Vergleich zu 1,8 der MTI auf. Dies resultiert aus Verteilungsunterschieden in Digi-Level 2 (MTI 75,2%/ELI 63,3%) und Level 3 (MTI 8,0%/ELI 20,4%).
Ähnliche Digi-Level-Verteilung in sechs Digi-Dimensionen	Plausibilisierung: Die Verteilung über die Bewertungsdimensionen weist hohe Ähnlichkeit auf, wobei die MTI in keiner der Dimensionen einen höheren Digi-Level zeigt als die ELI.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 68: Die Dimensionen „Digitale Mitarbeiterkompetenzen“ (MTI 2,3/ELI 2,7), sowie die Dimension „Digitale Logistik und Produktion“ (MTI 1,3/ELI 1,7) weisen die größten Differenzen auf. Im Bereich digitale Kundenintegration zeigen beide Branchen mit Digi-Level 1,5 den gleichen Entwicklungsstatus.

Nach Auswertung des Digi-Levels über alle Unternehmen beider Branchen werden die Ergebnisse im Folgenden in Relation mit den demographischen Unternehmensdaten gegenübergestellt. Im ersten Schritt wird der Einfluss der Unternehmensgröße und des Unternehmensalters auf den Digi-Level analysiert (siehe Abbildung 69).

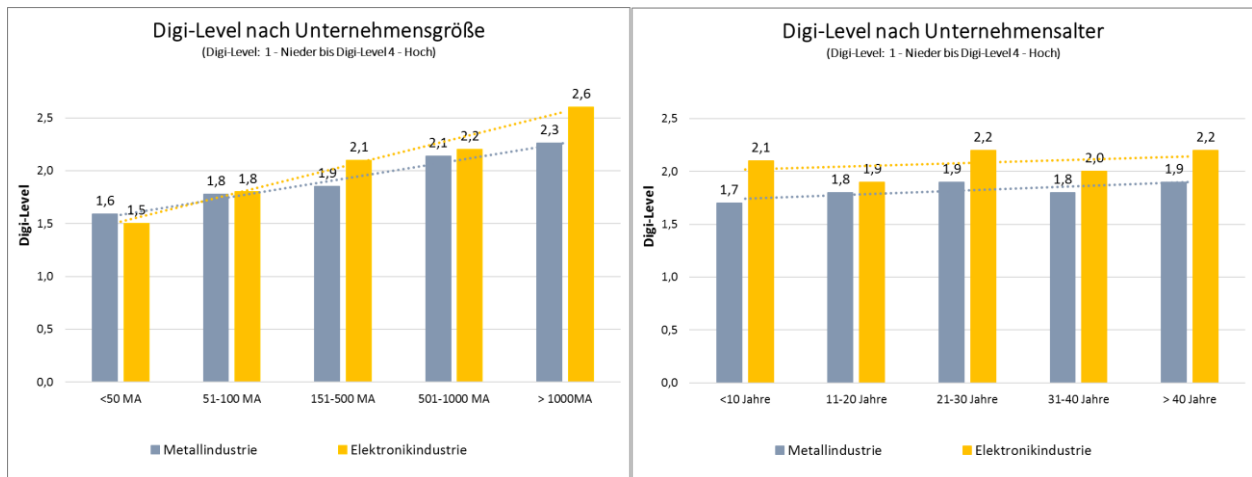


Abbildung 69: Gegenüberstellung Digi-Level nach Unternehmensgröße und -Alter

In beiden Branchen steigt der Digi-Level kontinuierlich mit der Unternehmensgröße, jedoch nicht mit dem Unternehmensalter (Tabelle 48).

Tabelle 48: Bewertung und Plausibilisierung des Digi-Levels nach Unternehmensgröße und Alter

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
Digi-Level und Unternehmensgröße: Digi-Level beider Branchen steigt mit der Unternehmensgröße	Plausibilisierung: Die Unternehmensgröße nach Mitarbeitern korreliert in der ELI als auch der MTI positiv ¹⁹² mit dem Digi-Level und zeigt einen ähnlichen Verlauf. Diese Korrelation kann oftmals beobachtet werden, da Unternehmen bei Vergrößerung vermehrt auf Software- und Hardwareeinsatz zu Bewältigung der steigenden Komplexität setzen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 69: Der Digi-Level von Unternehmen mit >1000MA weist in der ELI einen 73% höheren und in der MTI einen 43% höheren Digi-Level als jener von Unternehmen mit <50MA auf.
Digi-Level und Unternehmensalter: Kein Zusammenhang zwischen dem Unternehmensalter und dem Digi-Level	Plausibilisierung: Sowohl in der ELI als auch der MTI besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Unternehmensalter und dem Digi-Level, wiederum mit ähnlichem Verlauf zwischen den Branchen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 69: In der ELI liegt der Digi-Level nach Alter zwischen 1,9-2,2 und in der MTI zwischen 1,7-1,9. Keine der beiden Industrien zeigt eine signifikante Korrelation zwischen dem Digi-Level und dem Unternehmensalter.

Zur Berücksichtigung einer strukturellen Besonderheit der österreichischen Industrie¹⁹³, wurde die Betrachtung des Digi-Levels nach der Unternehmensführung durch Unternehmerfamilien, versus einer anderwärtigen Unternehmensführung eingeführt (Abbildung 70 – links). Weiters wurde die Auswirkung der Internationalisierung auf den Digi-Level analysiert, was in der Studie über die Existenz internationaler Standorte abgefragt wurde (Abbildung 70 – rechts).

¹⁹² Korrelationsanalysen wurden mittels Software Stata™ durchgeführt

¹⁹³ Hohe Zahl an Unternehmen in Besitz der Gründerfamilien

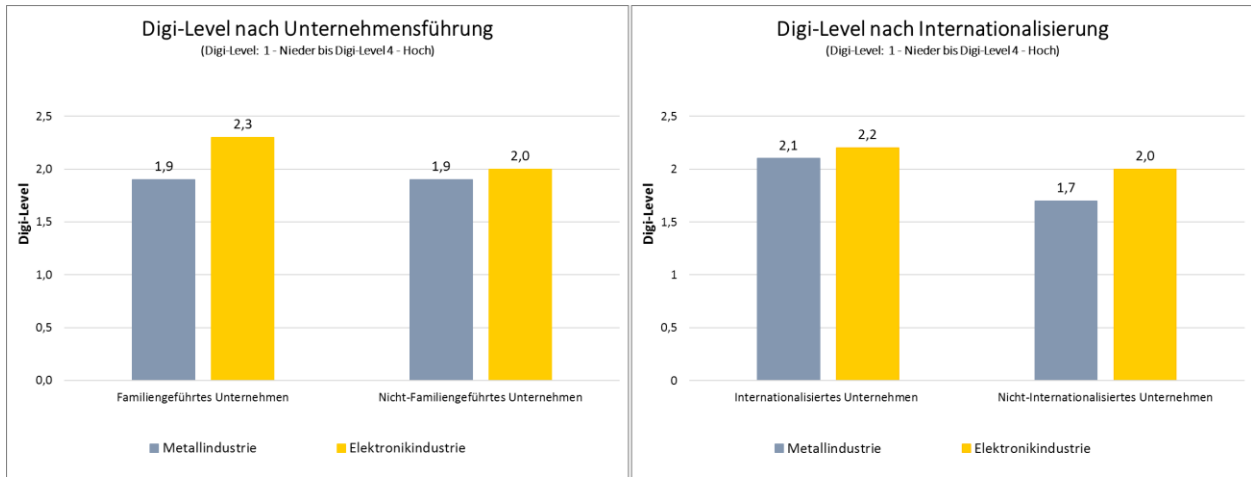


Abbildung 70: Gegenüberstellung Digi-Level Unternehmensführung und Internationalisierung

Die Unternehmen beider Branchen weisen einen gleichen hohen oder höheren Digi-Level bei familiengeführten als bei nicht familiengeführten Unternehmen auf und zeigen weiters einen höheren Digi-Level in beiden Branchen, wenn diese internationale Standorte betreiben (Details siehe Tabelle 49).

Tabelle 49: Bewertung und Plausibilisierung des Digi-Levels nach Unternehmensführung und Internationalisierung

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
Digi-Level und Unternehmensführung: Familiengeführte Unternehmen weisen gleichen oder höheren Digi-Level als nicht familiengeführte Unternehmen auf	Plausibilisierung: In der ELI weisen familiengeführte Unternehmen einen höheren Digi-Level auf, während in der MTI Unternehmen beider Führungstypen den gleichen Digi-Level aufweisen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 70: In der ELI weisen familiengeführte Unternehmen einen 15% höheren Digi-Level auf als nicht familiengeführte (familiengeführte 2,3/nichtfamiliengeführte 2,0) und in der MTI weisen Unternehmen beider Führungstypen den selben Digi-Level von 1,9 auf.
Digi-Level und Internationalisierung: Internationalisierte Unternehmen weisen einen höheren Digi-Level als nicht internationalisierte Unternehmen auf	Plausibilisierung: In beiden Branchen weisen jene Unternehmen, welche zumindest einen internationalen Standort betreiben, einen höheren Digi-Level auf, als jene mit nur österreichischen Standorten.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 70: Internationalisierte Unternehmen der ELI weisen einen 10% höheren Digi-Level auf als jene ohne internationalen Standort und internationalisierte Unternehmen des MTI einen 25% höheren.

Nach Analyse mit Fokus auf strukturelle Zusammenhänge der Unternehmen mit dem Digi-Level wird nun der Zusammenhang zwischen der Wertschöpfungs- bzw. Produkteigenschaften und dem Digi-Level analysiert (siehe Abbildung 71).

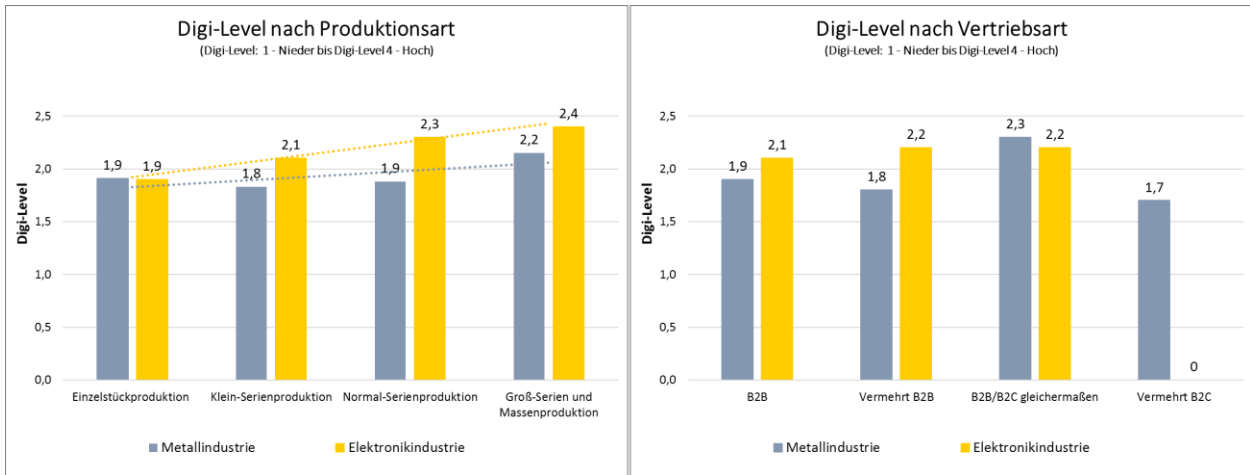


Abbildung 71: Gegenüberstellung Digi-Level nach Produktionsart und Vertriebsart

Die Unternehmen beider Branchen weisen bei höheren Produktionsmengen einen höheren Digi-Level auf und keinen konsistent verteilten Digi-Level nach Vertriebsart (Details siehe Tabelle 50).

Tabelle 50: Bewertung und Plausibilisierung des Digi-Levels nach Produktionsart und Vertriebsart

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
Digi-Level und Produktionsart: Der Digi-Level korreliert in der ELI signifikant positiv mit der Produktionsart	Plausibilisierung: In der ELI steigt der Digi-Level signifikant mit höheren Produktionsmengen, während dieser signifikante Zusammenhang in der MTI nicht besteht.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 71: Unternehmen im Bereich der Groß-Serien- und Massenproduktion weisen im ELI einen 26% höheren und in der MTI einen 15% höheren Digi-Level als jene Unternehmen mit Einzelstückproduktion auf.
Digi-Level und Vertriebsart: Keine Auswirkung der Vertriebsart auf den Digi-Level	Plausibilisierung: Die Vertriebsart und der Digi-Level zeigen keinen signifikanten Zusammenhang für die ELI oder die MTI. Wobei hier angemerkt werden muss, dass ein Großteil aller Unternehmen im B2B-Bereich tätig ist und somit keine belastbaren Datenmengen über alle Vertriebsarten verfügbar waren.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 71: keine aussagekräftigen Details aufgrund geringer verfügbarer Daten zu allen Vertriebsarten.

Nach der Zusammenhangsanalyse des Digi-Level mit Unternehmenseigenschaften wird auf die Auswirkung des Digi-Levels auf die Produktionskennzahlen der Unternehmen eingegangen. Dies dient der Überprüfung der Forschungshypothese aus *Kapitel 5.1*, welche die positive Auswirkung erhöhter DuA auf Produktionskennzahlen in den Unternehmen postuliert. Zur Herstellung des Zusammengangs zwischen dem Digi-Level und den Produktionskennzahlen wurden die Teilnehmer der Studien angewiesen die Zufriedenheit mit Produktionskennzahlen des eigenen Unternehmens im letzten Geschäftsjahr zu bewerten (Bewertung von 1 – Sehr unzufrieden bis 5 – sehr zufrieden):

- Zufriedenheit mit Auslastung
- Zufriedenheit mit Termintreue
- Zufriedenheit mit Durchlaufzeit
- Zufriedenheit mit Produktqualität

Anschließend wurde eine Korrelationsanalyse zwischen dem Mittelwert der Zufriedenheitsbewertungen aller Teilnehmer mit dem Gesamt-Digi-Level aller Unternehmen durchgeführt¹⁹⁴, um mögliche Zusammenhänge nachzuweisen (siehe Abbildung 72).

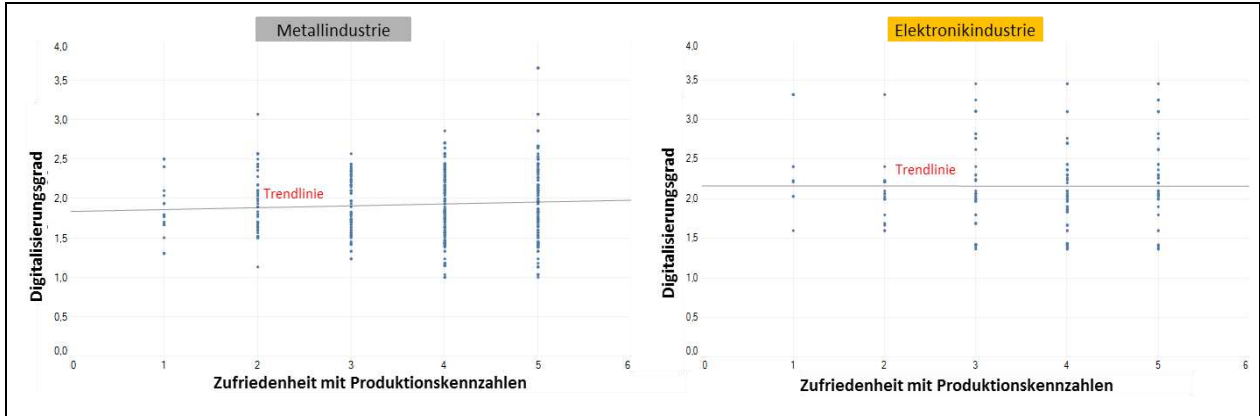


Abbildung 72: Gegenüberstellung Korrelationsanalyse zwischen Digi-Level und Zufriedenheit mit Produktionskennzahlen

Die Trendlinie für die MTI als auch für die ELI zeigt eine leicht positive Korrelation und deutet somit auf die positive Auswirkung der DuA auf die Produktionskennzahlen hin. Die Prüfung mittels Pearson-Korrelationskoeffizienten ergab jedoch, dass keine signifikante Korrelation besteht. Auch eine durchgeführte Regressionsanalyse ergibt keine kausalen¹⁹⁵ Zusammenhänge. Als Resultat der Korrelationsanalyse und Regressionsanalyse kann festgehalten werden, dass Unternehmen mit einem höheren Gesamt-Digi-Level nicht signifikant zufriedener mit deren Produktionskennzahlen sind.

Neben dem Durchschnitt der Zufriedenheit mit den Produktionskennzahlen wird zur Detailanalyse auch auf den Zusammenhang des Digi-Level mit den einzelnen Kennzahlen eingegangen (siehe Abbildung 73).

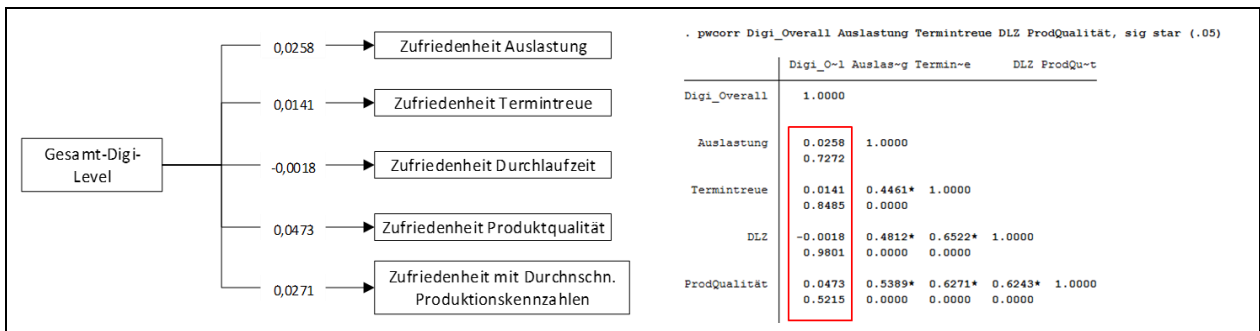


Abbildung 73: Korrelationsfaktoren zwischen Digi-Level Zufriedenheit mit Produktionskennzahlen

Hierbei wird die Korrelation zwischen dem Gesamt-Digi-Levels und der Zufriedenheit mit den vier Produktionskennzahlen einzeln überprüft (siehe Korrelationsmatrix Abbildung 73 – rechts) und für die Relationen in Form der jeweiligen Pearsonkoeffizienten dargestellt (siehe Abbildung 73 –

¹⁹⁴ Analyse mittels Statistiksoftware Stata™

¹⁹⁵ Ein kausaler Zusammenhang mit dem Digi-Level würde Zufriedenheit direkt mit dem Digi-Level erklären.

links). Diese Korrelationsanalyse zeigt ebenfalls keine signifikanten Korrelationen oder kausalen Zusammenhänge des Digi-Levels und der Zufriedenheit der Teilnehmer mit den eigenen Produktionskennzahlen (Details siehe Tabelle 51).

Tabelle 51: Bewertung und Plausibilisierung der Korrelation des Digi-Level mit Produktionskennzahlen

Bewertung	Plausibilisierung der Resultate
Digi-Level und Produktionskennzahlen: Der Pearsonkoeffizienten zwischen Digi-Level und Zufriedenheit mit Produktionskennzahlen zwischen 0,0018 und 0,0258 ¹⁹⁶	Plausibilisierung: Weder zwischen dem Mittelwert der Zufriedenheit der Teilnehmer mit den eigenen Produktionskennzahlen noch mit den Kennzahlen im Einzelnen, besteht ein signifikanter Zusammenhang mit dem Digi-Level der Unternehmen.
	Bewertungsdetails zu Abbildung 73: Die Zufriedenheit der Teilnehmer mit der eigenen Produktqualität weist den höchsten Pearsonkoeffizienten auf (0,0473) und jene der Zufriedenheit mit der Durchlaufzeit den niedrigsten (-0,0018). Kein Koeffizient erreicht einen Wert von 0,05 (Schwellwert für signifikante Korrelation).

Zusammengefasst kann kein Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit der Teilnehmer mit den eigenen Produktionskennzahlen und dem Digi-Level gefunden werden. Nach Rücksprache mit ausgewählten teilnehmenden Unternehmen spielen, neben der Digitalisierung und Automatisierung, Faktoren wie die allgemeine Unternehmensleistung, Optimierungsinitiativen am Shop Floor, Kennzahlenzielvorgaben oder die allgemeine Marktsituation eine maßgebliche Rolle bei der Zufriedenheit der Teilnehmer mit den Produktionskennzahlen. Diese Faktoren konnten aufgrund des möglichen Studienumfangs nicht abgefragt und berücksichtigt werden. Eine detailliertere empirische Analyse der Korrelationen zwischen dem DuA-Level mit Unternehmenskennzahlen wird im Ausblick der Dissertation für zukünftige Forschungsarbeiten wieder aufgegriffen.

Nach Durchführung der Industriestudien, sowie der Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse, wird im letzten Teil von Kapitel 7 auf die Validierung der Praxisanwendung eingegangen.

7.5 Validierung der Praxisanwendungen

Durch die praktische Anwendung des entwickelten Bewertungsmodells in unterschiedlichen Anwendungsarten und -Umgebungen wird der Erfüllungsnachweis der definierten Gütekriterien fünf bis sieben aus Kapitel 5.3 weitergeführt:

5. Ganzheitliche und genaue Messung des DuA-Reifegrades
6. Reliabilität (Wiederholungsgenauigkeit) bei der Anwendung des Bewertungsmodells
7. Objektivität durch quantitatives Self-Assessment des Reifelevels

Die Validierung erfolgt dabei über die Befragung der Bewertungsteilnehmer in Form einer Anwender-Feedbackstudie, sowie über die Plausibilitätsprüfungen der Bewertungsergebnisse. Hierbei dienen vor allem Vergleichsanalysen zwischen zwei bekannten Stichproben (Unternehmensvergleich, Branchenvergleich) der Validierung.

¹⁹⁶ Eine signifikante Korrelation besteht bei einem Pearsonkoeffizienten ab 0,05

7.5.1 Ganzheitliche und genaue Messung des DuA-Reifelevels

Validierung mittels Plausibilisierung der Bewertungsergebnisse

Der Gütenachweis ganzheitlichen und genauen Messung wird über die Plausibilitätsprüfung der einzelnen Bewertungsergebnisse sowie einer Anwender-Feedbackstudie mit den Teilnehmern der beiden bewerteten Einzelunternehmen (Maschinenbau und Großküche) durchgeführt. Die Plausibilisierung der Bewertungsergebnisse wurde bereits in den *Kapiteln 7.2* und *7.3* für jede Bewertung einzeln dargelegt¹⁹⁷. Hierbei wurden die jeweils passenden Anwendungen herangezogen, um die erforderlichen Plausibilisierungen durchzuführen (Zuordnung siehe Tabelle 52).

Tabelle 52: Zuordnung Plausibilisierung der Bewertungen zu Anwendungen

Durchgeführte Plausibilisierungen von Bewertungen	Anwendung			
	Bewertung Einzelunternehmen Maschinenbau	Bewertung Einzelunternehmen Großküche	Unternehmensvergleich Maschinenbau vs. Großküche	Branchenvergleich Elektronik- vs. Metallindustrie
Reifelevel auf Dimensionenebene und Attributsebene	X	X	X	X
Reifelevel aus Sicht der Querschnittsthemen	X	X	X	
EBI auf Dimensionenebene, Attributsebene und aus Sicht der Querschnittsthemen	X	X	X	
Relevanzbewertung auf Attributsebene	X	X	X	
Reifelevel ¹⁹⁸ nach Unternehmensstruktur				X
Reifelevel nach Produkt- und Produktionsart			X	X
Korrelation Reifelevel mit Produktionskennzahlen				X

Die durchgeführte Plausibilisierung aller Bewertungen der Anwendungen führt zum Schluss, dass das Modell in verschiedenen Anwendungsarten eine hinreichend genaue Messung der DuA-Reife erlaubt. So bildet das Modell die Reifelevel und Relevanzbewertungen von Einzelunternehmen mit unterschiedlichen Produkt- und Produktionseigenschaften akkurat ab. Weiters werden Reifelevel-Unterschiede über mehrere Unternehmen hinreichend genau abgebildet, wie die Studienergebnisse belegen.

Validierung mittels Anwender-Feedbackstudie mit den Bewertungsteilnehmern der Unternehmen

Neben dem Gütenachweis über die Bewertungsplausibilisierung wurde eine Anwender-Feedbackstudie mit den 28 Bewertungsteilnehmern der beiden Unternehmen Maschinenbau und Großküche durchgeführt. Ziel der Studie ist, quantitative Rückmeldungen zur Güte des Modells zu erhalten. Hierbei wurde die Güteanforderung der hinreichend ganzheitlichen und genauen Messung des Reifelevels über vier Teilaspekte abgebildet und abgefragt (siehe Abbildung 74).

¹⁹⁷ Auf Basis der eingeholten Rückmeldungen der Bewertungsteilnehmer während der Ergebnispräsentationen

¹⁹⁸ In den Studien als „Digi-Level“ benannt

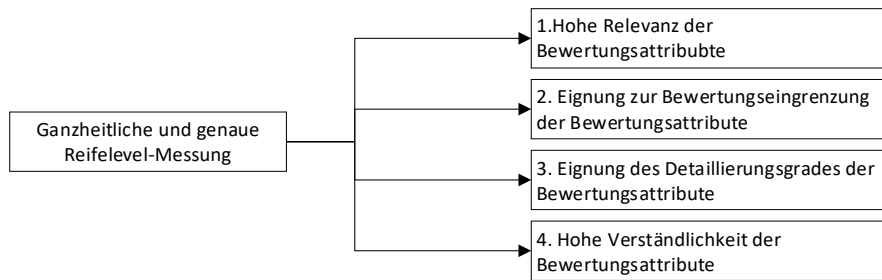


Abbildung 74: Validierungsaspekte für die ganzheitliche und genaue Reifelevel-Messung

Die Bewertungsteilnehmer wurden im Zuge der Modellanwendung im Unternehmen angewiesen, die Erfüllung dieser vier Validierungsaspekte für die Attribute auf einer Skala von 1 (niedere Erfüllung) bis 100 (hohe Erfüllung) anzugeben. Im Folgenden werden die Fragestellungen der vier Bewertungsaspekte vorgestellt, die Bewertungen über die neun Dimensionen dargestellt sowie die jeweils niedrigsten Bewertungen im Detail analysiert.

1. Hohe Relevanz der Bewertungsattribute

Fragestellung und Skala
Fragestellung: Wie bewerten Sie die Relevanz der Bewertungsattribute dieser Dimension für die Erhebung des Digitalisierungs- und Automatisierungs-Status dieses Themenbereiches?
Skala: Gar nicht relevant (0) bis Sehr relevant (100)

Die Bewertung der Relevanz der Attribute reicht von 70 aus 100 (D2 - Produkte und Kundenkontakt) bis 81 aus 100 (D5 - Produktionsplanung und -Steuerung) mit einem Mittelwert von 78 aus 100 (siehe Abbildung 75).

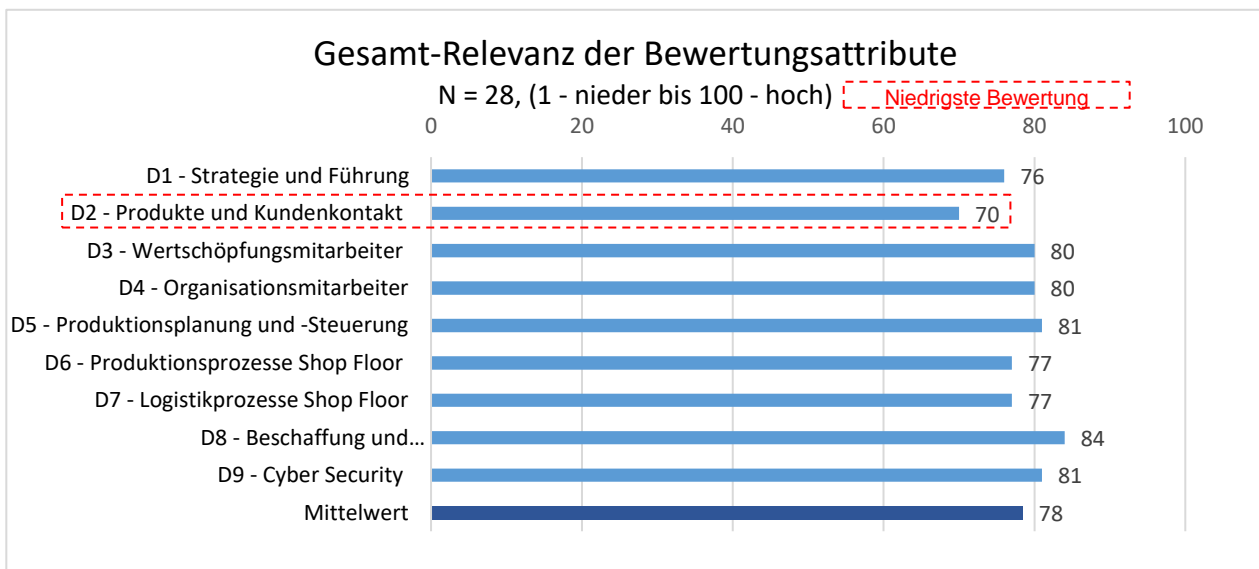


Abbildung 75: Ergebnisse Anwender-Feedbackstudie: Hohe Relevanz der Bewertungsattribute

Die niedrigste Bewertung wird im Detail betrachtet:

- D2 - Produkte und Kundenkontakt (70 aus 100): Aufgrund sehr unterschiedlicher Produkte in Unternehmen (z.B. Unternehmen Maschinenbau vs. Unternehmen Großküche) konnten trotz mehrerer Entwicklungsiterationen keine Attribute gefunden werden, welche für alle Industrieunternehmen dieselbe Relevanz aufweisen.

- Lösungsansatz: Durch die Fokussierung des Modells auf produzierende Unternehmen diskreter Produkte wurde hier bereits eine Eingrenzung des Untersuchungsraumes vorgenommen. Eine Erhöhung der Relevanz kann durch die unternehmensindividuelle Anpassung einzelner Attribute im Zuge einer Bewertung erfolgen.

2. Eignung zur Bewertungseingrenzung der Bewertungsattribute

Fragestellung und Skala

Fragestellung: Als wie passend empfinden Sie den Detaillierungsgrad der Bewertungsfragen dieser Dimension zur Erhebung des Digitalisierungs- und Automatisierungsgrades dieses Themenbereiches?

Skala: Gar nicht passend (0) bis Sehr gut passend (100)

Die Bewertung der Eignung zur Bewertungseingrenzung der Attribute reicht von 62 aus 100 (D1 - Strategie und Führung) bis 93 aus 100 (D7 - Logistikprozesse Shop Floor) mit einem Mittelwert von 76 aus 100 (siehe Abbildung 76).

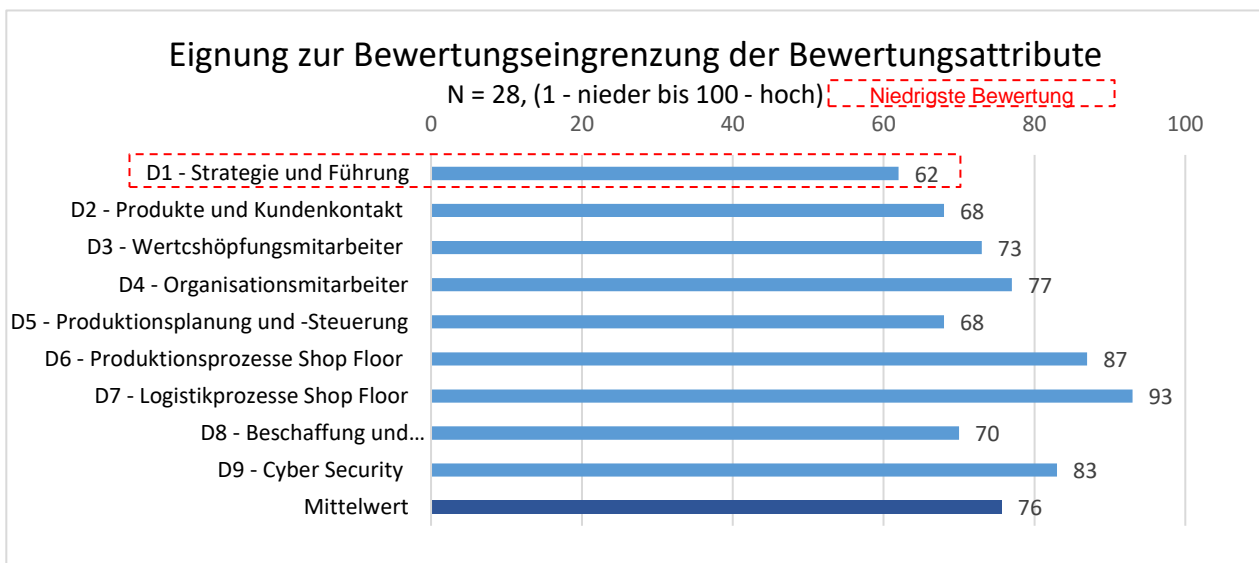


Abbildung 76: Ergebnisse Anwender-Feedbackstudie: Eignung der Bewertungseingrenzung der Attribute

Die jeweils niedrigste Bewertung wird im Detail betrachtet:

- D1 - Strategie und Führung (62 aus 100): Aufgrund der Durchführung als Self-Assessment ohne moderierte Workshops mit allen Fachbereichen blieben die Systemgrenzen der Bewertung teilweise unklar. Aufgrund der, von Natur aus undefinierten Grenzen des Themas Strategie und Führung (im Vergleich etwa zu jenem der Produktionsprozesse), bewerten die Teilnehmer die Attribute dieser Dimension mit der niedrigsten Eignung zur Eingrenzung.
- Lösungsansatz: Im Zuge einer Bewertung müssen Einzelworkshops mit allen Bewertungsteilnehmern durchgeführt werden, um die Attribute in Detail vorzustellen und den Betrachtungsbereich klar einzugrenzen.

3. Eignung des Detaillierungsgrades der Bewertungsattribute

Fragestellung und Skala

Fragestellung: Wie bewerten Sie die Klarheit der Bewertungsfragen bzgl. Eingrenzung der Fragestellung auf einen Bewertungsbereich im Unternehmen?

Skala: Sehr unklar (0) bis Sehr klar (100)

Die Bewertung der Eignung des Detaillierungslevel der Attribute reicht von 92 aus 100 (D6 - Produktionsprozesse Shop Floor) bis 100 aus 100 (D2 - Produkte und Kundenkontakt) mit einem Mittelwert von 95 aus 100 (siehe Abbildung 77).

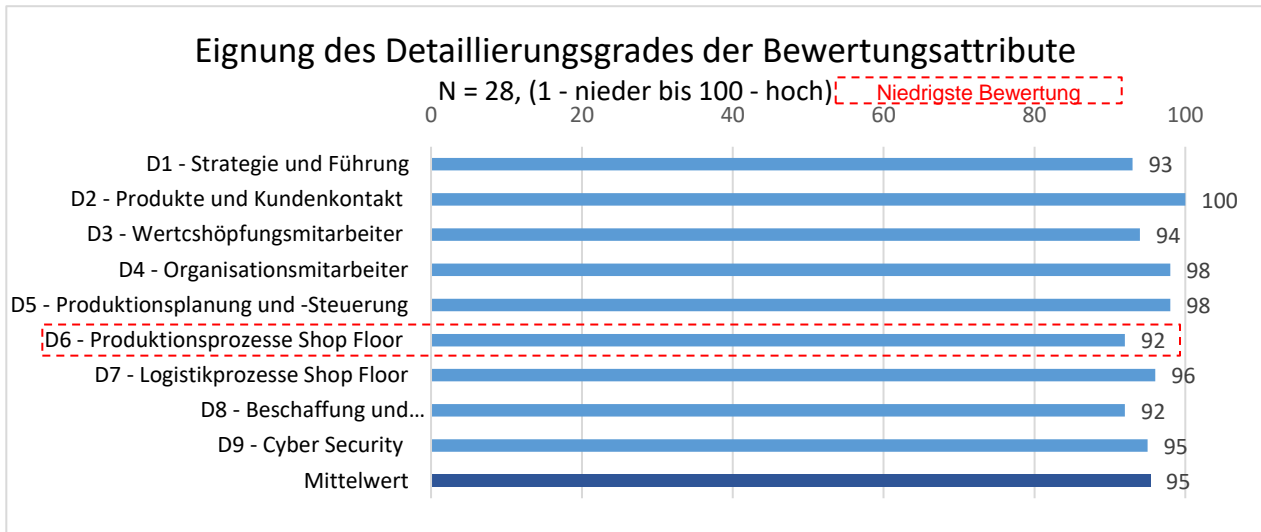


Abbildung 77: Ergebnisse Anwender-Feedbackstudie: Eignung des Detaillierungsgrades der Attribute

Die jeweils niedrigste Bewertung wird im Detail betrachtet:

- D6 - Produktionsprozesse Shop Floor und D8 - Beschaffung und Lieferantenkontakt (je 92 aus 100): Die Eignung des Detaillierungsgrades wurde über alle Dimensionen durchgehend mit hoher Eignung bewertet. Die geringe Abweichung der Dimensionen D6 und D8 kann im Detail nicht erklärt werden.
- Lösungsansatz: kein Handlungsbedarf

4. Hohe Verständlichkeit der Bewertungsattribute

Fragestellung und Skala

Fragestellung: Wie bewerten Sie die Verständlichkeit der Bewertungsfragen bzgl. Formulierung der Fragestellung, der Beschreibung und des angeführten Beispiels?

Skala: Sehr unverständlich (0) bis Sehr verständlich (100)

Die Bewertung der Verständlichkeit der Attribute reicht von 71 aus 100 (D8 - Beschaffung und Lieferantenkontakt) bis 98 aus 100 (D2 - Produkte und Kundenkontakt) mit einem Mittelwert von 83 aus 100 (siehe Abbildung 78).

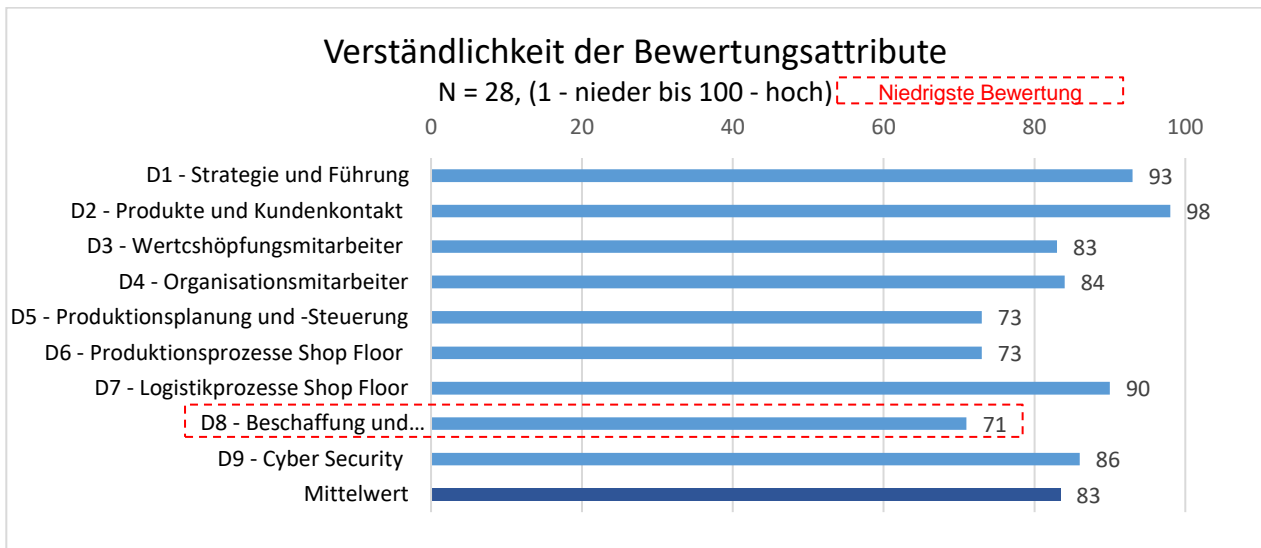


Abbildung 78: Ergebnisse Anwender-Feedbackstudie: Verständlichkeit der Attribute

Die jeweils niedrigste Bewertung wird im Detail betrachtet:

- D8 - Beschaffung und Lieferantenkontakt (71 aus 100): Nach Rückfrage bei den Bewertungsteilnehmern ergibt die noch mangelnde Aufteilung zwischen strategischem und operativem Einkauf unklare Beschreibungen der Attribute.
- Lösungsansatz: Die Attribute dieser Dimension werden erneut überarbeitet, um höhere Verständlichkeit zu erreichen.

Als zweiter Gütenachweis der Praxisanwendung wird die hinreichende Wiederholungsgenauigkeit des Modells bei wiederholter Anwendung belegt.

7.5.2 Validierung der Reliabilität (Wiederholungsgenauigkeit) bei der Anwendung des Bewertungsmodells

Die hinreichende Wiederholungsgenauigkeit des Modells kann nachgewiesen werden, indem sich bei mehrfacher Modellanwendung nur erklärbare Bewertungsunterschiede ergeben. Bewertungswiederholungen traten bei der Anwendung in beiden Einzelunternehmen, sowie bei der Anwendung in den beiden Industriebranchen auf. Die Plausibilisierung der Bewertungsunterschiede wurde bereits bei den jeweiligen Gegenüberstellungen in den *Kapiteln 7.3* und *7.4* durchgeführt. Hinreichende Reliabilität kann beispielsweise anhand der Verteilung der Attribute über die 13 Level in den bewerteten Einzelunternehmen Maschinenbau und Großküche aufgezeigt werden (siehe Abbildung 79).

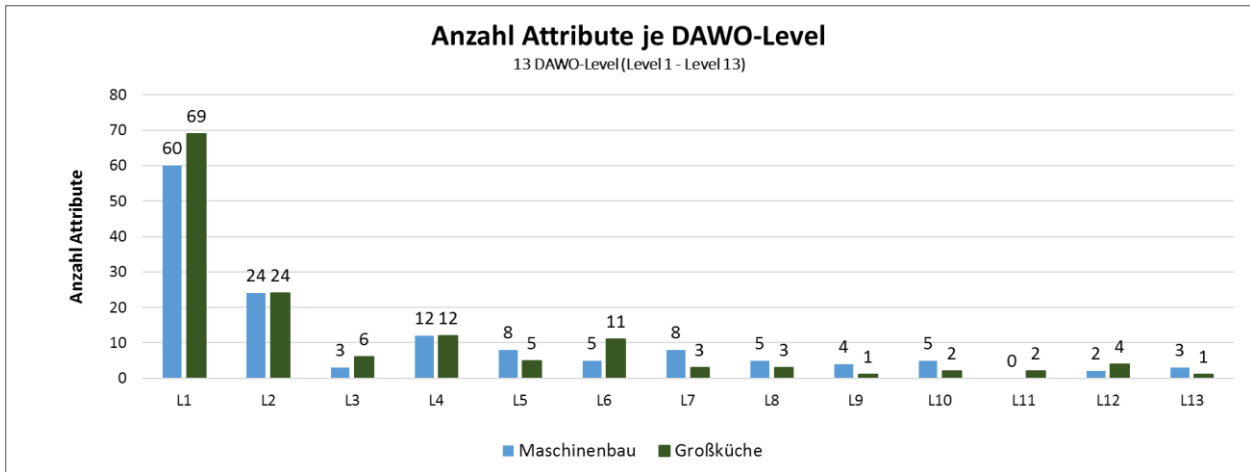


Abbildung 79: Validierung Reliabilität des Bewertungsmodells – Anwendung Einzelunternehmen

Auf Attributsebene treten nachweislich große Bewertungsunterschiede zwischen den Unternehmen Maschinenbau und Großküche auf. Trotzdem resultiert eine ähnliche Verteilung der Attribute über die 13 Reifelevel. Dieselbe Aussage lässt sich für den Vergleich der Relevanzbewertungen beider Unternehmen treffen. Somit ergibt das Modell auch bei mehrfacher Anwendung in Einzelunternehmen Resultate mit nur erklärbaren Abweichungen und keine Zufallsresultate mit großer Streuung (sofern ein ähnlicher Reifelevel in den Unternehmen zu erwarten ist).

Auch die Anwendung in der Elektronik- und Metallindustrie und der Vergleich der Bewertungen lässt Aussagen über die Reliabilität des Modells zu. Dies kann etwa anhand der Gegenüberstellung der Verteilung über die vier Digi-Level gezeigt werden (siehe Abbildung 80 - links).

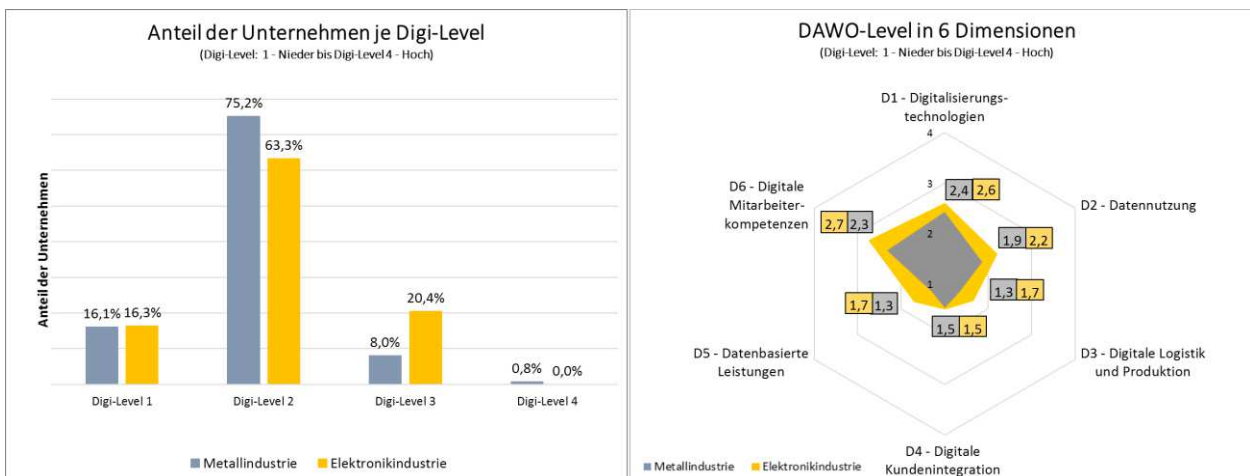


Abbildung 80: Validierung Reliabilität des Bewertungsmodells – Anwendung Branchenvergleich

Die unabhängige Studiendurchführung in beiden Branchen resultiert in ähnlicher Verteilung über die vier Digi-Level, sowie einer ähnlichen Digi-Level Verteilung in den sechs Dimensionen. So weisen in beiden Branchen weniger als 1% der Unternehmen Digi-Level 4 und ca. 16% Digi-Level 1 auf. Alle auftretenden Bewertungsunterschiede konnten bereits im Detail in Kapitel 7.4 plausibilisiert werden, was wiederum auf hohe Reliabilität des Modells hindeutet.

Letztendlich wird das Gütekriterium der hinreichenden Objektivität beim Self-Assessment untersucht.

7.5.3 Validierung der Objektivität durch quantitatives Self-Assessment des Reifelevels

Reifegradbewertungen des Dissertanten über die vergangenen 3 Jahre, sowie eingeholte Expertenmeinungen¹⁹⁹ zeigen auf, dass Unternehmen den eigenen Digitalisierungsgrad tendenziell als zu hoch, bezogen auf den SOTA der organisatorischen und technologischen Möglichkeiten, einschätzen. Ein Gütekriterium des Modells stellt daher die Existenz eines objektivierenden und quantitativen Bewertungsansatzes dar. Die Erfüllung dieses Gütekriteriums wird über die Einflussanalyse der verwendeten quantitativen Bewertungsmetrik auf die Resultate des Self-Assessments belegt. Es wird erwartet, dass quantitative Bewertungsskalen zu einer Reduktion (=Objektivierung) des bewerteten Reifegrades führen, welche die Realität genauer abbilden.

Hierzu wurden die durchgeführten Industriestudien in der Elektronik- und Metallindustrie herangezogen und die Rückmeldungen aller Unternehmen in einem Datensatz integriert, da die Branchenzuordnung hier keine Relevanz hat. Wie in *Kapitel 7.4* beschrieben, wurde die Umfrage der Studie in zwei Fragengruppen geteilt: 50% der Fragen mit einer quantitativen Bewertungsskala (Angabe der Implementierung von 0% bis 100%) und 50% der Fragen mit einer qualitativen Bewertungsskala (Angabe der Implementierung von „gar nicht“ bis „sehr umfassend“). Mittels Statistiksoftware wurde nun untersucht, inwieweit der Digi-Level zwischen den Vergleichsgruppen abweicht (siehe Abbildung 81). Es sei angemerkt, dass sich die Fragen mit quantitativen und qualitativen Bewertungsskalen gleichmäßig über die sechs Bewertungsdimensionen verteilen. So kann ein thematischer Einfluss auf den Digi-Level der Fragengruppen ausgeschlossen werden und der Effekt der Bewertungsskala isoliert werden.

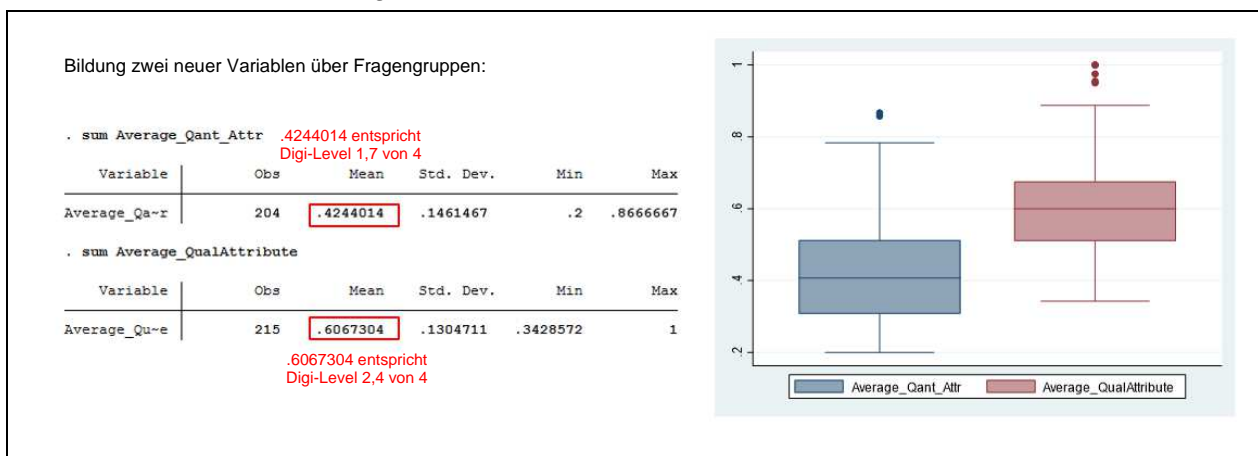


Abbildung 81: Vergleichsanalyse Digi-Level quantitative vs. qualitative Bewertungsskala

Der Vergleich der Fragengruppen zeigt, dass die Teilnehmer thematisch gleiche Bewertungsattribute, jedoch mit qualitativen Bewertungsskalen mit einem ca. 18% höheren Digi-Level bewerten (Digi-Level 2,4 von 4 oder .0606 in Variablendarstellung) als jene mit einer rein quantitativen Bewertungsskalen (1,7 von 4, oder .424 in Variablendarstellung). Somit führt die Nutzung quantitativer Bewertungsskalen, wie im Modell genutzt, zu einer Reduktion und damit Objektivierung der Eigeneinschätzung der Unternehmen.

¹⁹⁹ Etwa im Zuge der Entwicklungsvalidierung in Kapitel 6.7

Ein weiterer Validierungsansatz, um den objektivierenden Einfluss quantitativer Bewertungsskalen zu zeigen, besteht im Vergleich durchgeführter DuA-Studien des Dissertanten über die letzten Jahre. Diese weisen allesamt unterschiedliche Anteile an quantitativen Bewertungsskalen, als auch Fragenanzahlen der Umfragen, auf. Hierfür wurden drei Gruppen an verwendeten Bewertungsskalen gebildet (qualitativ, gemischt qualitativ/quantitativ und rein quantitativ) und die erreichten Reifegrade der zugehörten Bewertungen gegenübergestellt (siehe Tabelle 53).

Tabelle 53: Gegenüberstellung DuA-Bewertungen des Dissertanten nach Bewertungsskalen und erreichtem Reifegrad über alle untersuchten Unternehmen

Bewertungsart, Jahr, Anzahl Unternehmen, Anzahl der Fragestellungen	Bewertungsskala	Mittelwert Reifegrad in %
Blitzstudie (2016), 661 Unternehmen, 1 Frage	qualitativ	68%
Studie (2019), 215 Unternehmen, 15 Fragen	qualitativ	60%
Einzelbewertungen (2017-2019), 7 Unternehmen, 62 Fragen	qualitativ/ quantitativ	49%
Studie (2019), 204 Unternehmen, 15 Fragen	quantitativ	42%
Einzelbewertungen (2020), 2 Unternehmen, 143 Fragen	quantitativ	27%

Zur Vergleichbarkeit wurde der erreichte DuA-Reifegrad über alle teilnehmenden Unternehmen der Bewertungen auf eine Prozentskala normiert. Folglich kann der Einfluss des Anteils quantitativer Bewertungsskalen auf den erreichten DuA-Reifegrad ausgewertet werden (siehe Abbildung 82).

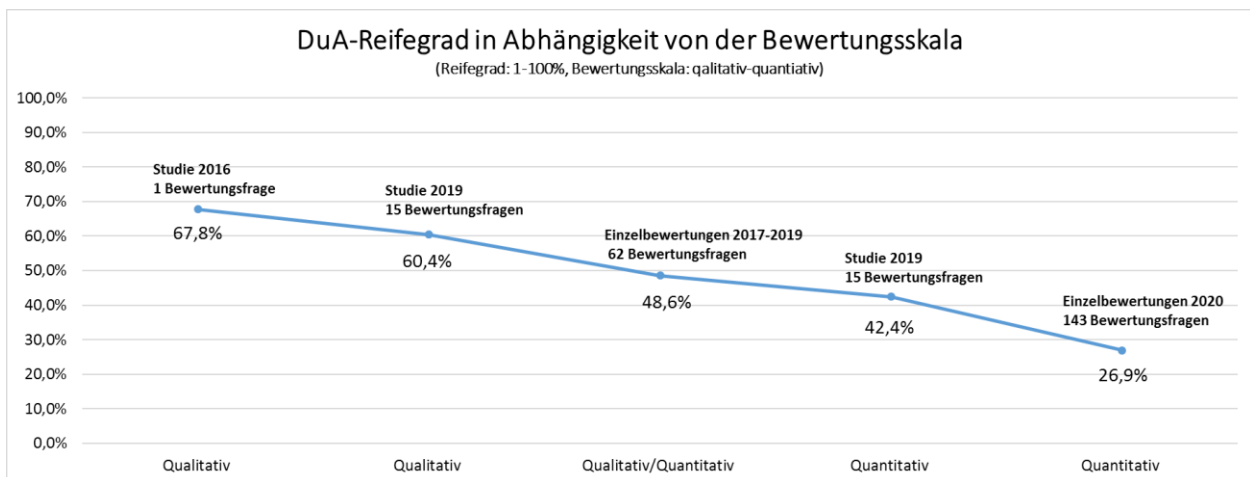


Abbildung 82: Erreichter Reifegrad in Abhängigkeit von der Bewertungsskala

Die Nutzung quantitativer Bewertungsskalen führt klar zu einem reduzierten DuA-Reifegrad, was auch unter Berücksichtigung der zeitlichen Anordnung der Bewertungen bemerkenswert ist. So zeigt sich bei Bewertungen mit rein quantitativen Skalen im Jahr 2019 und 2020 trotz vermeintlicher zeitbedingter Reifegradentwicklung seit der ersten Bewertung 2016 ein signifikant niedrigerer Reifegrad. Neben der Bewertungsskala hat auch die Anzahl der Bewertungsfragen, also die Genauigkeit der Messung aufgrund mehr erfasster Variablen, einen reduzierenden Einfluss auf den Reifegrad. Die DuA-Bewertung mit 143 Bewertungsattribute des Modells zeigt mit einem

durchschnittlichen DuA-Reifegrad von 26,9%, dass rein quantitative Bewertungsskalen in Kombination mit einer hohen Fragenanzahl zum niedrigsten Reifegrad und folglich zu einer objektiven Selbstbewertung führen.

Mit dem Nachweis der hinreichenden Objektivität bei der Eigenbewertung der DuA wurden alle sechs definierten Güteanforderungen an die Entwicklungsschritte des Modells, das resultierende Modell selbst, sowie dessen Anwendung belegt.

Im Folgenden und letzten Kapitel werden die Forschungsergebnisse in Bezug auf die definierten Problemstellungen und Ziele der Dissertation untersucht, Antworten auf die Forschungsfragen und -Hypothesen gegeben und eine Conclusio mit Ausblick gezogen.

8 Forschungsergebnisse, Conclusio und Ausblick

Kapitel 8 dient, dem Design Science-Vorgehen nach, dem Nachweis des Forschungsbeitrages und der Problemlösung (siehe Abbildung 83).

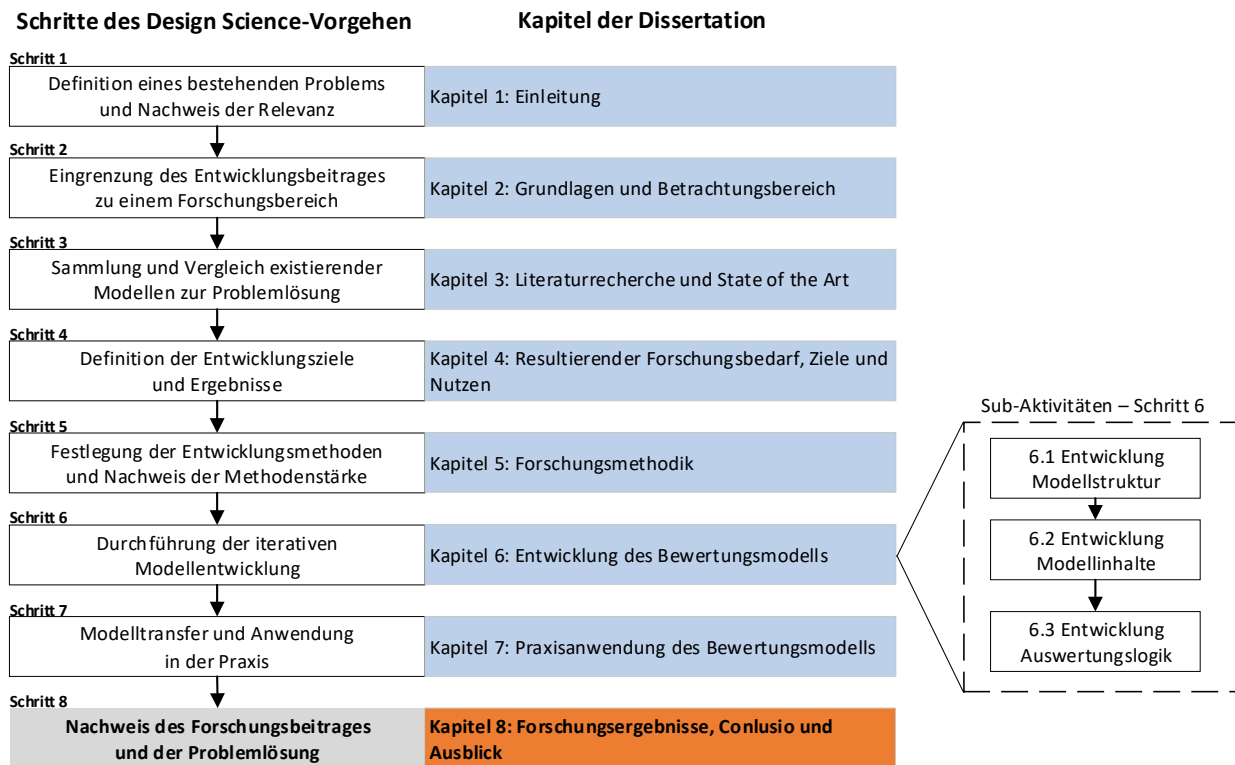


Abbildung 83: Zuordnung der Dissertationskapitel zum Design Science-Vorgehen

Kapitel 8 beinhaltet die Gegenüberstellung der eingangs definierten Probleme, Ziele und des Nutzens der Dissertation mit den Resultaten der Ausarbeitung. Weiters werden die definierten Forschungsfragen und Hypothesen beantwortet und alle Erkenntnisse in einer Conclusio mit einem Forschungsausblick zusammengefasst (siehe Abbildung 84).

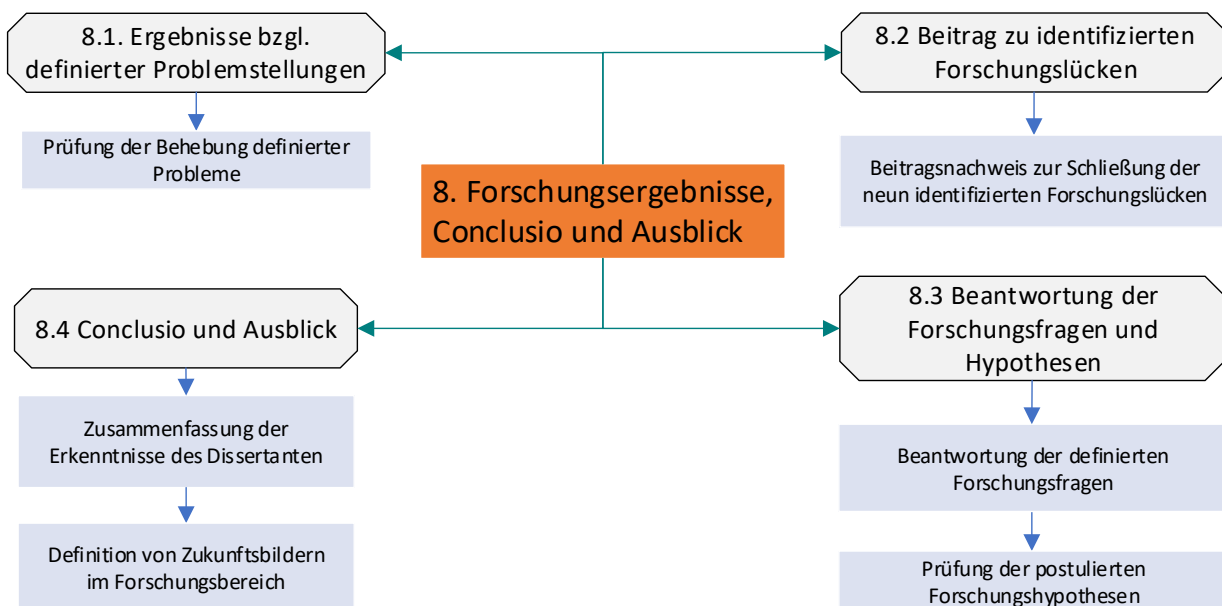


Abbildung 84: Concept-Map zur Übersicht der Inhalte von Kapitel 8 (eigene Darstellung)

8.1 Ergebnisse in Bezug auf definierte Problemstellungen

Im Kapitel 1.2 wurden Problemstellungen definiert und Ziele der Dissertation aus diesen abgeleitet. Zur Prüfung der Zielerreichung werden die Resultate der Dissertation nun mit diesen Zielen abgeglichen (siehe Tabelle 54).

Tabelle 54: Resultate der Dissertation in Bezug auf definierte Problemstellungen und Ziele

Eingangs definierte Problemstellung	Eingangs abgeleiteter Forschungsbedarf	Resultate der Dissertation und zugehörige Kapitel
<p>1</p> <p>Fehlende Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in real bewertbare DuA-Ansätze in Produktionsunternehmen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung eines Betrachtungsbereiches für ein DuA-Bewertungsmodell mit Bezug auf Produktionsunternehmen. • Operationalisierung abstrakter Industrie 4.0-Konzepte in praktisch relevante DuA-Ansätze. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingrenzung Betrachtungsbereich (<i>Kapitel 2.3</i>) • Eingrenzung des Bewertungsfokus (<i>Kapitel 6.1</i>) • Relationsmodell mit 189 DuA/WuO-Relationen (<i>Kapitel 6.2</i>)
<p>Über den Ansatz, die drei Zielzustände der Industrie 4.0 in neun DuA-Zielzustände zu überführen, wurde die Abstraktheit der theoretischen Entwicklungen, sowie der praktischen Anwendungsmethoden reduziert und die Inhalte auf direkt beobachtbare Aspekte (operativ messbare Variablen) beschränkt.</p>		
<p>2</p> <p>Fehlende Methoden, um den DuA-Entwicklungsstatus im Unternehmen ganzheitlich und objektiv zu bewerten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung einer Bewertungsbasis aufbauend auf der Wertstromsichtweise. • Entwicklung eines Bewertungsmodells dessen Methodik transparent und replizierbar ist. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fokussierung auf die Industrielle Wertschöpfung (<i>Kapitel 2.1</i>) • Entwicklung einer Auswertungslogik (<i>Kapitel 6.3</i>)
<p>Die entwickelten theoretischen Modellinhalte wurden in praktisch anwendbare Methoden und Tools überführt, deren Anwendung in Unternehmen über eine Anwendungsmethode systematisiert wurde. Die Bewertung der DuA-Reife erfolgt hierbei über die Erhebung der Attributsausprägung im Unternehmen, sowie die anschließende Überführung der Daten in einen Reifegradbericht und ein Ergebnis-Dashboard, deren Erstellung einer definierten Auswertungslogik folgen.</p>		
<p>3</p> <p>Fehlende Metriken zur quantitativen Messung der DuA-Reife.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches Ansätze der Digitalisierung und Automatisierung ganzheitliche berücksichtigt und bewertbar macht. • Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches ausschließlich quantitative Mess-Metriken verwendet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der Modellstruktur (<i>Kapitel 6.1</i>) • Entwicklung der Modellinhalte (<i>Kapitel 6.2</i>) • Entwicklung Latentes Variablensystem zur DuA-Messung (<i>Kapitel 6.2</i>)
<p>Durch die Untersuchung von Relationen zwischen neun DuA-Zielzuständen und 21 WuO-Faktoren und deren Einbettung in die Wertstrombetrachtung wurde eine ganzheitliche Messung und gleichzeitig hohe praktische Relevanz erreicht. Die Messbarkeit der latenten Variablen der DuA in realen Produktionsumgebungen wurde über den 2-stufigen Operationalisierungsansatz, sowie die Einführung des quantitativen Skalensystems umgesetzt.</p>		

4	<p>Fehlende Ansätze zur systematischen Priorisierung der DuA-Reife.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Vorgehensweisen für die praktische Anwendung des Bewertungsmodells in Produktionsunternehmen. • Festlegung einer Systematik, um DuA-Handlungsfelder zu identifizieren und zu priorisieren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer Anwendungsmethode (Kapitel 7.2) • Festlegung einer Systematik zur DuA-Handlungsfeldpriorisierung (Kapitel 6.3)
<p>Der Ansatz zur strategischen Planung der Handlungsfeldumsetzung wurde über den Entwicklungsbedarf-Index in den Schritten 6 und 7 des Vorgehensmodells zur Anwendung berücksichtigt. Hierbei entstehen priorisierte DuA-Handlungsfelder und DuA-Attribute, welche direkt in Umsetzungsprojekte überführt werden können. Die Priorisierung über den EBI kann auf Attributs- und Dimensionenebene, sowie aus Sicht der Querschnittsthemen erfolgen.</p>			

Zusammenfassend konnte die Dissertation zur Lösung der definierten Problemstellungen sowie zum abgeleiteten Forschungsbedarf einen maßgeblichen Beitrag leisten. Bereits vor inhaltlicher Bearbeitung der Dissertation wurden auf Basis des SOTA, in Kombination mit definierten Anforderungen an ein Modell zur DuA-Reifebewertung, Forschungslücken identifiziert, deren Schließung folglich untersucht wird.

8.2 Beitrag der Dissertation zu identifizierten Forschungslücken

In Kapitel 3.4 *Identifikation der Forschungslücken* wurden neun Forschungslücken aufgezeigt, welche bestmöglich über die Resultate der Dissertation geschlossen werden sollen. Im Folgenden wird auf jede der Forschungslücken Bezug genommen und der Beitrag der Dissertation dargelegt (siehe Tabelle 55).

Tabelle 55: Eingangs identifizierte Forschungslücken und Beitrag der Dissertation zu Schließung

Nr.	Identifizierte Forschungslücken und Beitrag der Dissertation
1	Fehlender Fokus der Bewertungsansätze auf Produktionsunternehmen
Zur Erhöhung der Aussagekraft der Bewertungsergebnisse wurde die Anwendung auf Produktionsunternehmen mit diskreten und materiellen Erzeugnissen in eingegrenzt (siehe <i>Kapitel 2.3</i>).	
2	Fehlende Operationalisierung der Bewertungsmodelle für reale Produktionsumgebungen
Alle 143 Bewertungsattribute des Bewertungsmodells wurden über Bildung eines latenten Variablen-systems bis zur operativen Messbarkeit in Produktionsunternehmen überführt (siehe <i>Kapitel 6.2</i>)	
3	Fehlende ganzheitlichen Berücksichtigung der Wertstromelemente eines Produktionsunternehmens
Die Bewertungsdimensionen des Modells setzen auf der Wertstromsichtweise und berücksichtigen Elemente über alle Wertstrombereiche (siehe <i>Kapitel 6.1</i>).	
4	Fehlende Transparenz in Bezug auf die Bewertungsmethodik
In der Dissertation selbst, als auch den Publikationen des Dissertanten wurde das Entwicklungsvorgehen, sowie das resultierende Bewertungsmodell vollständig publiziert. Des Weiteren ist diese Dissertation für die Allgemeinheit zugänglich (siehe Publikationsliste <i>Kapitel 11</i>).	

5, 6	Fehlende ganzheitlichen Digitalisierungsbewertung und Automatisierungsbewertung
Die ganzheitliche DuA-Bewertung wurden über 189 untersuchte Relationen zwischen den neun DuA-Zielzustände mit 21 WuO-Faktoren sichergestellt (siehe <i>Kapitel 6.2</i>). Diese wurden in 143 Bewertungsattribute in neun Dimensionen vom Lieferanten bis zum Kundenkontakt überführt (Vollständige Attributliste siehe Anhang <i>Kapitel 9.10</i>).	
7	Fehlende Nutzung quantitativer Mess-Metriken zur DuA-Bewertung
Das Bewertungsmodells erfasst die DuA-Reife über die quantitative Messung der Bewertungsattribute von 13 Leveln und wertet diese quantifiziert aus (siehe <i>Kapitel 6.2</i>).	
8	Fehlende Praxisrelevanz existierender Bewertungsmodelle
Die Überführung des Bewertungsmodells in praxistaugliche Tools und deren Testung wurde im definierten Entwicklungsvorgehen der Dissertation festgelegt (siehe <i>Kapitel 6.1</i>). Die praktische Relevanz wurde über die Anwendung des Modells in zwei Einzelunternehmen sowie einer Industriestudie getestet und diese mit 28 Teilnehmern in einer Anwender-Feedbackstudie validiert (siehe <i>Kapitel 7.5</i>).	
9	Fehlende Methodenbereitstellung für die Ableitung von DuA-Handlungsfeldern
Zur DuA-Reifebewertung und zur DuA-Handlungsfeldableitung wurde eine Anwendungsmethode, sowie eine Auswertungslogik definiert, welche systematisch durch die Modellanwendung bis zu priorisierten Handlungsfeldern leitet (siehe <i>Kapitel 6.3</i> und <i>6.5</i>).	

8.3 Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen

Im *Kapitel 5.1 Forschungsfragen und Hypothesen* wurden drei Forschungsfragen definiert, welche durch diese Dissertation beantwortet werden sollen. Die Forschungsfragen werden im Folgenden durch zusammenfassende Aussagen beantwortet und jeweils ein Verweis zum Kapitel der Dissertation angefügt, welches der Beantwortung der Frage im Detail dient (siehe Tabelle 56).

Tabelle 56: Beantwortung der Forschungsfragen

Nr.	Forschungsfragen
1	Welche Elemente der industriellen Digitalisierung und Automatisierung müssen berücksichtigt werden, um den DuA-Reifegrad ganzheitlich bewerten zu können?
Die Zusammensetzung aus Literatursicht ergibt neun grundlegende Zielzustände der DuA, wie auch in wissenschaftlichen Publikationen des Dissertanten hergeleitet (siehe <i>Kapitel 2.2</i>). Diese neun DuA-Zielzustände ergeben in Verbindung mit 21 Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren 189 relevante Relationen, welche zur ganzheitlichen Bewertung der DuA-Reife erforderlich sind (siehe <i>Kapitel 6.2</i>).	
2	Welche Strukturen und Inhalte muss ein Bewertungsmodell aufweisen, um den DuA- Umsetzungsgrad ganzheitlich zu erfassen?
Im Zuge der Literaturrecherche konnte kein Bewertungsmodell gefunden werden, welche die Anforderungen an Struktur und Inhalt erfüllt (siehe <i>Kapitel 3.2</i> und <i>3.3</i>). Zur ganzheitlichen Bewertung des DuA-Reifelevels sind aus Literatursicht neun Dimensionen und sechs Querschnittsthemen erforderlich, welche die Struktur des entwickelten Bewertungsmodells ergeben (siehe <i>Kapitel 6.1</i>). Weiters sind zur ganzheitlichen Bewertung als Resultat der Modellentwicklung 143 Bewertungsattribute erforderlich, welche thematisch den Dimensionen und Querschnittsthemen zugeordnet werden (siehe <i>Kapitel 6.2</i>)	

3	Welchen Messgrößen und Metriken sind erforderlich, um den DuA-Reifegrad quantitativ messen zu können?
<p>Die Art der verwendeten Metrik richtet sich stark nach der Analyseebene. So nutzen gesichtete DuA-Reifegradbewertungen auf Makroebene vermehrt quantitative Metriken (z.B. Anteil Haushalte mit Breitbandanschluss oder Anteil online durchführbarer Amtshandlungen). Auf Unternehmensebene waren ausschließlich qualitative Metriken zu finden (z.B. Nutzung von Technologogen bewertet von „gar nicht“ bis „umfassend“) (siehe <i>Kapitel 3.4</i>). Die Entwicklung des Bewertungsmodells der Dissertation gibt eine quantitative Metrik bestehend aus 13 Reifelevel vor, mit welcher die Ausprägung der 143 Bewertungsattribute quantitativ (in Prozent) gemessen wird. Die Auswertung der gesammelten Reifedaten erfolgt ebenfalls in quantitativer Form (siehe <i>Kapitel 6.3</i>).</p>	

Neben den Forschungsfragen wurden ebenfalls in *Kapitel 5.1* vier Hypothesen formuliert, deren Zutreffen durch die Resultate der Dissertation untersucht werden soll (siehe Tabelle 57).

Tabelle 57: Abgleich der Dissertationsresultate mit den definierten Hypothesen

Nr.	Deduktiv/qualitative zu beantwortende Hypothesen
1	Die Zielzustände der Industrie 4.0 können vollständig über die integrierte Verknüpfung der Zielzustände der DuA mit Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren modelliert werden.
<p>Die drei Zielzustände der Industrie 4.0 (Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerk, Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die Wertschöpfungskette, Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme) konnten ohne konzeptionelle Verluste operativ über die Relation zwischen den neun DuA-Zielzuständen in Relation mit 21 WuO-Faktoren abgebildet werden.</p>	
2	Die Nutzung quantitativer und operationalisierter DuA-Messgrößen erhöht die Effizienz bei der Bewertung der DuA-Reife im Vergleich zu qualitativen und generischen Messgrößen, wie etwa Industrie 4.0-Reifegradmodellen genutzt.
<p>Der direkte Vergleich der Bewertungen dieser Dissertation (quantitative, operative Bewertung) mit den durchgeführten Industrie 4.0-Reifegradbewertungen des Dissertanten der letzten Jahre²⁰⁰ (qualitativ, generisch) zeigen eine Reduktion der erforderlichen Zeit zur Bewertung im Unternehmen: Derzeitige Modellanwendung mit durchschnittlich 32h²⁰¹ vs. Industrie 4.0-Bewertung durchschnittlich 64h²⁰² Aufwand. Die erhöhte Effizienz liegt zum einen am Bewertungsvorgehen, da die Bewertungsattribute nur durch die Experten der Fachbereiche und nicht alle Teilnehmer bewertet werden. Zum anderen erfordern die Bewertungsattribute wenig Erklärungen für die Bewertungsteilnehmer aufgrund operativer Formulierungen und Fragestellungen der Attribute.</p>	
Nr.	Induktiv/quantitativ zu beantwortende Forschungshypothesen
3	Die Nutzung quantitativer Messskalen bei der Messung der DuA-Reife in Industrieunternehmen führen zu Unterschieden bei der Eigeneinschätzung von Industrieunternehmen, im Vergleich zu qualitativen Messskalen.
<p>Der Vergleich von 5 durchgeführten DuA-Bewertungen²⁰³ zeigt, dass die Nutzung quantitativer Messskalen der DuA-Reife zu einem reduzierten und damit unterschiedlichen Reifegrad im Vergleich zu qualitativen Skalen führt. Auch die Anzahl der Fragen (bei qualitativer als auch quantitativer Messskala) führt aufgrund der genaueren Bewertung zu einem reduzierten Reifegrad.</p>	

²⁰⁰ Sieben durchgeführte Bewertungen von Einzelunternehmen im Zeitraum 2016-2019

²⁰¹ Erforderliche Bewertungszeit wurde im Zuge der Use-Cases abgefragt

²⁰² Erforderliche Bewertungszeit wurde wiederkehrend bei Bewertungen abgefragt

²⁰³ Allesamt durch den Dissertanten durchgeführt

4	Ein erhöhter DuA-Reifegrad eines Industrieunternehmens korreliert positiv mit dessen Produktionskennzahlen wie Auslastung, Termintreue oder Durchlaufzeit.
<p>Zur Hypothesenprüfung wurden die Daten der durchgeführten Industriestudie genutzt. Es konnten jedoch mit diesem Datensatz keine signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden. Somit kann bei erhöhtem DuA-Reifelevel nicht direkt von verbesserten Produktionskennzahlen ausgegangen werden. Eine weitere Analyse ergab, dass einzelner DuA-Lösungen signifikante Korrelationen bestehen (z.B. Korrelationsanalyse der Umsetzung des „Automatischen Produkttransportes“ und der „Zufriedenheit mit der Durchlaufzeit“). Aus Sicht der empirischen Analyse korreliert die DuA-Reife also auf der Detailebene der DuA-Lösungen, jedoch nicht auf Ebene des Gesamt-DuA-Reifelevels.</p>	

Die Beantwortung der leitenden Forschungsfragen und Hypothesen der Arbeit schließt den Nachweis des Forschungs- und Innovationsbeitrages der Dissertation. Im letzten inhaltlichen Kapitel wird eine Conclusio gezogen und ein Forschungsausblick gegeben.

8.4 Conclusio und Ausblick

Die Motivation dieser Dissertation bestand darin, einen Beitrag zur Nutzbarmachung der potenziellen positiven Auswirkungen der DuA für Produktionsunternehmen zu leisten. Durch die Entwicklung eines Bewertungsmodells für die DuA-Reife und einer Methodik zur Ableitung von DuA-Handlungsfeldern konnten Unternehmen Hilfestellungen bereitgestellt werden, um die eigene DuA-Reife zu analysieren und dessen Erhöhung systematisch zu planen.

Im Zuge der Ausarbeitung dieser Dissertation sind neben den beschriebenen Resultaten aus den *Kapiteln 8.1-8.3* weitere subjektive Erkenntnisse aus Sicht des Dissertanten entstanden:

- Die integrierte Betrachtung der DuA ist zwingend erforderlich. Der Versuch diese Konzepte getrennt zu betrachten, also etwa eine Automatisierung von Informationsprozessen ohne Digitalisierung der Informationsinhalte²⁰⁴, ist zum heutigen technologischen Stand nicht sinnvoll. Im Sprachgebrauch der Unternehmen, aber auch der Wissenschaft, werden DuA-Lösungen oftmals als „Digitalisierung“ zusammengefasst. Diese Zusammenfassung scheint aus Effizienzgründen sinnvoll, sollte aber in der Wissenschaft vermieden werden, da dies zur Subjektivierung von Begrifflichkeiten und Arbeitsdefinitionen führt.
- Als Ergebnis dieser Dissertation bzw. der empirischen Datenanalyse wird Unternehmen von einer pauschalen DuA-Umsetzung, also etwa einer „Digitalen Transformation“ abgeraten. Die positiven Auswirkungen der DuA auf die Unternehmensperformance resultieren meist aus der Summe kleiner, aber systematisch geplanter Digitalisierungsaktivitäten, wie etwa dem Einsatz eines FTS oder der Nutzung einer MES-Software.²⁰⁵ Die Umsetzungsmotivation und Kommunikation der DuA-Aktivitäten durch Marketingbegriffe wie „Digitale Transformation“ oder auch „Industrie 4.0“ zu unterstützen ist sinnvoll, im Hintergrund müssen aber operative Detailanalysen und Planungen der DuA mitlaufen.
- Der Zugang eines Unternehmens zur DuA-Implementierung ist stark abhängig von der Unternehmenskultur und Umwelt. Daher sollte ein Bewertungsansatz wie das Bewertungsmodells dieser Dissertation als Strategiewerkzeug dienen, dessen Ergebnisse über die

²⁰⁴ Etwa eine Rohrpost in einer Büroumgebung

²⁰⁵ Diese Aktivitäten ergeben sich etwa aus dem Entwicklungsbedarf-Index auf Attributsebene Modells.

Entscheidungsträger des Unternehmens in nachhaltige DuA-Aktivitäten überführt werden müssen. Die Definition von DuA-Handlungsfeldern, ohne der nachfolgenden Planung und Budgetierung eines operativen DuA-Programmes²⁰⁶, führt zu keinen zufriedenstellenden Resultaten führt.

- Die Anwendung eines DuA-Bewertungsmodells in Produktionsunternehmen ist nur in Verbindung mit einer engen Betreuung und Beratung des Unternehmens durch externe Fachexperten sinnvoll. Denn ein Bewertungsmodells vermag zwar die Bewertung und Priorisierung von DuA-Handlungsfeldern, beinhaltet jedoch nur eine Bewertung der Relevanz der Handlungsfelder durch das Unternehmen selbst. Die externen Fachexperten müssen über Workshops und Aufklärung sicherstellen, dass das Unternehmen die operativ sinnvollsten DuA-Lösungen weiterverfolgt.
- Die Operationalisierung der DuA-Bewertung wird durch die aufwendbaren Bewertungs-Ressourcen des Unternehmens natürlich begrenzt. Die exponentiell wachsende Zahl erforderlicher Bewertungsattribute bei steigender Operationalisierung führt zu einer Ressourcenbeanspruchung im Unternehmen, welche den Nutzen der Bewertungsergebnisse übersteigen kann. Somit bedeutet die maximale Operationalisierung der Bewertung nicht automatisch einen höheren Nutzen für das anwendende Unternehmen. Der Operationalisierungsgrad des entwickelten Modells stellt unter Betrachtung der erforderlichen Zeit zur Anwendung einen guten Kompromiss zwischen Aufwand und Nutzen dar.
- Die zu definierende Balance zwischen möglichst universeller Anwendbarkeit von Bewertungsmodellen und deren praktischer und operativer Anwendbarkeit wird in der wissenschaftlichen Literatur nicht ausreichend behandelt. Die Festlegung des Operationalisierungsgrades eines Bewertungsmodells stellt somit, neben der Eingrenzung des Untersuchungsbereiches, die wichtigste Modelleigenschaft dar. Daher findet sich in fehlenden Methoden zur systematischen Festlegung des Operationalisierungsgrades, sowie im fehlenden Untersuchungen der Auswirkung unterschiedlicher Operationalisierungsgrade eine Forschungslücke.
- Bewertungen, welche eine Einordnung auf qualitativen oder quantitativen Skalen erfordern, weisen zwingend einen subjektiven Bewertungsanteil auf. Die Entwicklung von quantitativen Skalen zur Bewertungsobjektivierung trägt zwar positiv zur wahrheitsgemäßen Abbildung der Realität bei, stößt jedoch aufgrund irrationalen Bewertungsverhaltens der Teilnehmer an natürliche Grenzen. Als Resultat dieses inhärenten Problems von Eigenbewertungen müssen etwa Digitalisierungsstudien, welche auf Eigenbewertungen der Teilnehmer beruhen, stets mit Vorsicht und Reflektion behandelt werden.
- Die Vergleichbarkeit zwischen DuA-Bewertungen mit verschiedenen Bewertungsfragen oder Messskalen (qualitativ, quantitativ) ist nicht gegeben. Der Vergleich durchgeführter DuA-Bewertungen zeigt, dass kleine Abweichungen zwischen Fragestellungen oder definierten Messskalen zu großen Abweichungen der Reifegrade führen können. Die Ableitung von Aktivitäten aus dem Vergleich verschieden gearteter Studien kann zu

²⁰⁶ DuA-Programm ohne zeitlicher Begrenzung im Vergleich zu einem DuA-Projekt

falschen und ineffizienten Maßnahmen führen. Es wird geraten nur gleichartige und übergreifende Bewertungen über Stichproben (Unternehmen, Branche oder Land) heranzuziehen.

Diese Erkenntnisse des Dissertanten sollen anderen Wissenschaftlern in diesem Themenfeld und Praktikern in Unternehmen als Hilfestellung zur Erforschung und Umsetzung der DuA dienen.

Vorstellungen, Diskussionen und Validierungen der Dissertationinhalte haben kontinuierlich zur Reflektion möglicher zukünftiger Entwicklungen in diesem Forschungsfeld beigetragen, welche folglich in einem Ausblick zusammengefasst werden.

Seit Beginn der Forschungsarbeit im Bereich der DuA-Bewertung (zu Beginn in Form von Industrie 4.0-Bewertungen), wurde eine Vielzahl an Bewertungsansätzen, Modellen und Tools entwickelt und bereitgestellt. Die Entwicklung dieses Bewertungsmodells stellt aufgrund seiner quantitativen Messskala und Aufbau als Kennzahlensystem eine Weiterentwicklung dieser Ansätze dar. Aufgrund des nach wie vor hohen zeitlichen Aufwandes für die Durchführung der Bewertung, sowie fehlendem automatischen Monitoring der Umsetzung ist hier ein nächster Entwicklungsschritt abzusehen. DuA-Bewertungen werden aus Sicht des Dissertanten zukünftig über vollständig automatisch erhebbare Reifeattribute und KPIs durchgeführt. So ist etwa die Messung des Digitalisierungsgrades über die Echtzeitmessung von Datenströmen in Kbit, oder die Messung des Automatisierungsgrades über die Auslese von Bewegungsdaten der Mitarbeiter aus körpernahen Sensoren, ein denkbarer Zugang zur Messung der DuA-Implementierung. Manuellen Erhebungen von Reifeattributen kommt damit in zukünftigen Bewertungsmodellen eine kleiner werdende Rolle zu.

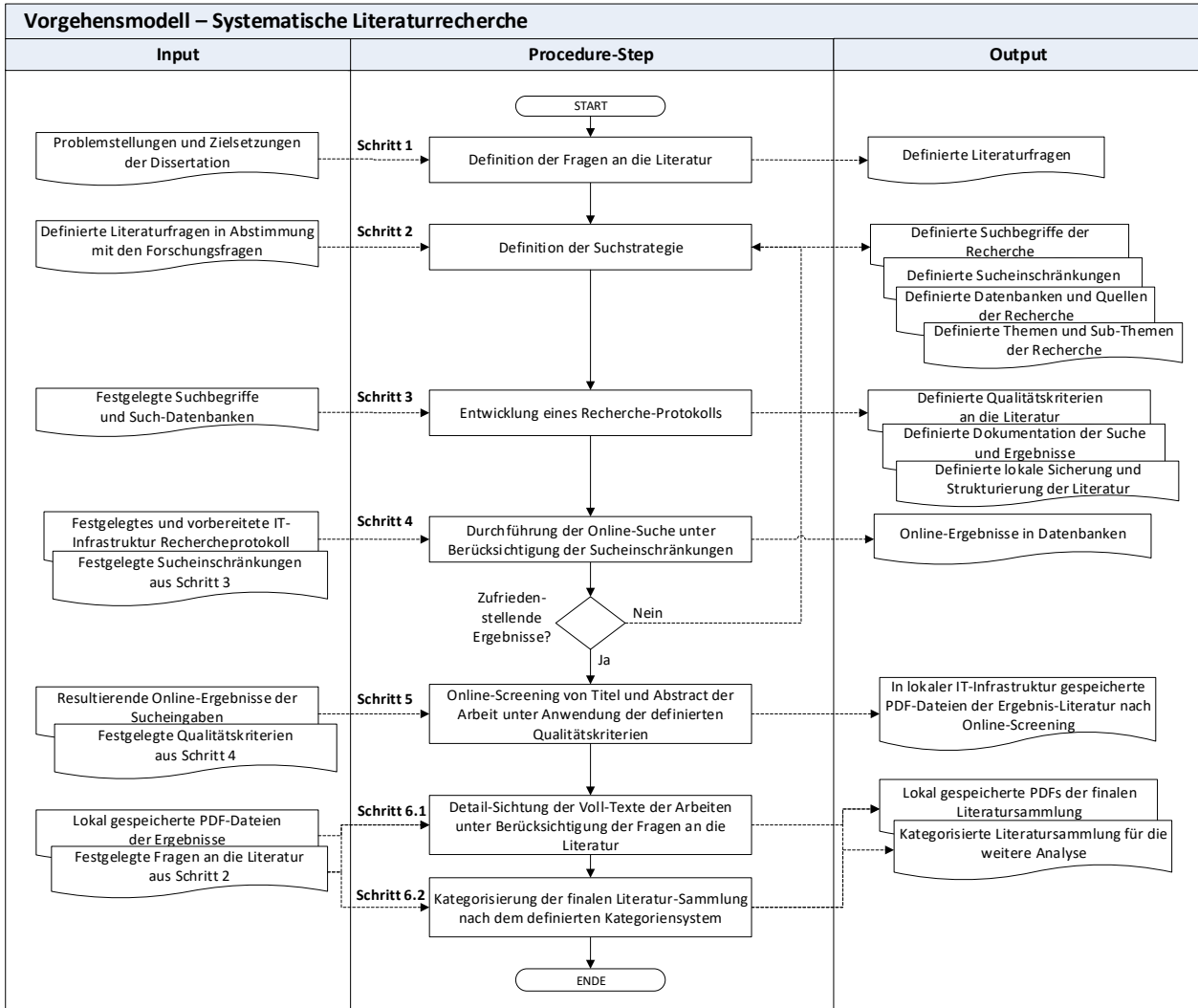
Im Zuge der Bearbeitung der Dissertation wurde das Bewertungsmodell wiederkehrend auf seine Fähigkeit zur Bewertung von digitalen Mitarbeiterkompetenzen hinterfragt. Zwar wird der Mitarbeiter in der Bewertung umfassend berücksichtigt, doch wird die Messung digitaler Kompetenzen nur indirekt über die Abfrage von Schulungsmaßnahmen oder dem Einsatz von Qualifikationsdatenbanken für Digitalkompetenzen abgebildet. Die Erhebung und Bewertung von digitalen Mitarbeiterkompetenzen werden aus Sicht des Dissertanten in den kommenden Jahren eine immer wichtigere Rolle spielen. Da das technologische Potential ohne kompetente Bediener nicht gehoben werden kann und somit berechnete ROIs nicht zu tragen kommen.

Als letztes Zukunftsbild wird die Problemstellung aus der Einleitung der Dissertation aufgegriffen. Diese beschreibt das Fehlen empirischer Belege für die positive Auswirkung der DuA auf Unternehmensebene. In dieser Dissertation wurde eine einleitende empirische Analyse durchgeführt, welche jedoch aufgrund der Studienstruktur nur erste Indikationen liefert. Die steigende Notwendigkeit, strategische Entscheidungen in Unternehmen mit Daten zu belegen, führt auch im Bereich der DuA zur Notwendigkeit empirischer Analysen und Nutzenbelege. Somit wird in der Durchführung umfassender Longitudinal- und Querschnittstudien zum Nachweis positiver Effekte der DuA auf die Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität von Unternehmen ein wichtiger nächster Schritt gesehen.

Teile hier beschriebener Herausforderungen im Forschungsfeld der DuA-Bewertung bzw. der strategischer DuA-Planung werden in die zukünftige Forschungsagenda des Dissertanten aufgenommen. Mit diesem Ausblick wird die Dissertation geschlossen.

9 Anhang

9.1 Vorgehensmodell zur Durchführung der systematischen Literaturrecherche



9.2 Suchprotokolle State of the Art Recherche

Google Scholar

Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen		
ST_01	EN	10.05.2019	"Degree of Digitalization"	Search in: Any field Refine your search: No Citations, No Patents Time: 2000 - Present	224	17		
ST_02			"Degree of Digitization"		0	0		
ST_03			"digitalization of production process"		2	0		
ST_04			"digitalization production process"		0	0		
ST_05			"digital maturity"		39	16		
ST_06			"digitalized manufacturing"		96	7		
ST_07			"digital transformation" of manufacturing"		10	1		
ST_08			"digitalisierung und prozesse"		0	0		
ST_09			DE			Digitalisierung UND Prozesse		54
ST_10	ENG	10.05.2019	Performance AND production process	Search in: All fields Time: 2000 - Present	3270000	2		
ST_11			"production performance"		95700	0		
ST_12			effects on production performance		4160000	0		
ST_13			"measuring performance of production processes"		3	1		
ST_14			"process performance production"		67	0		
ST_15			measuring production process performance		4310000	0		
ST_16			"measuring manufacturing performance"		1460	12		
ST_17			"performance of manufacturing process"		95	1		
ST_18			"performance measurement of production processes"		1	0		
ST_19	ENG	11.05.2019	"Digital Maturity"	Search in: All fields Time: 2000 - Present	241	13		
ST_20			"Digital Readiness"		298	7		
ST_21			"Digital Transformation"		6880	7		
ST_22	DE		"Digitalisierungsgrad"		263	11		
ST_23			Digitalisierung UND Prozesse		14600	0		
ST_24			"Reifegradmodell"		1270	3		
ST_25			"Digital Maturity Model"		19	5		
ST_26	ENG		11.05.2019		Digitalization	Search in: Title; Time: 2017-2019	574	12
ST_27					"Measuring digitalization"	1	0	
ST_28		Measuring digitalization		Search in: Title; Time: 2000-2019	6	0		
ST_29		digitalization value creation		13	2			
ST_30		digitalization AND organization		7	0			
ST_31		degree of digitalization		Search in: Title; Time: 2017-2018	3	0		
ST_32		digitalization of production		15	2			
ST_33		measuring automation		89	2			
ST_34		"measuring automation"		Search in: Title; Time: 2000-2018	0	0		
ST_35		"degree of automation"		19	0			
ST_36		measuring digitization		13	1			
ST_37	degree of digitization	1	0					
Summe					11862063	130		

Springer Link

Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen
ST_09	ENG	13.05.2019	Degree AND Digitalization	Refine your search: Chapter, Article, Reference Work Entry Discipline: Engineering - Production Engineering Time: 2000 - Present	103	11
ST_10			Digitalization AND Value Chain		85	1
ST_11			Digitalization AND Value Creation		71	0
ST_12			Digitalization AND Value Stream		39	0
ST_13			Digitalization AND Production		123	0
ST_14			Digitalization AND Manufacturing		97	0
ST_15			Degree AND Digitization		82	0
ST_16			Digitization AND Value Creation Chain		53	4
ST_17			Digitization AND Value Creation		91	2
ST_18			Digitization AND Value Stream		51	0

ST_19		Digitization AND Production	234	2
ST_20		Digitization AND Manufacturing	220	4
ST_28		"Degree of Automation"	233	3
ST_29		Degree AND Automation AND Value Creation	56	8
ST_31		Automation AND Value Stream	87	1
ST_32		"Automation of Production"	5	1
ST_33		"Automation of Manufacturing"	8	0
ST_34		value stream	355	5
ST_35		"value stream analysis"	4	1
ST_36		value stream mapping	113	0
ST_37		maturity AND model AND digital	14	1
ST_38		maturity AND model AND automation	19	3
ST_39		digital AND maturity	14	0
ST_40		digital AND readiness	8	0
ST_44		automation AND key performance measures	65	1
ST_46		digitization AND performance	219	5
ST_48		digitization AND efficiency	181	1
ST_49		automation AND "efficiency of production"	61	5
Summe			2691	59

Taylor and Francis

Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen
ST_09	ENG	03.06.2019	Degree AND Digitalization	Refine your search: In Everything Discipline: Engineering & Technology All contents Time: 2000 - Present	289	23
ST_10			Digitalization AND Value Chain		112	3
ST_11			Digitalization AND Value Creation		244	5
ST_12			Digitalization AND Value Stream		3	0
ST_15			Degree AND Digitization		0	0
ST_16			Digitization AND Value Creation Chain		355	6
ST_17			Digitization AND Value Creation		4	0
ST_18			Digitization AND Value Stream		1	0
ST_19			Digitization AND Production		41	0
ST_20			Digitization AND Manufacturing		67	16
ST_28			"Degree of Automation"		228	15
ST_29			Degree AND Automation		176	17
ST_31			Automation AND Value Stream		13	2
ST_32			Automation AND Production		23	7
ST_33			Automation AND Manufacturing		58	8
ST_37			maturity AND model AND digital		4	1
ST_38			maturity AND model AND automation		5	3
ST_39	digital AND maturity	1	0			
ST_40	digital AND readiness	13	0			
ST_44	automation AND key performance measures	39	0			
ST_50	ENG	04.06.2019	automation AND digitization	engineering and technology, economics, finance, business and industry	340	0
ST_51			shopfloor automation	engineering and technology, economics, finance, business and industry	103	0
ST_52			shop floor	engineering and technology	271	3
ST_53			production and automation	industrial engineering and manufacturing, 2006-2016	9355	1
ST_54			industry 4.0 AND digitization	engineering and technology, 2006-2016	108	5
ST_55			industry 4.0	-	64	1
ST_56			automation and production process	engineering and technology, 2006-2016	1768	5
ST_57			value stream AND automation	2006-2016	240	8
ST_58			smart factory	-	18	5
Summe					14106	135

Web of Knowledge

Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen
ST_01	ENG	18.06.2019	manufacturing AND digitization	Categories: Automation, Control Systems or Engineering Manufacturing or Engineering Mechanical Topic, since 2006, sort by relevance	54	2
ST_02			automation AND digitization		89	2
ST_03			shop floor		90	7
ST_04			Industrial and digitization		1334	2
ST_05			production and automation		3094	11
ST_06			industry 4.0		125	9
ST_07			industry 4.0 AND production process		176	2
ST_08			automation and production process		1823	0
ST_09			value stream AND automation		42	0
ST_10			smart factory		54	2
ST_11	ENG	19.06.2019	"Smart Factory" OR "digitalization" AND TOPIC: "automation" OR "digitalization" OR "Manufacturing")		64	5
ST_12			"Smart factory" OR "Smart Product" OR "Smart Production" OR "Smart Manufacturing"		89	3
ST_13			"Cyber-Physical Systems" OR "CPS") AND "manufacturing" AND "automation"		102	3
ST_14			"modular factory" OR "Flexible Production") AND "automation"		34	5
Summe					7170	53

Emerald Insight

Such-ID	Sprache	Datum	Suchbegriff	Suchfilter	Resultate nach Begriffseingabe	Download Publikationen
ST_01	ENG	27.06.2019	manufacturing AND automation	Field: Engineering 2006-2016	4877	16
ST_02			manufacturing AND digitization		77	3
ST_03			automation OR digitization		46	1
ST_04			"shopfloor automation"		5	4
ST_05			shop floor and automation		106	18
ST_06			shopfloor digitization		53	1
ST_07			Industrial and digitization		59	1
ST_08			production and automation		1376	9
ST_09			automation and production process		1191	2
ST_10			value stream AND automation		112	2
ST_11			smart factory		98	5
Summe					8000	62

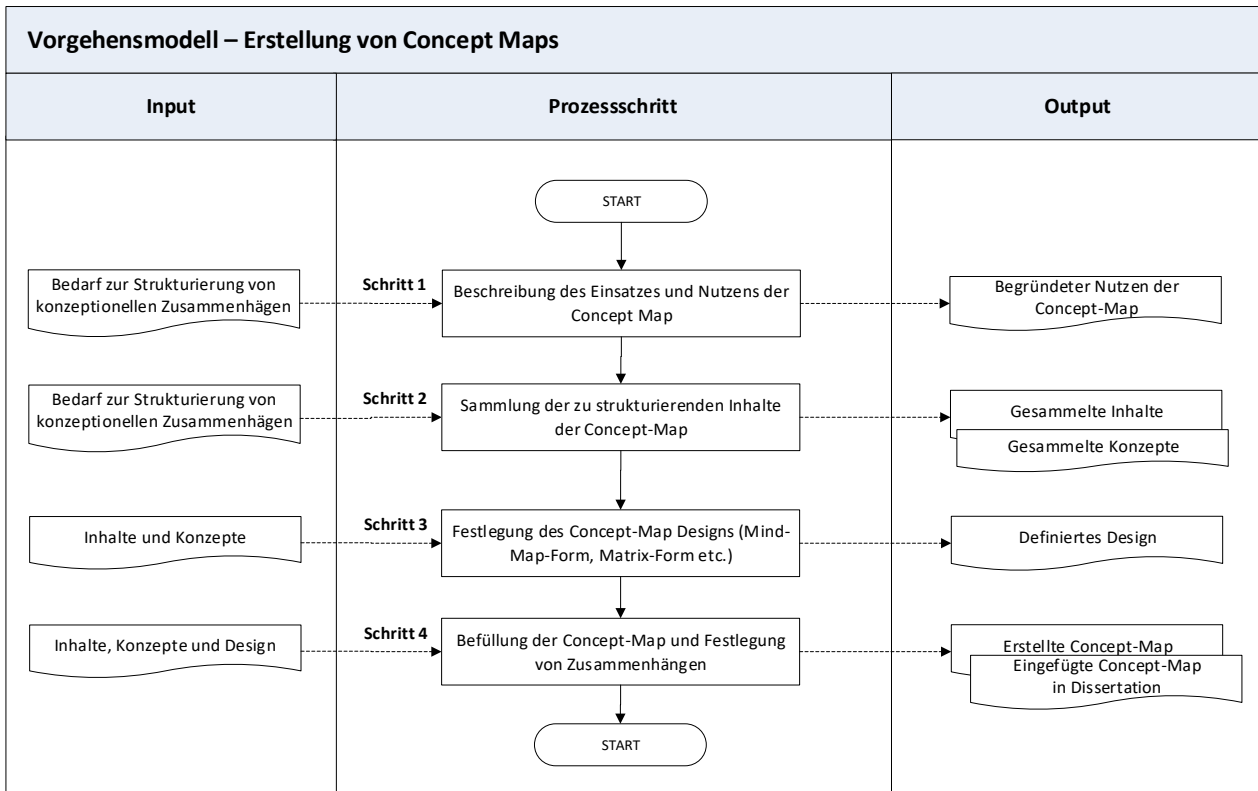
9.3 Übersicht Rechercheergebnisse DuA-Onlinebewertungstools

ID	Titel des Assessments bzw. des Benchmarkings	Jahr	Autoren/Institution (voller Name)	URL zum Assessment bzw. des Benchmarking	Art der Bewertung	Themenschwerpunkt Assessments bzw. des Benchmarkings
1	Digitalisierungsindex	2016	techconsult	https://benchmark.digitalisierungsindex.de/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
2	Online DMA	2018	BABEG, FH Kärnten	http://www.smartindustry-carinthia.at/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
3	Online Self-Check	2018	Input Business Partner	https://i-b-partner.ch/surveyform/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
4	DOI-Benchmark-Tool	2018	FP-Francotyp	https://www.fp-francotyp.com/fpbenchmark	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
5	Digitalisierungsindex	-	Limendo Unternehmensberatung	https://limendo.com/digitalisierungs-index/	Self-Assessment	Digitalisierung
6	Digi Check	2018	Cosmo Consult	https://at.cosmoconsult.com/digitalisierungsscheck/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
7	Digital Readiness Check	-	Hannover IT	https://hannoverit.de/digital-readiness-checks/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
8	Digital@EVU	2018	bdew	https://www.bdew.de/energie/digitalisierung/digitalevu/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
9	DAOMI	2018	mindlab	https://www.mindlab.de/daomi-self-assessment/?CMPID=b44e6e3f2addc9fe40c08cc6300d618e	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
10	Readiness-Check	-	Kompetenzzentrum Kaiserslautern	http://www.ita-befragung.de/limesurvey/index.php/675886?lang=de/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
11	Online-Check	-	abas	https://abas-erp.com/de/digitalisierung-test/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
12	Digitalisierung und Automatisierung im Unternehmen	-	absc	https://www.surveymonkey.de/r/QW79H9N	Benchmarking mit Anderen	Automatisierung
13	Industrie 4.0 Reifegrad Test	2019	connected production	https://www.connected-production.de/industrie-4-0-reifegrad-test/	Self-Assessment	Digitalisierung
14	Online-Self-Assessment	-	Engineering Business & Strategy Cons.	https://www.ind40.digital/	Benchmarking mit Anderen	Digitalisierung
15	Business Assessment	-	KPMG	https://atlas.kpmg.de/business-assessments/industrie-4-0-readiness-assessment.html	Self-Assessment	Industry 4.0
16	Industrie 4.0 Selbstcheck	-	IHK	https://ihk-industrie40.de/selbstcheck/	Self-Assessment	Industry 4.0
17	Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment	-	PWC	https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/	Self-Assessment	Digitalisierung

Anhang

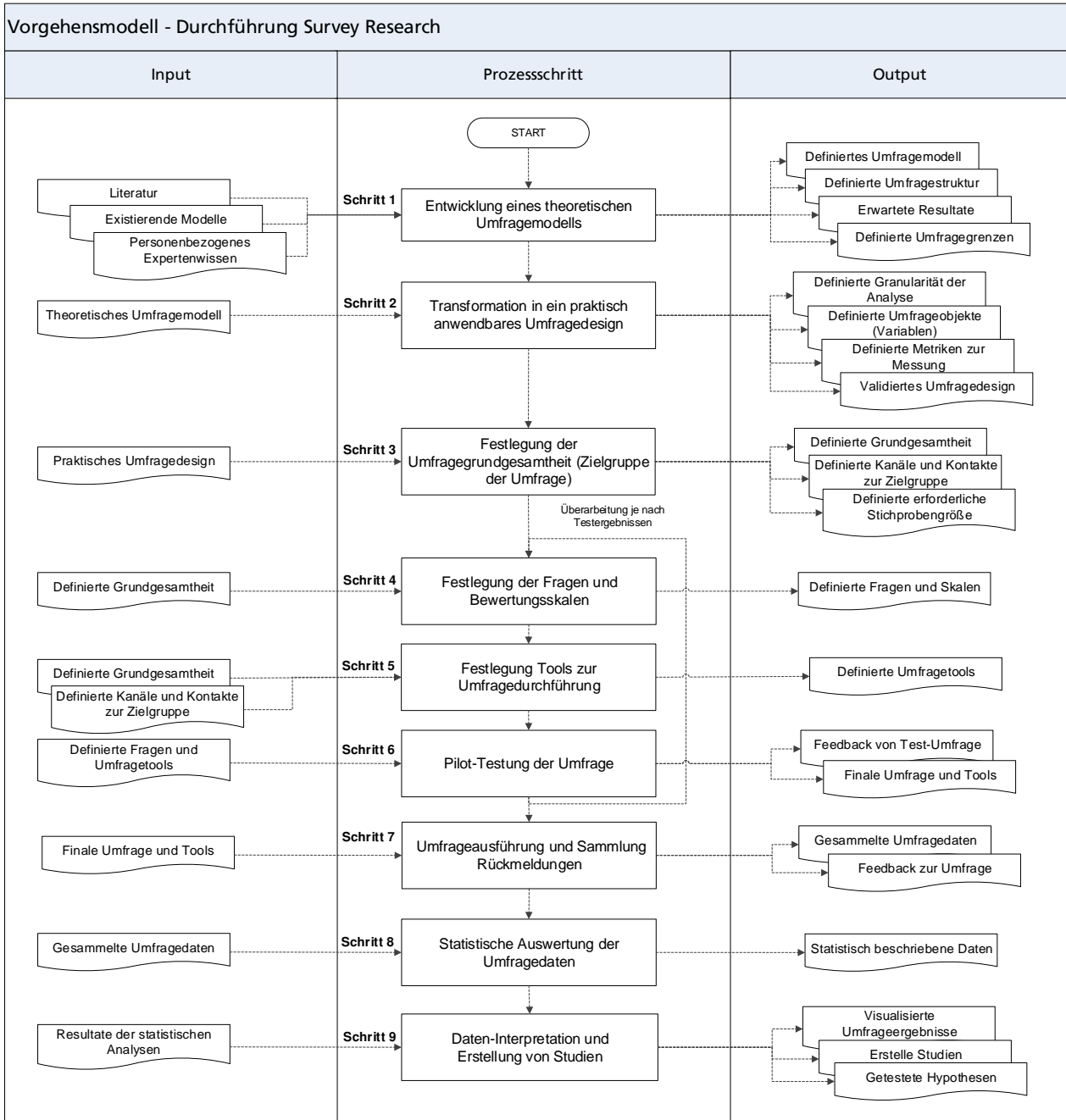
18	Industry 4.0 Quick Self-Assessment	-	TÜV Süd	https://www.tuvsud.com/en/i40-readiness-self-assessment	Self-Assessment	Industry 4.0
19	Industry 4.0 Readiness Check Survey	-	-	https://www.surveymonkey.com › AFindustry4	Self-Assessment	Industry 4.0
20	Online Self Assessment	-	Leuchter IT Solutions	https://www.leuchterag.ch/blog/self-assessment-tool-misst-digitalisierungsgrad/	Self-Assessment	Digitalisierung
21	Messen Sie Ihren Digitalisierungsgrad	-	Selfbits	https://selfbits.de/digitalisierungsgrad-assessment/	Self-Assessment	Digitalisierung
22	Self-Assessment-Fragebogen	-	punto impresa digitale	https://www.puntoimpresadigitale.camcom.it/selfdigitalassessment/index.php/797291?lang=de	Self-Assessment	Digitalisierung
23	Festo Industry 4.0 Quick-Check	-	Festo	https://ip.festo-didactic.com/I4.0QuickCheck/	Self-Assessment	Industry 4.0
24	MFI Digital Readiness Self-Assessment Tool	-	DRSAT	http://mfc.org.pl/digital-readiness-self-assessment-tool-drsat/	Self-Assessment	Digitalisierung
25	Digital Readiness Assessment (DRA)	-	2bahead	https://www.future.consulting/advisory/change-strategieentwicklung/digital-readiness-assessment/	Self-Assessment	Digitalisierung
26	Digital Business Transformation Assessment	-	Prosensit	https://www.surveymonkey.com/r/DMA1	Self-Assessment	Digitalisierung
27	Digital Readiness Test	-	Adamos	https://www.adamos.com/adamos-digital-readiness-self-assessment	Self-Assessment	Digitalisierung
28	Digital Readiness Assessment	-	EY	https://digitalreadiness.ey.com/	Self-Assessment	Digitalisierung
29	Industrie 4.0 Assessment	-	Reply	https://www.reply.com/en/topics/industrie-4-0/assessment	Self-Assessment	Industry 4.0
30	Industry 4.0 Assessment	-	Automation Alley	https://automationalley.com/Programs/ACT-40.aspx	Self-Assessment	Industry 4.0
31	Self Assessment Tool	-	CallaghanInnovation	https://www.callaghaninnovation.govt.nz/sites/all/files/Self-Assessment-Tool-May-2019_0.pdf	Self-Assessment	Industry 4.0
32	L&R Assessment-Tool (Workshop)	-	Lachmann & Rink	https://www.lachmann-rink.de/index.php/assessment-tool-i40.html	Self-Assessment	Industry 4.0

9.4 Vorgehensmodell zur Erstellung von Concept Maps



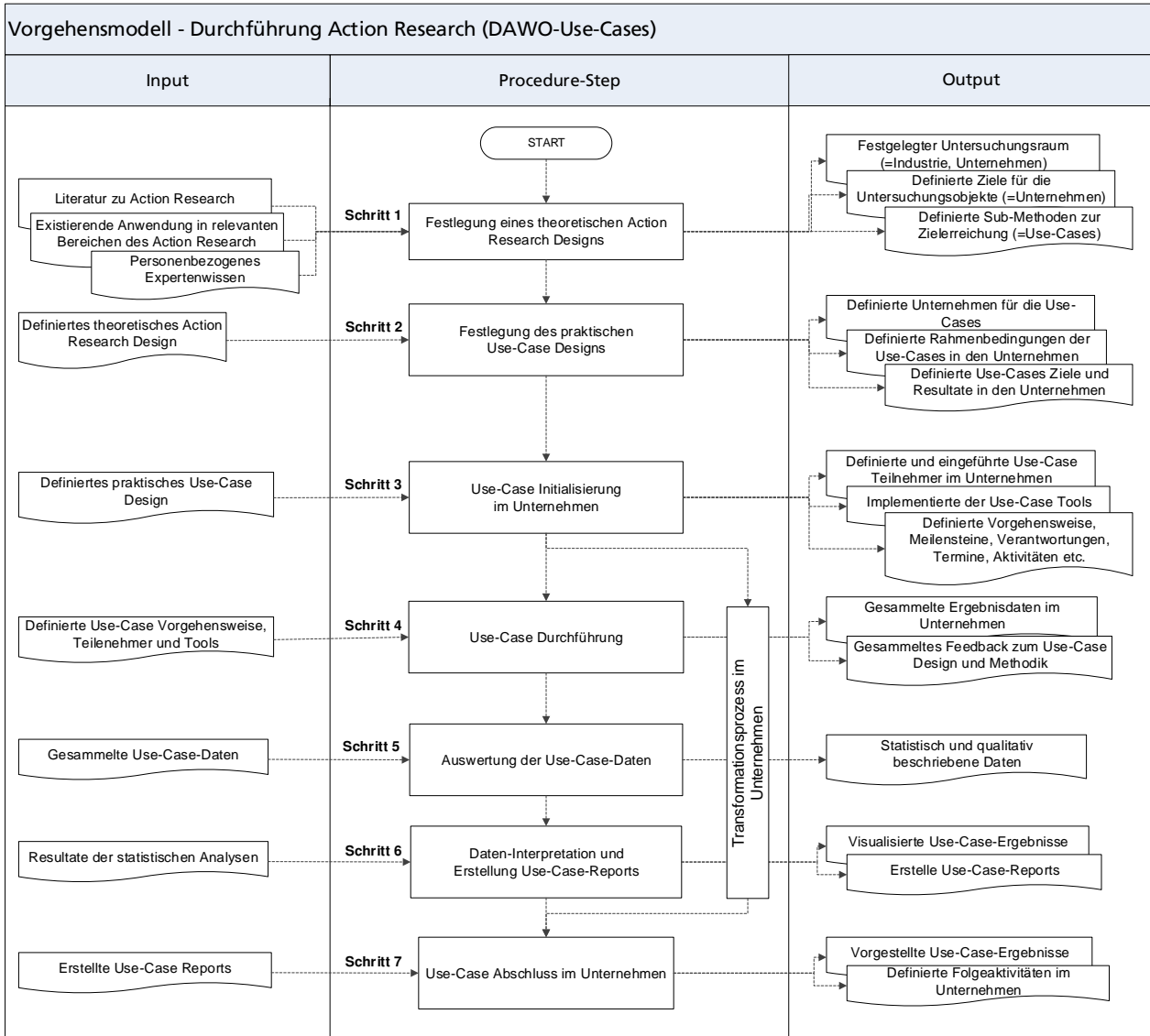
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9.5 Vorgehensmodell zur Durchführung des Survey Research



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9.6 Vorgehensmodell zur Durchführung des Action Research



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Dissertation ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this doctoral thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9.7 Rechercheergebnisse Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren

ID	Bezeichnung WuO-Faktor	Arbeitsdefinition und Beispiele (Literaturquellen wurden in Kapitel 6.3 bereits angeführt)
WF1	Wertschöpfungsnahe-mitarbeiter	Der Mensch wird als Teil einer Organisation gesehen, welches das planmäßige Zusammenwirken von Mensch und Betriebsmitteln vorsieht. Der Mensch bedient dabei manuelle/maschinelle Betriebsmittel, technische Vorrichtungen oder steuert, reguliert und kombiniert Wertschöpfungsschritte etwa in Produktion und Logistik Beispiele: Montagemitarbeiter, Logistikmitarbeiter, Fertigungsmitarbeiter am Shop Floor
WF2	Maschinen (inkl. Maschinenwerkzeuge)	Maschinen und Anlagen sind also Bearbeitungssysteme, die ein oder mehrere Verfahren unter Einsatz von Energie und Hilfsstoffen in technologisch sinnfälliger Folge ausführen können. Beispiele: CNC-Maschine, Lackiermaschine, Mischmaschine Flüssigkeiten, Roboter-Anlage
WF3	Handwerkzeuge	Ein Handwerkzeug ist ein Fertigungsmittel, das durch Relativbewegung gegenüber dem Werkstück unter Energieübertragung die Bildung seiner Form oder die Änderung seiner Form und Lage, bisweilen auch seiner Stoffeigenschaften bewirkt. Beispiele: Bohrmaschinen, Drehmomentschlüssel, Flüssigkeitsschöpfer
WF4	Haltevorrichtungen	Vorrichtungen sind Fertigungsmittel, dass Werkstücke während des formändernden Fertigungsverfahren in einer bestimmten Lage, zum Werkzeug gerichtet, fixiert. Sie sind auf einen bestimmten Arbeitsvorgang an einem bestimmten Werkstück abgestimmt. Beispiele: Steck-Vorrichtungen, Schraubstöcke, Halterungen
WF5	Mess- und Prüfmittel	Mess- und Prüfmittel sind Betriebsmittel, die bei der Durchführung von Fertigungsaufgaben zum Prüfen von Güte, Menge, Eigenschaften und Funktionen dienen, diese werden Betriebsmittel werden in bestimmten Zeitintervallen kalibriert, justiert, repariert und rekaliert. Beispiele: Schiebelehre, Ultraschallmessgerät Oberflächengüte, Ph-Messer, Thermometer
WF6	Verbrauchsmaterial	Hilfsstoffe, wie Schrauben, Nägel, Lack, Nähfaden sind Nebenbestandteile eines Produktes, da sie nur als Ergänzung in den Herstell- bzw. Fertigungsprozess eingehen. Daneben gibt es Betriebsstoffe für den kurzfristigen Gebrauch bzw. direkten Verbrauch. Diese Betriebsstoffe gehen höchstens mittelbar in ein Erzeugnis ein. Beispiele: Schmierstoffe, Lötzinn, Kleber, Nieten, Schrauben
WF7	Einrichtungsgestände	„Einrichtungsgegenstände werden keinem bestimmten Produktionsprozess zugeordnet. Man spricht von Potentialfaktoren ohne Abgabe von Werkverrichtung. Beispiele: Werktsche, Arbeitsstühle, Kästen, Beleuchtungsmittel
WF8	Lagervorrichtungen	Lagervorrichtungen umfassen jene unbeweglichen Objekte, welche das physische aufbewahren in logischen Einheiten ermöglichen. Beispiele: Lagerregale, Bereitstellungsflächen
WF9	Förderanlagen	Förderanlagen sind ortsfeste Maschinen, welche Güter über die Förderteile der Anlage bewegen, ohne die Maschine selbst mitzubewegen. Beispiele: Förderbänder, Hänge-Förderanlage, Rohrförderanlagen, Rollbänder, Spiralförderer

WF10	Förderfahrzeuge	Ein Förderfahrzeug ist ein Fördermittel innerhalb einer örtlich begrenzten und zusammenhängenden Betriebseinheit (z. B. innerhalb eines Werkes, eines Flughafens, eines Lagers). Beispiele: Gabelstapler, Ameisen, Routenzug, Fahrerloses Transportsystem, Transportplattformen
WF11	Ladungsträger	Ladungsträger sind Hilfsmittel, die eine Mechanisierung und Automatisierung im Material- und Güterfluss schaffen, indem sie logistische Einheiten von Gütern bilden. Beispiele: Kisten, Paletten, Hängevorrichtung, Kleinteilebehälter, Fässer
WF12	Verpackungen (Packmittel)	Ein Packmittel ist ein Erzeugnis aus Packstoff, das dazu bestimmt ist, das Packgut zu umhüllen oder zusammenzuhalten, damit es versand-, lager- und verkaufsfähig ist. Beispiele: Folien-, Karton-, Kunststoff-Verpackung
WF13	Produkte und Dienstleistungen	Beschreibt alle physisch greifbaren und immaterielle Güter welche als verkaufsfähiges Resultat aus dem Wertschöpfungsprozess entstehen. Beispiele: Halb- und Fertigerzeugnisse, Instandhaltungsleistungen, Beratungsleistungen
OF1	Software	Software zur Wertschöpfung beschreibt alle Programme, die ein Computer betreiben um Wertschöpfungsprozesse bei der Planung, Steuerung, Überwachung und Kontrolle zu unterstützen und relevante Daten zu verwalten und zu organisieren. Beispiele: ERP-, CRM-, SRM-, WMS-, MES-Software
OF2	Wertschöpfungsplanung & Steuerung	Beschreibt alle Tätigkeiten welche der Planung, Steuerung, Überwachung sowie Optimierung von Produktions- und Logistik-Prozessen dienen. Beispiele: Mitarbeiterinsatzplanung, Planung und Steuerung Fertigungsaufträge, Steuerung Materialversorgung, Szenarioanalysen Produktion
OF3	Unternehmenssicherheit	Umfasst die Sicherstellung der Unternehmens-Zielerreichung durch die Minimierung von internen und externen Risiken und Gefahren. Beispiele: Cyber-Security, Arbeitssicherheit, Mitarbeiter-Gesundheit
OF4	Unternehmenspartnerkontakt	Interaktion, Integration und Austausch mit externen Dienstleistern, Lieferanten und Stakeholdern Beispiele: Rohstofflieferanten, Logistik-Partner, Andere Unternehmen derselben Gruppe, Externe Dienstleister
OF5	Kundenkontakt	Interaktion, Integration und Austausch mit bestehenden Beziehern von Produkten und Dienstleistungen des Unternehmens Beispiele: Kontakt per Telefon, Webseiten, persönlicher Kontakt vor-ort
OF6	Organisations-Mitarbeiter	Beschreibt Mitarbeiter mit Fokus auf die administrative Personalarbeit bzw. Führungsarbeit ohne direkte Anteile in der Wertschöpfung. Beispiele: Produktionsplaner, Vertriebsmitarbeiter, Management-Mitarbeiter, Controller
OF7	Strategie & Führung	Beschreibt die mittel-, -kurz, und langfristige Planung der Unternehmensaktivitäten sowie damit verbundenen Entscheidungs-, Steuerungs-, und Kontrollprozesse zur Erreichung der definierten Ziele. Beispiele: Unternehmensvision und Mission, Strategieziele, Roadmaps
OF8	Standards	Umfasst alle Regeln und Festlegungen im technischen, prozessualen und organisatorischen Unternehmensbereichen zur Vereinheitlichung von Systemen und Arbeitsweisen. Beispiele: Technologiestandards, Mitarbeiterstandards, Qualitätsstandards

9.8 Übersicht Relationsmodell

DuA-Eigenschaften		Organisationsfaktoren								Wertschöpfungsfaktoren												
		Standards	Strategie	Orga-MA	Produkte	Sicherheit	Kunden	PPS	Lieferanten	Software	Maschinen	Handwerkzeuge	Mess- und Prüfmittel	Förderanlagen	Lagerinfrastruktur	Packmittel	Haltevorrichtungen	Verbrauchsmaterial	Einrichtung	Ladungsträger	Wertsch.-MA	Förderfahrzeuge
Informationsprozesse	Digitale Information	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	7	9	10	8	4	9	4	7	8	9	10
	Echtzeitnaher Informationsaustausch	8	8	4	10	4	7	10	7	10	9	7	10	7	8	4	10	2	5	9	4	9
	Automatische Informationssammlung	10	9	6	10	4	9	10	9	10	9	9	10	7	9	6	10	2	8	10	6	10
	Automatische Informationsbereitstellung	10	8	10	8	4	10	10	10	10	9	6	7	9	9	4	7	1	6	6	10	8
	Automatische Informationsverarbeitung	10	6	1	10	4	10	10	10	10	8	9	9	10	8	3	9	1	8	8	1	9
Physische Prozesse	Automatische Objekterkennung	7	6	5	6	10	4	4	4	1	9	10	7	7	10	7	7	8	6	10	5	6
	Automatische Objektverfolgung	7	5	5	7	8	1	3	2	1	3	6	5	7	10	6	5	2	2	10	5	10
	Automatische Objektmanipulation	7	8	3	5	8	1	2	1	1	8	4	3	10	10	3	3	8	9	8	3	10
	Automatische Objektzustandsüberwachung	8	9	7	10	10	2	5	1	1	9	8	6	6	9	4	6	3	6	10	7	7

9.9 Liste der 143 Bewertungsattribute

Dimension	Frage	Attributstitel
D1	D1.01	Investitionsbudget zur Erhöhung des Gesamt-DA-Grades
D1	D1.02	Standardisierte Aufwand-Nutzen-Bewertungsmethode für DA-Investitionen
D1	D1.03	Wiederkehrende Nutzenbewertung von umgesetzten DA-Lösungen
D1	D1.04	Monetäre Bewertung von gesammelten Daten als Unternehmensressource
D1	D1.05	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten
D1	D1.06	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des Digitalisierungsgrades
D1	D1.07	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der Digitalisierungs-Aktivitäten
D1	D1.08	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des Automatisierungsgrades von Shop Floor-Prozessen
D1	D1.09	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der Automatisierungsaktivitäten von Shop Floor-Prozessen
D1	D1.10	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte Shop Floor-Daten
D1	D1.11	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des Automatisierungsgrades von Prozessen in Support-Bereichen
D1	D1.12	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der Automatisierungsaktivitäten von Prozessen in Support-Bereichen
D1	D1.13	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte externe Daten
D1	D1.14	Bereitstellung definierter DA-Standards für alle Mitarbeiter
D1	D1.15	Kompetenz-Erhöhung der Führungskräfte für die Nutzung von Daten als Unternehmensressource
D1	D1.16	Kompetenz-Erhöhung der Führungskräfte für die Mitarbeiterführung im digitalen Arbeitsumfeld
D1	D1.17	Interne Kommunikation aktueller DA-Aktivitäten an Mitarbeiter
D2	D2.01	Verfolgung einer Strategie zur Entwicklung digitaler oder datenbasierter Zusatzleistungen zu physischen Produkten
D2	D2.02	Angebot digitaler oder datenbasierter Zusatzleistungen zu physischen Produkten
D2	D2.03	Umsatzgenerierung mit digitalen und datenbasierten Zusatzleistungen zu physischen Produkten
D2	D2.04	Definition Umsatz-Jahresziele mit digitalen oder datenbasierten Zusatzleistungen zu physischen Produkten
D2	D2.05	Verfolgung einer Strategie zur Digitalisierung des Kundenkontaktes
D2	D2.06	Kompetenz-Erhöhung der kundennahen Mitarbeiter für den digitalen Kontakt mit Unternehmenskunden
D2	D2.07	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Digitalisierungsgrades des Kundenkontaktes
D2	D2.08	Automatische Auswertung der Metadaten über digitale Kundenkontakt-Ereignisse
D2	D2.09	Automatische Auswertung von Inhalten der Kundenkommunikation
D2	D2.10	Möglichkeit für Kunden die eigene Bestellung von Produkten und Dienstleistungen selbstständig online abzuwickeln
D2	D2.11	Möglichkeit für Kunden Produkte und Dienstleistungen selbstständig online zu individualisieren

Anhang

D2	D2.12	Online Echtzeit-Einsicht des Produkterzeugnisstatus für Kunden
D2	D2.13	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte kundenbezogene Daten
D2	D2.14	Digitaler Fernzugriff auf Produkte während der Nutzung bei Kunden
D2	D2.15	Automatische Datensammlung über den Produktzustand eigener Produkte bei Kunden
D2	D2.16	Automatische Datensammlung über das Produkt-Nutzungsverhalten der Kunden
D2	D2.17	Automatische Erstellung der Absatzplanung für Produkte und Dienstleistungen
D3	D3.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung der digitalen Arbeitsabwicklung der WS-Mitarbeiter
D3	D3.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des digitalen Informationsaustausches zwischen WS-Mitarbeitern
D3	D3.03	Implementierung von Unternehmens-Standards für die Nutzung von digitalen Kommunikationskanälen durch WS-Mitarbeiter
D3	D3.04	Standard-Ausstattung der WS-Mitarbeiter mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)
D3	D3.05	Systematische Erhebung der DA-Mitarbeiterkompetenzen der WS-Mitarbeiter
D3	D3.06	Digitale Sammlung und Verwaltung der DA-Mitarbeiterkompetenzen von WS-Mitarbeitern
D3	D3.07	DA-Kompetenz-Erhöhung der WS-Mitarbeiter
D3	D3.08	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der DA-Kompetenzentwicklung der WS-Mitarbeiter
D3	D3.09	Definition messbare Jahresziele zur Erhöhung der DA-Kompetenzen von WS-Mitarbeitern
D3	D3.10	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte Mitarbeiterdaten von WS-Mitarbeitern
D3	D3.11	Datensammlung über den physischen Belastungszustand von WS-Mitarbeitern am Shop Floor
D3	D3.12	Datensammlung über den Mitarbeiterort von WS-Mitarbeitern am Shop Floor
D3	D3.13	Automatische Überwachung der ergonomischen Körperhaltung bei der Arbeitsverrichtung von WS-Mitarbeitern
D3	D3.14	Physische Unterstützung der WS-Mitarbeiter über digitalgesteuerte Assistenzsysteme
D3	D3.15	Automatische Anpassung von Shop Floor-Arbeitsplätzen an die Körpergröße der WS-Mitarbeiter
D4	D4.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung der digitalen Arbeitsabwicklung der Orga-Mitarbeiter
D4	D4.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des digitalen Informationsaustausches zwischen Orga-Mitarbeitern
D4	D4.03	Implementierung von Unternehmens-Standards für die Nutzung von digitalen Kommunikationskanälen durch Orga-Mitarbeiter
D4	D4.04	Standard-Ausstattung der Orga-Mitarbeiter mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)
D4	D4.05	Systematische Erhebung der DA-Mitarbeiterkompetenzen der Orga-Mitarbeiter
D4	D4.06	Digitale Sammlung und Verwaltung der DA-Mitarbeiterkompetenzen von Orga-Mitarbeiter
D4	D4.07	DA-Kompetenz-Erhöhung der Orga-Mitarbeiter
D4	D4.08	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der DA-Kompetenzentwicklung der Orga-Mitarbeiter
D4	D4.09	Definition messbarer Jahresziele zur Erhöhung der DA-Kompetenzen von Orga-Mitarbeitern
D4	D4.10	Kompetenz-Erhöhung der Orga-MA für die Nutzung von Daten als Unternehmensressource

Anhang

D4	D4.11	Verfolgung einer Datennutzungsstrategie für gesammelte Mitarbeiterdaten von Orga-Mitarbeitern
D4	D4.12	Datensammlung über den mentalen Belastungszustand von Orga-Mitarbeiter
D4	D4.13	Automatische Überwachung der ergonomischen Arbeitshaltung von Orga-Mitarbeitern
D4	D4.14	Automatische Anpassung von Büro-Arbeitsplätzen an die Körpergröße der Orga-Mitarbeiter
D5	D5.01	Verfolgung einer Strategie zur Digitalisierung und Automatisierung der PPS
D5	D5.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der DA-Aktivitäten der PPS
D5	D5.03	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten der PPS
D5	D5.04	Einsatz spezieller Softwarelösungen für die Durchführung der Produktionsplanung
D5	D5.05	Kompetenz-Erhöhung der PPS-Mitarbeiter für die digitale und automatisierte Planung und Steuerung der Produktion
D5	D5.06	Automatische Überführung von Kundenbestellungen in die Produktionsplanung
D5	D5.07	Automatische Durchführung der Produktions-Planungsschritte
D5	D5.08	Automatische Anpassung der Produktionsplanung an veränderte Input-Faktoren
D5	D5.09	Automatische Anpassung der echtzeitnahen Produktionsteuerung an veränderte Input-Faktoren
D5	D5.10	Lernfähigkeit der verwendeten Produktionsplanungs-Logik
D5	D5.11	Automatische Echtzeit-Auswertung gesammelter Sensordaten vom Shop Floor
D5	D5.12	Interne Echtzeit-Visualisierung des Produkterzeugnis-Status
D5	D5.13	Interne Echtzeit-Visualisierung Betriebsstatus von Arbeitsstationen in IT-Systemen
D5	D5.14	Interne Echtzeit-Visualisierung der Materialbestände an Arbeitsstationen in IT-Systemen
D5	D5.15	Automatische Steuerung der Materialversorgung am Shop Floor
D6	D6.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des DA-Grades der Produktionsprozesse am Shop Floor
D6	D6.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der digitalen Anbindung von Betriebsmitteln in Produktionsbereichen
D6	D6.03	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Automatisierungsgrades von Produktionsprozessen
D6	D6.04	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten von Produktionsprozessen
D6	D6.05	Automatischer Datenaustausch zwischen Produktionsmaschinen und übergeordneten IT-Systemen
D6	D6.06	Automatische Maschineneinstellung auf Basis übermittelter Produktionsaufträge aus IT-Systemen
D6	D6.07	Automatische Echtzeit-Maschineneinstellung auf Basis übermittelter Sensordaten von vorgelagerten Bearbeitungsprozessen
D6	D6.08	Automatischer Datenaustausch zwischen Werkstücken und übergeordneten IT-Systemen
D6	D6.09	Echtzeit-Überwachung des Erzeugnis-Ortes im Unternehmen
D6	D6.10	Automatische Echtzeit-Maschineneinstellung auf Basis Sensordaten von Werkstücken
D6	D6.11	Echtzeit-Visualisierung der Maschinenzustände in übergeordneten IT-Systemen

Anhang

D6	D6.12	Online-Einsicht des Zustandes eigener Produktionsmaschinen von außerhalb der Niederlassung
D6	D6.13	Online-Steuerung eigener Produktionsmaschinen von außerhalb der Niederlassung
D6	D6.14	Automatische Vorhersage von Maschinenausfällen über Prognosemodelle
D6	D6.15	Automatisiertes Handling der Werkstücke durch Produktionsmaschinen
D6	D6.16	Automatischer Datenaustausch zwischen elektrischen Handwerkzeugen und übergeordneten IT-Systemen
D6	D6.17	Implementierung von technischen Standards für die digitale Anbindbarkeit von Produktions-Betriebsmitteln
D6	D6.18	Implementierung von Standard-Prozessen für die Auswertung von gesammelten Daten aus Produktions-Betriebsmitteln
D7	D7.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung des DA-Grades der Logistikprozesse am Shop Floor
D7	D7.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der digitalen Anbindung von Betriebsmitteln in Logistikbereichen
D7	D7.03	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring des Automatisierungsgrades von Logistikprozessen
D7	D7.04	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten von Logistikprozessen
D7	D7.05	Automatischer Datenaustausch zwischen Logistik-Transportmittel und Förderanlagen mit übergeordneten IT-Systemen
D7	D7.06	Interne Echtzeit-Visualisierung der Lagerbereiche in IT-Systemen
D7	D7.07	Überwachung des Material-Ortes am Shop Floor
D7	D7.08	Echtzeit-Überwachung der Materialfüllstände an Arbeitsstationen
D7	D7.09	Automatische Qualitätskontrolle von angeliefertem Material
D7	D7.10	Automatisches Handling von Lagerobjekten in Lagern
D7	D7.11	Automatischer Materialtransport von Lagern zum Verbrauchsort
D7	D7.12	Automatischer Transport des Leerguts von Arbeitsplätzen zu Leergut-Sammelstellen
D7	D7.13	Automatische Verpackung von hergestellten Erzeugnissen
D7	D7.14	Online-Einsicht des Erzeugnis-Lagerstandes für Kunden
D7	D7.15	Automatische Überwachung des Produktzustandes nach Auslieferung bis zur Kundenannahme
D7	D7.16	Implementierung von technischen Standards für die digitale Anbindbarkeit von Logistik-Betriebsmitteln
D7	D7.17	Implementierung von Standard-Prozessen für die Auswertung von gesammelten Daten aus Logistik-Betriebsmitteln
D8	D8.01	Verfolgung einer Strategie zur Digitalisierung- und Automatisierung der Beschaffungsaktivitäten
D8	D8.02	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der DA-Aktivitäten der Beschaffung
D8	D8.03	Definition messbarer Jahresziele für DA-Aktivitäten der Beschaffung sowie des Lieferantenkontaktes
D8	D8.04	Kompetenz-Erhöhung der Beschaffungs-Mitarbeiter für die digitale und automatisierte Planung und Steuerung der Material-Beschaffung
D8	D8.05	Automatische Durchführung der Beschaffungsaktivitäten für Material
D8	D8.06	Automatische Findung und Festlegung von Einkaufspreisen für Material

Anhang

D8	D8.07	Lernfähigkeit der verwendeten Beschaffungsplanungs-Logik für Material
D8	D8.08	Online-Einsicht des Material-Lagerstandes für Lieferanten
D8	D8.09	Online-Einplanung Materiallieferungen durch Lieferanten
D8	D8.10	Automatische Risikoanalysen für Abweichungen bei Material-Lieferungen
D8	D8.11	Verfügbarkeit von Echt-Zeit-Informationen über den Material-Lieferort und Eintreff-Zeitpunkt
D8	D8.12	Automatische Durchführung der Beschaffungsaktivitäten für Leiharbeit
D8	D8.13	Automatische Zusammenführung von Lieferanten-Informationen aus Online-Quellen
D8	D8.14	Automatische Auswertung von digitalen Kommunikationsinhalten mit Lieferanten
D9	D9.01	Verfolgung einer Strategie zur Erhöhung der Cyber Security (CS)
D9	D9.02	Investitionsbudget für die Erhöhung der CS
D9	D9.03	Existenz eines Kennzahlensystems zum Monitoring der Aktivitäten zur Erhöhung der CS
D9	D9.04	Definition messbarer Jahresziele zur Erhöhung der CS
D9	D9.05	Implementierung von CS-Richtlinien für die Mitarbeiter-Nutzung von Unternehmens-IKT
D9	D9.06	Systematische Erhebung der Mitarbeiterkompetenzen für CS
D9	D9.07	Erhöhung allgemeiner Kompetenzen aller Mitarbeiter für die CS
D9	D9.08	Erhöhung spezieller Kompetenzen der IT-Mitarbeiter für die CS
D9	D9.09	Automatische Verhinderung von Mitarbeiterverstößen gegen CS-Richtlinien
D9	D9.10	Automatische Warnhinweise für Mitarbeiter bei Verstößen gegen CS-Richtlinien
D9	D9.11	Bewertung von Cyber-Risiken für digital angebundene Betriebsmittel am Shop Floor
D9	D9.12	Existenz individueller Maschinen-Firewalls auf Shop Floor-Ebene
D9	D9.13	Automatisches Monitoring der Betriebsmittel-Nutzung durch Mitarbeiter am Shop Floor
D9	D9.14	Erstellung von Notfallpläne für den Ausfall von Softwaresystemen
D9	D9.15	Existenz von Ersatz-Softwarediensten bei Ausfall von Softwaresystemen
D9	D9.16	Automatische Anpassung der CS-Richtlinien an Risiko-Veränderungen

9.10 Vorgehensmodell zur Modellanwendung in Einzelunternehmen

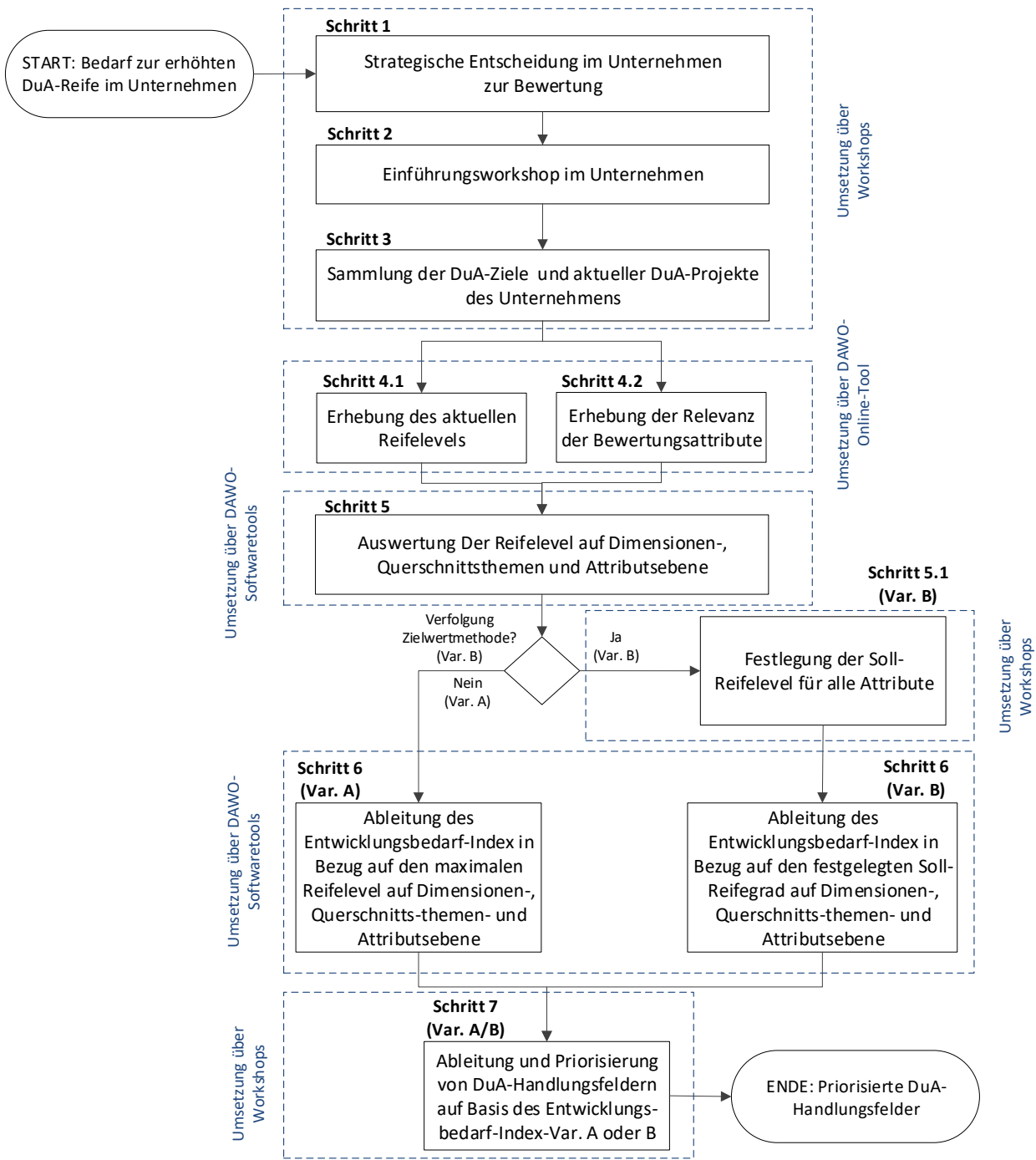


Abbildung 85: Vorgehensweise zur Anwendung des Modells (Eigene Darstellung)

10 Literaturverzeichnis

- Aguezzoul, Aicha (2014): Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods. In: *Omega* 49, S. 69–78. DOI: 10.1016/j.omega.2014.05.009.
- Ali, Nauman Bin; Petersen, Kai; Wohlin, Claes (2014): A systematic literature review on the industrial use of software process simulation. In: *Journal of Systems and Software* 97, S. 65–85. DOI: 10.1016/j.jss.2014.06.059.
- Atteslander, Peter (2006): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 11., neu bearb. u. erw. Aufl. Berlin: De Gruyter.
- Atteslander, Peter; Cromm, Jürgen (2008): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 12., durchges. Aufl. [Berlin]: E. Schmidt (ESV Basics).
- Azhari, Peyman; Faraby, Nilufar; Rossmann, Alexander; Steimel, Bernhard; Wichmann, Kai S. (2014): *Digital Transformation Report 2014*. neuland GmbH.
- Baller, Silja; Dutta, Soumitra; Lanvin, Bruno (2016): *The global information technology report 2016. Innovating in the digital economy*. Montreal, QC, CA: World Economic Forum (Insight Report).
- Barnir, Anat; Gallagher, John M.; Auger, Pat (2003): Business process digitization, strategy, and the impact of firm age and size: the case of the magazine publishing industry. In: *Journal of Business Venturing* 18 (6), S. 789–814. DOI: 10.1016/S0883-9026(03)00030-2.
- Bartholomew, David J.; Steele, Fiona; Moustaki, Irini; Galbraith, Jane I. (2002): *The analysis and interpretation of multivariate data for social scientists*. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC (Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science Series).
- Bauer, Waldemar (2013): *Forschungsprojekte entwickeln - Von der Idee bis zur Publikation*. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos (UTB, 4019).
- Becker, Jörg; Knackstedt, Ralf; Pöppelbuß, Jens (2009): Developing maturity models for IT management: A procedure model and its application. In: *Business & Information Systems Engineering* 1 (3), S. 213–222. DOI: 10.1007/s12599-009-0044-5.
- Beniger, James Ralph (1997): *The control revolution: Technological and economic origins of the Information Society*. 5. print. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Benkler, Yochai (2006): *The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom*. New Haven London: Yale University Press.
- Berghaus, Sabine; Back, Andreas (2016): Stages in digital business transformation: Results of an empirical maturity study. Conference: 10th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS), Paphos.
- Beverly, Hancock; Ockleford, Elizabeth; Windbridge, Kate (2007): *An introduction to qualitative research*. National Institute for Health Research.
- Blanchet, Max; Rinn, Thomas; von Thaden, Georg; de Thieulloy, Georges (2014): *Industry 4.0 - The new industrial revolution: How europe will succeed*. Roland Berger Strategy Consultants GmbH.
- BMBF Deutschland (2012): *Bericht der Bundesregierung - Zukunftsprojekte der Hightech-Strategie (HTS-Aktionsplan)*. Bonn-Berlin.
- Bogner, Eva; Voelklein, Thomas; Schroedel, Olaf; Franke, Joerg (2016): Study based analysis on the current digitalization degree in the manufacturing Industry in Germany. In: *Procedia CIRP* 57, S. 14–19. DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.004.

- Brasch, Cam-Mai; Köder, Kerstin; Rapp, Reinhold (2007): Praxishandbuch Kundenmanagement. Grundlagen, Fallbeispiele, Checklisten - nach dem ULTIMA-Ansatz. 1. Aufl. Weinheim: Wiley.
- Brynjolfsson, Erik; McAfee, Andrew (2014): The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. First Edition. New York: W. W. Norton & Company.
- De Carolis, Anna; Macchi, Marco; Negri, Elisa; Terzi, Sergio (2017): A Maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: Hermann Lödding, Ralph Riedel, Klaus-Dieter Thoben, von Cieminski, Gregor; Kiritsis, Dimitris (Hg.): Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing, Bd. 513. Cham: Springer International Publishing, S. 13–20.
- Castells, Manuel (2010): The rise of the network society - The information age: Economy, society, and culture volume I. 2nd ed., Chichester, West Sussex, Malden, MA: Wiley-Blackwell
- Colbe, Walther Busse; Laßmann, Gert (1988): Betriebswirtschaftstheorie. Band 1 Grundlagen, Produktions- und Kostentheorie. Vierte, überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Heidelberger Taschenbücher).
- Corsten, Hans (2007): Produktionswirtschaft. Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 11., vollst. überarb. Aufl.: München.
- Creswell, John W. (2003): Research design: Qualitative, quantitative, and mixed method approaches. 2nd ed. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications.
- Creswell, John W. (2014): Research design qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4a ed. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Creswell, John W.; Poth, Cheryl N. (2018): Qualitative inquiry and research design. Choosing among five approaches. 4. ed. Los Angeles, CA: Sage.
- Dekkers, Rob; Chang, C. M.; Kreutzfeldt, Jochen (2013): The interface between “product design and engineering” and manufacturing: A review of the literature and empirical evidence. In: International Journal of Production Economics 144 (1), S. 316–333. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.02.020.
- DIN ISO 8580 (2003): Fertigungsverfahren- Begriffe, Einteilung. ISO 2003:09.
- DIN ISO 6300 (2009): Vorrichtungen für die Fixierung der Lage von Werkstücken während formändernder Fertigungsverfahren - Benennungen und deren Abkürzungen. ISO 2009:04.
- DIN ISO 30781-1 (1989): Transportkette; Grundbegriffe. ISO 1989:05.
- Ellinger, Theodor; Haupt, Reinhard (1990): Produktions- und Kostentheorie. 2., neu bearb. Aufl. Stuttgart: Poeschel (Sammlung Poeschel, 111).
- Erlach, Klaus (2010): Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. 2., bearb. und erweiterte Aufl. Berlin, New York: Springer (VDI-Buch).
- Erol, Selim; Sihn, Wilfried; Schumacher, Andreas (Hg.) (2016): Strategic guidance towards Industry 4.0 - a three-stage process model. COMA 16: Global Competitiveness Centre in Engineering. Stellenbosch University.
- European Commission DESI-Index (2019a): The digital economy and society index (DESI). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>, zuletzt geprüft am 21.09.2019.
- Fasth, Åsa; Stahre, Johan; Dencker, Kerstin (2008): Measuring and analysing levels of automation in an assembly system. In: Mamoru Mitsuishi, Kanji Ueda und Fumihiko Kimura (Hg.): Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Bd. 30. London: Springer London, S. 169–172.

- Feldman, Tony (1997): An introduction to digital media. London, New York: Routledge.
- Fidel, Raya; Green, Maurice (2004): The many faces of accessibility: engineers' perception of information sources. In: *Information Processing & Management* 40 (3), S. 563–581. DOI: 10.1016/S0306-4573(03)00003-7.
- Fink, Arlene (2005): *Conducting research literature reviews: From the Internet to paper*. 2nd ed. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications.
- Fogliatto, Flavio S.; da Silveira, Giovani J.C.; Borenstein, Denis (2012): The mass customization decade: An updated review of the literature. In: *International Journal of Production Economics* 138 (1), S. 14–25. DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.03.002.
- Forno, Ana Julia Dal; Pereira, Fernando Augusto; Forcellini, Fernando Antonio; Kipper, Liane M. (2014): Value stream mapping: A study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 72 (5-8), S. 779–790. DOI: 10.1007/s00170-014-5712-z.
- Fowler, Floyd J. (2013): *Survey research methods*. Fifth edition. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc (Applied social research methods series).
- Framinan, Jose M.; Ruiz, Ruben (2010): Architecture of manufacturing scheduling systems: Literature review and an integrated proposal. In: *European Journal of Operational Research* 205 (2), S. 237–246. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.09.026.
- French, Wendell L.; Bell, Cecil (1978): *Organization development: Behavioral science interventions for organization improvement*. 2d ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Frohm, Jörgen; Lindström, Veronica; Winroth, Mats; Stahre, Johan (2008): Levels of automation in manufacturing. In: *Ergonomia - International Journal of Ergonomics and Human Factors* 30 (3).
- Ganzarain, Jaione; Errasti, Nekane (2016): Three stage maturity model in SME's toward Industry 4.0. In: *JIEM* 9 (5), S. 1119. DOI: 10.3926/jiem.2073.
- Geißler, Philip (2019): *Development of a relation model to determine the degree of implementation for digitalization of value-added processes*. Diplomarbeit betreut von Andreas Schumacher. Wien: TU Wien Publika.
- Gill, Martin; VanBoskirk, Shar (2016): *The digital maturity model 4.0. benchmarks: Digital business transformation playbook*. Forrester Research Inc..
- Gillespie, Tarleton; Boczkowski, Pablo J.; Foot, Kirsten A. (Hg.) (2014): *Media technologies: Essays on communication, materiality, and society*. The MIT Press.
- Gläser, Jochen; Laudel, Grit (2004): *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (UTB, 2348).
- Gleasure, Rob; Feller, Joseph; O'Flaherty, Brian (2012): Procedurally transparent design science research: A design process model. In: *Thirty Third International Conference on Information Systems*, S. 1–19.
- Gökalp, Ebru; Şener, Umut; Eren, P. Erhan (2017): Development of an assessment model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: Antonia Mas, Antoni Mesquida, Rory V. O'Connor, Terry Rout und Alec Dorling (Hg.): *Software Process Improvement and Capability Determination*, Bd. 770. Cham: Springer International Publishing, S. 128–142.
- Gonzalez, Rafael A.; Sol, Henk G. (2012): Validation and design science research in information systems. In: Manuel Mora, Ovsei Gelman, Annette L. Steenkamp und Mahesh Raisinghani (Hg.): *Research*

- Methodologies, Innovations and Philosophies in Software Systems Engineering and Information Systems, Bd. 30: IGI Global, S. 403–426.
- Gough, David; Elbourne, Diana (2002): Systematic research synthesis to inform policy, practice and democratic debate. In: *Social Policy & Society* 1 (03), S. 225–236. DOI: 10.1017/S147474640200307X.
- Groover, Mikell P. (2001): *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Groover, Mikell P. (2008): *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Groys, Boris. (2008): From image to image file and back: Art in the age of digitalization. In: *Art Power*, S. 83–91.
- Gutenberg, Erich (1983): *Die Produktion*. 24., unveränd. Aufl. Berlin: Springer (Enzyklopädie der Rechts- und Staatswissenschaft Abteilung Staatswissenschaft von Erich Gutenberg; 1).
- Hahn, Dietger; Taylor, Bernard (1990): *Strategische Unternehmensplanung. Stand und Entwicklungstendenzen / herausgegeben von Dietger Hahn, Bernard Taylor*. Fünfte, neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
- Hartig, Johannes; Frey, Andreas; Jude, Nina (2008): Validität: Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. In: Helfried Moosbrugger und Augustin Kelava (Hg.): *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*, Bd. 37. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 135–163.
- Hax, Karl (1969): *Personalpolitik und Mitbestimmung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Helfert, Markus; Donnellan, Brian; Ostrowski, Lukasz (2012): The case for design science utility and quality. Evaluation of design science artifact within the sustainable ICT capability maturity framework. In: *Systems, Signs & Actions International Journal on Information Technology, Action, Communication and Workpractices* 1 (6), S. 46–66.
- Herselman, Marlien; Botha, Adele (2015): Evaluating an artifact in design science research. In: Richard J. Barnett, Loek Cleophas, Derrick G. Kourie, Daniel B. Le Roux und Bruce W. Watson (Hg.): *Proceedings of the 2015 Annual Research Conference on South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists - SAICSIT '15*. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1–10.
- Hevner, Alan R. (2007): A three cycle view of design science research. In: *Scandinavian Journal of Information Systems* 19 (2), S. 87–92.
- Hevner, Alan R.; Salvatore, T. March; Park, Jinsoo; Ram, Sudha (2004): Design science in information systems research. In: *Management Information Systems Research Center*, S. 75–105.
- Hompel, Michael ten; Sadowsky, Volker; Beck, Maria (2007): *Materialflusssysteme*. Berlin: Springer (VDI-Buch).
- Jacob, H. (Hg.) (1969): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre in programmierter Form*. Wiesbaden: Gabler Verlag; Imprint.
- Jahangirian, Mohsen; Eldabi, Tillal; Garg, Lalit; Jun, Gyuchan T.; Naseer, Aisha; Patel, Brijesh et al. (2011): A rapid review method for extremely large corpora of literature: Applications to the domains of modelling, simulation, and management. In: *International Journal of Information Management* 31 (3), S. 234–243. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2010.07.004.
- Jodlbauer, Herbert; Schagerl, Michael: Reifegradmodell Industrie 4.0 - Ein Vorgehensmodell zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen. In: *INFORMATIK 2016*.

- Johnson, D. S. (2005): Digitization of selling activity and sales force performance: An empirical investigation. In: *Journal of the Academy of Marketing Science* 33 (1), S. 3–18. DOI: 10.1177/0092070304266119.
- Jung, Kiwook; Kulvatunyou, Boonserm; Choi, Sangsu; Brundage, Michael P. (2017): An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 488, S. 705–712. DOI: 10.1007/978-3-319-51133-7_83.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. DFKI und Deutsche Post.
- Katuu, Shadrack (Hg.) (2019): *Diverse applications and transferability of maturity models*. Hershey, PA: IGI Global, Business Science Reference (Premier reference source).
- Katz, R. L.; Koutroumpis, P. (2013): Measuring digitization: A growth and welfare multiplier. In: *Technovation* 33 (10-11), S. 314–319. DOI: 10.1016/j.technovation.2013.06.004.
- Katz, Raul L.; Koutroumpis, Pantelis (2012): Measuring socio-economic digitization: A paradigm shift. In: *SSRN Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.2070035.
- Khan, Ateeq; Turowski, Klaus (2016): A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for Industry 4.0. In: Ajith Abraham, Sergey Kovalev, Valery Tarassov und Václav Snášel (Hg.): *Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16)*, Bd. 450. Cham: Springer International Publishing, S. 15–26.
- Klötzer, Christoph; Pflaum, Alexander (2017): Towards the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain. In: *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Kotarba, Marcin (2017): Measuring digitalization – Key metrics. In: *Foundations of Management* 9 (1), S. 123–138. DOI: 10.1515/fman-2017-0010.
- Lage Junior, Muris; Godinho Filho, Moacir (2010): Variations of the kanban system: Literature review and classification. In: *International Journal of Production Economics* 125 (1), S. 13–21. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.01.009.
- Larsen, Peder Olesen; Ins, Markus von (2010): The rate of growth in scientific publication and the decline in coverage provided by Science Citation Index. In: *Scientometrics* 84 (3), S. 575–603. DOI: 10.1007/s11192-010-0202-z.
- Lepak, David P.; Smith, Ken G.; Taylor, M. Susan (2007): Value creation and value capture: A multilevel Perspective. In: *AMR* 32 (1), S. 180–194. DOI: 10.5465/amr.2007.23464011.
- Leyh, Christian; Schäffer, Thomas; Forstenhäusler, Sven (2016): SIMMI 4.0 – Vorschlag eines Reifegradmodells zur Klassifikation der unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft mit Fokus Industrie 4.0. In: *Conference: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI)*, S. 981–992.
- Lichtblau, Karl; Stich, Volker; Bertenrath, Roman; Blum, Matthias; Bleider, Martin; Millack, Agnes et al. (2015): *IMPULS - Industrie 4.0-Readiness*. Impuls-Stiftung des VDMA. Aachen-Köln.
- Mallett, Richard; Hagen-Zanker, Jessica; Slater, Rachel; Duvendack, Maren (2012): The benefits and challenges of using systematic reviews in international development research. In: *Journal of Development Effectiveness* 4 (3), S. 445–455. DOI: 10.1080/19439342.2012.711342.
- Malterud, Kirsti (2001): Qualitative research: standards, challenges, and guidelines. In: *The Lancet* 358 (9280), S. 483–488. DOI: 10.1016/S0140-6736(01)05627-6.

- Mangelsdorf, Axel; Weiler, Petra (Hg.) (2019): Normen und Standards für die digitale transformation. Werkzeuge, Praxisbeispiele und Entscheidungshilfen für innovative Unternehmen, Normungsorganisationen und politische Entscheidungsträger. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Manoff, Marlene (2006): The materiality of digital collections: Theoretical and historical perspectives. In: Portal: Libraries and the academy, 6 (3), S. 311–325. Johns Hopkins University Press, DOI: 10.1353/pla.2006.0042
- Mansell, Robin (2012): Imagining the Internet: communication, innovation, and governance. Oxford: Oxford University Press.
- Martin, Heinrich (2014): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9., vollst. überarb. u. akt. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Martinez-Moyano, Ignacio J. (2012): Documentation for model transparency. In: Syst. Dyn. Rev. 28 (2), S. 199–208. DOI: 10.1002/sdr.1471.
- Mashhour, Tarek; Fischer, Michael; Hofbauer, Günter (2012): Lieferantenmanagement: Die wertorientierte Gestaltung der Lieferbeziehung: De Gruyter.
- Mason, R. L.; Hess, J. L.; Gunst, R. F. (2003): Statistical design and analysis of experiments. With applications to engineering and science. 2. ed. New York, N.Y.: Wiley.
- Maxwell J.A. (2013): Qualitative research design: An interactive approach. 3rd ed. Los Angeles: Sage (Applied social research methods series, 41).
- Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 11., aktualisierte und überarb. Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz Pädagogik).
- Müller, Klaus-Rainer (2015): Handbuch Unternehmenssicherheit. Umfassendes Sicherheits-, Kontinuitäts- und Risikomanagement mit System. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint; Springer Vieweg.
- Nakano, Mikiyoshi; Akikawa, Takuya (2014): Literature review of empirical studies on SCM using the SSPP paradigm. In: International Journal of Production Economics 153, S. 35–45. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.04.001.
- Ngai, E.W.T.; Xiu, Li; Chau, D.C.K. (2009): Application of data mining techniques in customer relationship management: A literature review and classification. In: Expert Systems with Applications 36 (2), S. 2592–2602. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.02.021.
- Nückles, Matthias (2004): Mind maps und concept maps. Visualisieren - Organisieren - Kommunizieren. Orig.-ausg. München: Dt. Taschenbuch-Verl.; Beck (Dtv, 50877 : Beck-Wirtschaftsberater).
- Oechsler, Walter A. (2010): Personal und Arbeit: De Gruyter.
- Okoli, Chitu; Schabram, Kira (2010): A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. working paper. DOI: 10.2139/ssrn.1954824
- Parasuraman, R.; Sheridan, T. B.; Wickens, C. D. (2000): A model for types and levels of human interaction with automation. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans 30 (3), S. 286–297. DOI: 10.1109/3468.844354.
- Pepperell, Robert (2003): The posthuman condition: Consciousness beyond the brain. New ed. Bristol, UK, Portland, OR: Intellect.
- Petticrew, Mark (2006): Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. Malden, MA, Oxford: Blackwell Pub.

- Pfeifer, Heinz; Kabisch, Gerald; Lautner, Hans (1995): *Fördertechnik. Konstruktion und Berechnung*. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; Imprint (Aus dem Programm Konstruktion).
- Pinch, Trevor J.; Trocco, Frank (2004): *Analog days: The invention and impact of the moog synthesizer*. New ed. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Popper, Karl (1935): *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der Modernen Naturwissenschaft*. Vienna: Springer Vienna (Schriften zur Wissenschaftlichen Weltauffassung).
- Porter, Michael E. (1986): *Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten = Competitive advantage*. Frankfurt: Campus.
- Pyett, Priscilla M. (2003): Validation of qualitative research in the "Real World". In: *Qual Health Res* 13 (8), S. 1170–1179. DOI: 10.1177/1049732303255686.
- Rai; Patnayakuni; Seth (2006): Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration Capabilities. In: *MIS Quarterly* 30 (2), S. 225. DOI: 10.2307/25148729.
- Rajnai, Zoltan; Kocsis, Istvan (2018): Assessing Industry 4.0 readiness of enterprises. In: 2018 IEEE 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), S. 225–230.
- Reason, Peter; Bradbury, Hilary (Hg.) (2005): *Handbook of action research: Participative inquiry and practice*. London: Sage.
- Repko, Allen F. (2008): *Interdisciplinary research: Process and theory*. Los Angeles: Sage.
- Rindfleisch, Aric; Malter, Alan J.; Ganesan, Shankar; Moorman, Christine (2008): Cross-sectional versus longitudinal survey research: Concepts, findings, and guidelines. In: *Journal of Marketing Research* 45 (3), S. 261–279. DOI: 10.1509/jmkr.45.3.261.
- Rossi, Peter H.; Wright, James D.; Anderson, Andy B. (2013): *Handbook of survey research*. Burlington: Elsevier Science.
- Rother, Mike; Shook, John; Wiegand, Bodo (2015): *Sehen lernen: mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen*. Dt. Ausg., Version 1.4, Oktober 2015. Mannheim an d. Ruhr: Lean Management Inst (Workbooks für Lean Management).
- Rutherford, B. A. (1977): Value added as a focus of attention for financial reporting: Some conceptual problems. In: *Accounting and Business Research* 7 (27), S. 215–220. DOI: 10.1080/00014788.1977.9728707.
- Santos Rocha, Roberto dos; Fantinato, Marcelo (2013): The use of software product lines for business process management: A systematic literature review. In: *Information and Software Technology* 55 (8), S. 1355–1373. DOI: 10.1016/j.infsof.2013.02.007.
- Sauter, Thilo. (Hg.) (2005): Integration aspects in automation: A technology survey. *IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)* (2), S. 259–263. DOI: 10.1109/ETFA.2005.1612688
- Schott, Peter; Lederer, Matthias; Niedermaier, Sina; Bodendorf, Freimut; Hafner, Matthias (2018): A maturity model to organize the multidimensionality of digitalization in smart factories. In: John Wang, Ömer Faruk Yılmaz und Süleyman Tüfekçi (Hg.): *Handbook of Research on Applied Optimization Methodologies in Manufacturing Systems*, Bd. 2014: IGI Global (Advances in Logistics, Operations, and Management Science), S. 354–374.

- Schröder, Christian (2016): The challenges of Industry 4.0 for small and medium-sized enterprises. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Economic and Social Policy (A good society - social democracy 2017 plus).
- Schuh, Günther (2012): Produktionsplanung und -steuerung. 4. Aufl. Berlin: Springer (VDI).
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (Hg.) (2014): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Schumacher, Andreas; Erol, Selim; Sihn, Wilfried (2016a): A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. In: *Procedia CIRP* 52, S. 161–166. DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- Schumacher, Andreas; Schumacher, Christian; Sihn, Wilfried (2020): Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation. In: Numan M. Durakbasa und M. Güneş Gençyılmaz (Hg.): *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, Bd. 70. Cham: Springer International Publishing, S. 301–310.
- Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried; Erol, Selim (Hg.) (2016b): Automation, digitization and digitalization and their implications for manufacturing processes. Innovation and Sustainability Conference, Bukarest 2016.
- Seepersad, Carolyn C.; Pedersen, Kjartan, Emblemavag, Jan; Bailey, Reid; Allen, Janet K.; Mistree, Farrokh (2006): The validation square: How does one verify and validate a design method? In: Kemper E. Lewis, Wei Chen und Linda C. Schmidt (Hg.): *Decision Making in Engineering Design*: ASME Press, S. 303–313.
- Singleton, Royce A.; Straits, Bruce C. (2010): *Approaches to social research*. 5. ed. New York: Oxford Univ. Press.
- Sjödin, David R.; Parida, Vinit; Leksell, Markus; Petrovic, Aleksandar (2018): Smart factory implementation and process innovation. In: *Research-Technology Management* 61 (5), S. 22–31. DOI: 10.1080/08956308.2018.1471277.
- Sousa, Daniel (2014): Validation in qualitative research: General aspects and specificities of the descriptive phenomenological method. In: *Qualitative Research in Psychology* 11 (2), S. 211–227. DOI: 10.1080/14780887.2013.853855.
- Spina, Gianluca; Caniato, Federico; Luzzini, Davide; Ronchi, Stefano (2013): Past, present and future trends of purchasing and supply management: An extensive literature review. In: *Industrial Marketing Management* 42 (8), S. 1202–1212. DOI: 10.1016/j.indmarman.2013.04.001.
- Tarhan, Ayca; Turetken, Oktay; Reijers, Hajo A. (2016): Business process maturity models: A systematic literature review. In: *Information and Software Technology* 75, S. 122–134. DOI: 10.1016/j.infsof.2016.01.010.
- Ulrich, Hans; Dyllick, Thomas; Probst, Gilbert (1984): *Management*. 7. Aufl. Bern: P. Haupt (Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmungsführung, Bd. 13).
- UN Digital Economy Report (2019): *Digital economy report 2019: Value creation and capture: Implications for developing countries*. New York: United Nations Publications.
- UN Digitale Age Report (2019): *The age of digital interdependence*. New York: United Nations Publications.
- Valdez-de-Leon, Omar (2016): A digital maturity model for telecommunications service providers. In: *Technology Innovation Management Review* 6 (8), S. 19–32. DOI: 10.22215/timreview/1008.

- Van Dijk, Jan (2006): The network society: social aspects of new media. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Vaus, David A. de (2010): Research design in social research. Reprinted. Los Angeles: Sage.
- Vogelsang, Michael (2010): Digitalization in open economies: Theory and policy implications. Heidelberg, London, New York: Physica-Verlag.
- Westkämper, Engelbert (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Westkämper, Engelbert; Löffler, Carina (2016): Strategien der Produktion. Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wolf, Thomas; Strohschen, Jacqueline-Helena (2018): Digitalisierung: Definition und Reife. In: Informatik Spektrum 41 (1), S. 56–64. DOI: 10.1007/s00287-017-1084-8.
- Zhou, Keliang; Zhou, Lifeng; Liu, Taigang (2015): Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), S. 2147–2152.

11 Publikationen Dissertant

Wissenschaftlichen Publikationen des Dissertanten als Erstautor bzw. im Autorenteam:

- Schumacher, Andreas; Erol, Selim; Sihn, Wilfried (2016): A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. In: *Procedia CIRP* 52, S. 161–166. DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried; Erol, Selim (2016): Automation, digitization and digitalization and their implications for manufacturing processes. *Innovation and Sustainability Conference, Bukarest 2016*.
- Erol, Selim; Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried (2016): Auf dem Weg zur Industrie 4.0 – ein dreistufiges Vorgehensmodell. In: Biedermann H. (eds) *Industrial Engineering und Management. Techno-ökonomische Forschung und Praxis*. Springer Gabler, Wiesbaden
- Erol, Selim; Sihn, Wilfried; Schumacher, Andreas (2016): Strategic guidance towards Industry 4.0 - a three-stage process model. *COMA 2016: Global Competitiveness Centre in Engineering - Stellenbosch University*.
- Erol, Selim; Sihn, Wilfried; Schumacher, Andreas (2016): Industrie 4.0 – Chancen und Risiken einer angekündigten Revolution. In: *Industriebuch 2016 des Industriewissenschaftlichen Instituts*.
- Schumacher, Andreas; Geissler, Philipp; Sihn, Wilfried (2016): Von smarten Technologien zur smarten Fabrik - Die Basistechnologien der Industrie und deren Potential. In: *WingBusiness 2016 (2) Smart Technologies*. p. 14-18.
- Schumacher, Andreas; Ranz, Fabian; Erol, Selim; Sihn, Wilfried (2017): Von der flexiblen zur smarten Fabrik durch Industrie 4.0. In: *Flexibilisierung der Fabrik im Kontext von Industrie 4.0*. - Berlin : Logos Verlag Berlin, p. 15
- Schumacher, Andreas; Steinwender, Arko (2019): Potenziale der additiven Fertigung und ein Vorgehensmodell zur Nutzung der Potentiale Additiver Fertigung für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. In: *Industrial Life Cycle Management – Innovation durch Lebenszyklusdenken*. S. 24-37. Rainer Hamp Verlag.
- Schumacher, Andreas; Nemeth, Tanja; Sihn, Wilfried (2019): Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 79, S.409-414. DOI: 10.1016/j.procir.2019.02.110
- Ranz, Fabian; Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried (2019): Methods and tools to facilitate the digital self-transformation of SMEs. *ISPIIM Conference 2019, Florence*. International Society for Professional Innovation Management.
- Nausch, Mathias; Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried (2019): Assessment of Organizational Capability for Data Utilization – A Readiness Model in the Context of Industry 4.0, in Numan M. Durakbasa und M. Güneş Gençyılmaz (Hg.): *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, Bd. 70. Cham: Springer International Publishing, S. 243–252.
- Nick, Gabor; Gallina, Viola; Szaller, Adam; Schumacher, Andreas (2019): Industry 4.0 in Germany, Austria and Hungary: interpretation, strategies and readiness models. *IMEKO TC10 on Testing, Diagnostics & Inspection 2019*. Berlin.
- Schumacher, Andreas; Schumacher, Christian; Sihn, Wilfried (2020): Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation. In: Numan M. Durakbasa und M. Güneş Gençyılmaz (Hg.): *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, Bd. 70. Cham: Springer International Publishing, S. 301–310.
- Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried (2020): A Monitoring System for Implementation of Industrial Digitalization and Automation using 143 Key Performance Indicators. In: *Procedia CIRP*. In press (accepted 01.04.2020).
- Schumacher, Andreas; Sihn, Wilfried (2020): A Strategy Guidance Model to Realize Industrial Digitalization in Production Companies. In: *Journal of Management and Production Engineering Review*. Under review.

12 Abkürzungsverzeichnis

DuA	Digitalisierung und Automatisierung
TU	Technische Universität
SOTA	State of the Art
I4.0	Industrie 4.0
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
MES	Manufacturing Execution System
ERP	Enterprise Resource System
AP	Arbeitspaket
WuO	Wertschöpfungs- und Organisationsfaktoren
D1-D9	Dimension 1 – Dimension 9
EBI	Entwicklungsbedarf-Index
MA	Mitarbeiter
ELI	Elektronikindustrie
MTI	Metallindustrie
et al.	Unter anderen
u.ä.	und Ähnlich

13 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: OPERATIONALISIERUNG DER INDUSTRIE 4.0 (EIGENE DARSTELLUNG)	2
ABBILDUNG 2: EXPERTENBEWERTUNG ZUR RELEVANZ DER PROBLEMSTELLUNGEN (EIGENE DARSTELLUNG)	3
ABBILDUNG 3: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	4
ABBILDUNG 4: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DISSERTATIONSKAPITEL INKL. THEMENVERBINDUNGEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	5
ABBILDUNG 5: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	6
ABBILDUNG 6: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 2 (EIGENE DARSTELLUNG).....	6
ABBILDUNG 7: BETRIEBLICHE UNTERNEHMENSAKTIVITÄTEN NACH GUTENBERG (ANGEPASSTE DARSTELLUNG NACH ELLINGER UND HAUPT).....	7
ABBILDUNG 8: EINGRENZUNG DES UNTERSUCHUNGSRAUMES IN DREI EBENEN (EIGENE DARSTELLUNG)	11
ABBILDUNG 9: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	13
ABBILDUNG 10: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 3 (EIGENE DARSTELLUNG).....	13
ABBILDUNG 11: RELEVANTE PUBLIKATIONEN NACH DATENBANKEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	18
ABBILDUNG 12: RELEVANTE PUBLIKATIONEN NACH THEMEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	18
ABBILDUNG 13: BEWERTUNGSDURCHSCHNITT ALLER PUBLIKATIONEN ANHAND 10 BEWERTUNGSKRITERIEN (EIGENE DARSTELLUNG)	23
ABBILDUNG 14: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	27
ABBILDUNG 15: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 4 (EIGENE DARSTELLUNG).....	27
ABBILDUNG 16: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	32
ABBILDUNG 17: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 5 (EIGENE DARSTELLUNG).....	32
ABBILDUNG 18: RAHMENMODELL NACH DESIGN SCIENCE	34
ABBILDUNG 19: VORGEHENSMODELL NACH DESIGN SCIENCE FÜR REIFEGRADMODELLE	35
ABBILDUNG 20: ZUORDNUNG VERWENDETER FORSCHUNGSMETHODEN ZUM DESIGN SCIENCE-RAHMENMODELL UND VORGEHEN.....	36
ABBILDUNG 21: ÜBERSICHT DER THEORETISCHEN UND PRAKTISCHEN VALIDIERUNGEN (EIGENE DARSTELLUNG)	38
ABBILDUNG 22: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	39
ABBILDUNG 23: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 6 (EIGENE DARSTELLUNG).....	39
ABBILDUNG 24: ZUORDNUNG DER ERSTEN SUBAKTIVITÄT ZUM SCHRITT 6 DES DESIGN SCIENCE-VORGEHENS.....	40
ABBILDUNG 25: ÜBERSICHT 21 WERTSCHÖPFUNGS- UND ORGANISATIONSAKTIVITÄTEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	40
ABBILDUNG 26: BEWERTUNGSBEREICHE ENTLANG DES WERTSTROMES (EIGENE DARSTELLUNG).....	41
ABBILDUNG 27: ÜBERSICHT MODELLSTRUKTUR (EIGENE DARSTELLUNG)	42
ABBILDUNG 28: ZUORDNUNG DER ZWEITEN SUBAKTIVITÄT ZUM SCHRITT 6 DES DESIGN SCIENCE-VORGEHENS.....	43
ABBILDUNG 29: VIER ENTWICKLUNGSPHASEN DER MODELLINHALTE (EIGENE DARSTELLUNG)	43

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 30: RAHMENMODELL ZUR BILDUNG DER RELATIONSMATRIX (EIGENE DARSTELLUNG)	44
ABBILDUNG 31: RELEVANZBEWERTUNG RESULTIERENDER RELATIONEN (EIGENE DARSTELLUNG)	44
ABBILDUNG 32: ÜBERSICHT RESULTATE DER LITERATURRECHERCH ZU REALEN DuA-LÖSUNGEN (EIGENE DARSTELLUNG)	45
ABBILDUNG 33: DESIGN EINES BEWERTUNGSATTRIBUTE (EIGENE DARSTELLUNG)	47
ABBILDUNG 34: STRUKTUR DER BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 6 – PRODUKTIONSPROZESSE SHOP FLOOR (EIGENE DARSTELLUNG)	48
ABBILDUNG 35: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 1 (EIGENE DARSTELLUNG)	49
ABBILDUNG 36: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 2 (EIGENE DARSTELLUNG)	50
ABBILDUNG 37: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 3 (EIGENE DARSTELLUNG)	51
ABBILDUNG 38: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 4 (EIGENE DARSTELLUNG)	52
ABBILDUNG 39: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 5 (EIGENE DARSTELLUNG)	53
ABBILDUNG 40: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 7 (EIGENE DARSTELLUNG)	54
ABBILDUNG 41: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 8 (EIGENE DARSTELLUNG)	55
ABBILDUNG 42: ÜBERSICHT STRUKTUR BEWERTUNGSATTRIBUTE DIMENSION 9 (EIGENE DARSTELLUNG)	56
ABBILDUNG 43: ZUORDNUNG DER DRITTEN SUBAKTIVITÄT ZUM SCHRITT 6 DES DESIGN SCIENCE-VORGEHENS	57
ABBILDUNG 44: VORGEHENSMODELL ZUR AUSWERTUNG DER BEWERTUNGSDATEN (EIGENE DARSTELLUNG)	58
ABBILDUNG 45: EXPERTENBEWERTUNG DER RELEVANZ DER MODELLINHALTE	65
ABBILDUNG 46: EXPERTENBEWERTUNG DER VERSTÄNDLICHKEIT DER BEWERTUNGSATTRIBUTE	66
ABBILDUNG 47: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	67
ABBILDUNG 48: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 7 (EIGENE DARSTELLUNG)	67
ABBILDUNG 49: ANWENDUNGEN DES BEWERTUNGSMODELLS UND DESSEN FOKUS	68
ABBILDUNG 50: BEWERTUNGSZUORDNUNG ZU FACHBEREICHEN (EIGENE DARSTELLUNG)	69
ABBILDUNG 51: ERHOBENE REIFELEVEL ALLER ATTRIBUTE	71
ABBILDUNG 52: ERHOBENE RELEVANZ ALLER ATTRIBUTE FÜR DAS UNTERNEHMEN	72
ABBILDUNG 53: ÜBERSICHT VORGESTELLTE AUSWERTUNGEN REIFELEVEL UND EBI	73
ABBILDUNG 54: REIFELEVEL IN NEUN DIMENSIONEN (LINKS) UND RESULTIERENDER EBI (RECHTS)	74
ABBILDUNG 55: REIFELEVEL IN SECHS QUERSCHNITTSTHEMEN (LINKS) UND RESULTIERENDER EBI (RECHTS)	76
ABBILDUNG 56: ERHOBENER REIFELEVEL DIMENSION 2 UND RESULTIERENDER EBI	78
ABBILDUNG 57: ERHOBENER REIFELEVEL DIMENSION 3 UND RESULTIERENDER EBI	81
ABBILDUNG 58: ERHOBENER REIFELEVEL JE FACHBEREICH DIMENSION 3	81
ABBILDUNG 59: ERGEBNIS-DASHBOARD UNTERNEHMEN MASCHINENBAU ZUR BEWERTUNGSÜBERSICHT (TEIL 1 VON 2)	83
ABBILDUNG 60: ERGEBNIS-DASHBOARD UNTERNEHMEN MASCHINENBAU ZUR BEWERTUNGSÜBERSICHT (TEIL 2 VON 2)	84

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 61: ABGELEITETE HANDLUNGSFELDER IN FORM EINES DIGITAL MANAGEMENT SYSTEMS	86
ABBILDUNG 62: GEGENÜBERSTELLUNG ERHOBENE REIFELEVEL ALLER ATTRIBUTE	88
ABBILDUNG 63: GEGENÜBERSTELLUNG ERHOBENE RELEVANZ FÜR ALLE ATTRIBUTE	89
ABBILDUNG 64: GEGENÜBERSTELLUNG REIFELEVEL IN NEUN DIMENSIONEN (LINKS) UND EBI (RECHTS)	89
ABBILDUNG 65: GEGENÜBERSTELLUNG REIFELEVEL IN SECHS QUERSCHNITTSTHEMEN (LINKS) UND EBI (RECHTS)	90
ABBILDUNG 66: GEGENÜBERSTELLUNG REIFELEVEL DIMENSION 2 UND EBI	91
ABBILDUNG 67: BEISPIELFRAGE AUS DER STUDIE: SENSORBASIERTE KUNDEN-DATENSAMMLUNG (GEGENÜBERSTELLUNG)	94
ABBILDUNG 68: GEGENÜBERSTELLUNG IN VIER DIGI-LEVEL UND SECHS DIMENSIONEN	95
ABBILDUNG 69: GEGENÜBERSTELLUNG DIGI-LEVEL NACH UNTERNEHMENSGRÖÖE UND -ALTER.....	96
ABBILDUNG 70: GEGENÜBERSTELLUNG DIGI-LEVEL UNTERNEHMENSFÜHRUNG UND INTERNATIONALISIERUNG	97
ABBILDUNG 71: GEGENÜBERSTELLUNG DIGI-LEVEL NACH PRODUKTIONSART UND VERTRIEBSART	98
ABBILDUNG 72: GEGENÜBERSTELLUNG KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DIGI-LEVEL UND ZUFRIEDENHEIT MIT PRODUKTIONSKENNZAHLEN	99
ABBILDUNG 73: KORRELATIONSFAKTOREN ZWISCHEN DIGI-LEVEL ZUFRIEDENHEIT MIT PRODUKTIONSKENNZAHLEN	99
ABBILDUNG 74: VALIDIERUNGSASPEKTE FÜR DIE GANZHEITLICHE UND GENAUE REIFELEVEL-MESSUNG	102
ABBILDUNG 75: ERGEBNISSE ANWENDER-FEEDBACKSTUDIE: HOHE RELEVANZ DER BEWERTUNGSATTRIBUTE	102
ABBILDUNG 76: ERGEBNISSE ANWENDER-FEEDBACKSTUDIE: EIGNUNG DER BEWERTUNGSEINGRENZUNG DER ATTRIBUTE	103
ABBILDUNG 77: ERGEBNISSE ANWENDER-FEEDBACKSTUDIE: EIGNUNG DES DETAILLIERUNGSGRADES DER ATTRIBUTE	104
ABBILDUNG 78: ERGEBNISSE ANWENDER-FEEDBACKSTUDIE: VERSTÄNDLICHKEIT DER ATTRIBUTE	105
ABBILDUNG 79: VALIDIERUNG RELIABILITÄT DES BEWERTUNGSMODELLS – ANWENDUNG EINZELUNTERNEHMEN.....	106
ABBILDUNG 80: VALIDIERUNG RELIABILITÄT DES BEWERTUNGSMODELLS – ANWENDUNG BRANCHENVERGLEICH	106
ABBILDUNG 81: VERGLEICHSANALYSE DIGI-LEVEL QUANTITATIVE VS. QUALITATIVE BEWERTUNGSSKALA.....	107
ABBILDUNG 82: ERREICHTER REIFEGRAD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BEWERTUNGSSKALA	108
ABBILDUNG 83: ZUORDNUNG DER DISSERTATIONSKAPITEL ZUM DESIGN SCIENCE-VORGEHEN	110
ABBILDUNG 84: CONCEPT-MAP ZUR ÜBERSICHT DER INHALTE VON KAPITEL 8 (EIGENE DARSTELLUNG).....	110
ABBILDUNG 85: VORGEHENSWEISE ZUR ANWENDUNG DES MODELLS (EIGENE DARSTELLUNG)	135

14 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BEGRIFFSEINGRENZUNG DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG FÜR PRODUKTIONSUNTERNEHMEN	9
TABELLE 2: BEISPIELE ZUR BEGRIFFSABGRENZUNG DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG	10
TABELLE 3: EINGRENZUNG DER ANWENDBARKEIT DES BEWERTUNGSMODELLES NACH PRODUKTIONSTOPOLOGIEN	12
TABELLE 4: ANWENDUNGSBEREICHE DER LITERATURRECHERCHE-ARTEN IN DER DISSERTATION	14
TABELLE 5: DEFINIERTE LITERATURFRAGEN	15
TABELLE 6: DURCHFÜHRUNG DER SYSTEMATISCHEN LITERATURRECHERCHE	15
TABELLE 7: ÜBERFÜHRUNG DER PROBLEMSTELLUNGEN IN ANFORDERUNGEN UND BEWERTUNGSKRITERIEN FÜR DEN SOTA	19
TABELLE 8: DEFINIERTE BEWERTUNGSKRITERIEN ZUR ANALYSE UND BEWERTUNG DES SOTA.....	20
TABELLE 9: ÜBERSICHT SOTA-BEWERTUNG ANHAND NEUN KRITERIEN	21
TABELLE 10: GEGENÜBERSTELLUNG WISSENSCHAFTLICHER BEWERTUNGSMODELLE UND NICHTWISSENSCHAFTLICHER PRAXISTOOLS	24
TABELLE 11: DIFFERENZ GESAMTER SATO ZU MAX.-BEWERTUNG DER NEUN KRITERIEN (MAX-BEWERTUNG: 5,0)	24
TABELLE 12: ABLEITUNG DES FORSCHUNGSBEDARFES AUS DEN FORSCHUNGSLÜCKEN	28
TABELLE 13: MODELLANFORDERUNGEN AUS WISSENSCHAFTSSICHT.....	29
TABELLE 14: MODELLANFORDERUNGEN AUS SICHT DES BEWERTETEN SOTA.....	29
TABELLE 15: MODELLANFORDERUNGEN AUS PRAXISSICHT.....	30
TABELLE 16: FORSCHUNGSBEDARF, ZIELE, RESULTATE UND NUTZEN DER DISSERTATION	31
TABELLE 17: SIEBEN RICHTLINIEN DES DESIGN SCIENCE	34
TABELLE 18: METHODENMATRIX DER VERWENDETEN FORSCHUNGSMETHODEN.....	37
TABELLE 19: SCHRITTE ZUR REDUKTION DER WUO-FAKTOREN.....	41
TABELLE 20: BEISPIELE ZUR OPERATIONALISIERUNG DER DuA-LÖSUNGEN IN BEWERTUNGSATTRIBUTE UND DEREN MESSUNG.....	46
TABELLE 21: ÜBERSICHT DER REIFELEVEL FÜR ALLE BEWERTUNGSATTRIBUTE	46
TABELLE 22: BEWERTUNGSASPEKTE UND SKALEN DES BEWERTUNGSMODELLS	58
TABELLE 23: AUSWERTUNGEN UND MATHEMATISCHE BEZIEHUNGEN	59
TABELLE 24: BESTANDTEILE DES BEWERTUNGSMODELLS	60
TABELLE 25: DEFINIERTE ENTWICKLUNGSMODELLE ZUR SYSTEMATISIERUNG DER ENTWICKLUNGEN	62
TABELLE 26: BEFRAGTE EXPERTEN ZUM OPERATIONALISIERUNGSANSATZ.....	63
TABELLE 27: PUBLIKATIONEN DES DISSERTANTEN ZUR OPERATIONALISIERUNG	64
TABELLE 28: UNTERNEHMENS- UND USE-CASE-DATEN DES UNTERNEHMEN „MASCHINENBAU“	68
TABELLE 29: VORGEHEN ZUR ANWENDUNG DES BEWERTUNGSMODELLS IM UNTERNEHMEN	69

Tabellenverzeichnis

TABELLE 30: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER ATTRIBUTSVERTEILUNG NACH REIFELEVEL	71
TABELLE 31: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER RELEVANZVERTEILUNG	72
TABELLE 32: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER DIMENSIONENBEWERTUNG REIFELEVEL.....	74
TABELLE 33: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER DIMENSIONENBEWERTUNG DES EBI.....	75
TABELLE 34: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER BEWERTUNG VON QUERSCHNITTSHEMEN-REIFELEVEL.....	76
TABELLE 35: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER BEWERTUNG DES EBI VON QUERSCHNITTSHEMEN	77
TABELLE 36: ÜBERSICHT REIFELEVEL, RELEVANZ UND EBI ALLER ATTRIBUTE VON DIMENSION 2	79
TABELLE 37: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG BEWERTUNG DER REIFELEVEL-BEWERTUNG UND EBI DIMENSION 2	80
TABELLE 38: ÜBERSICHT ALLER ATTRIBUTE MIT MAXIMALEN EBI (100)	85
TABELLE 39: UNTERNEHMENS- UND USE-CASE-DATEN UNTERNEHMEN GROßKÜCHE	87
TABELLE 40: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER ATTRIBUTSVERTEILUNG NACH REIFELEVEL	88
TABELLE 41: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER RELEVANZVERTEILUNG	89
TABELLE 42: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER DIMENSIONENBEWERTUNG DES REIFELEVELS	90
TABELLE 43: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER BEWERTUNG VON QUERSCHNITTSHEMEN-REIFELEVEL.....	91
TABELLE 44: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER BEWERTUNG DES REIFELEVEL UND EBI IN DIMENSION D2	91
TABELLE 45: STUDIEN- UND BRANCHENDATEN DER ANWENDUNG „BRANCHENVERGLEICH“	93
TABELLE 46: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER STUDIENFRAGE ZUR DATENSAMMLUNG BEI KUNDEN	94
TABELLE 47: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER VERTEILUNG IN 4 DIGI-LEVEL UND SECHS DIMENSIONEN	95
TABELLE 48: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DES DIGI-LEVELS NACH UNTERNEHMENSGRÖÖE UND ALTER	96
TABELLE 49: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DES DIGI-LEVELS NACH UNTERNEHMENSFÜHRUNG UND INTERNATIONALISIERUNG	97
TABELLE 50: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DES DIGI-LEVELS NACH PRODUKTIONSART UND VERTRIEBSART	98
TABELLE 51: BEWERTUNG UND PLAUSIBILISIERUNG DER KORRELATION DES DIGI-LEVEL MIT PRODUKTIONSKENNZAHLEN.....	100
TABELLE 52: ZUORDNUNG PLAUSIBILISIERUNG DER BEWERTUNGEN ZU ANWENDUNGEN	101
TABELLE 53: GEGENÜBERSTELLUNG DUA-BEWERTUNGEN DES DISSERTANTEN NACH BEWERTUNGSSKALEN UND ERREICHTEM REIFEGRAD ÜBER ALLE UNTERSUCHTEN UNTERNEHMEN	108
TABELLE 54: RESULTATE DER DISSERTATION IN BEZUG AUF DEFINIERTE PROBLEMSTELLUNGEN UND ZIELE	111
TABELLE 55: EINGANGS IDENTIFIZIERTE FORSCHUNGLÜCKEN UND BEITRAG DER DISSERTATION ZU SCHLIEÖUNG	112
TABELLE 56: BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN	113
TABELLE 57: ABGLEICH DER DISSERTATIONSERGEBNISSE MIT DEN DEFINIERTEN HYPOTHESEN	114

15 Curriculum Vitae Dissertant

PERSONAL INFORMATION Andreas Schumacher



Josefstädter Strasse 51, Stiege 2, Top 51, 1080 Vienna (Austria)

+4367688861635

andischu@gmx.at

[linkedin.com/in/andreas-schumacher-38a81995](https://www.linkedin.com/in/andreas-schumacher-38a81995)

[researchgate.net/profile/Andreas_Schumacher4](https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Schumacher4)

WORK EXPERIENCE

- 07/2017–Present Project Manager and Research Associate
Fraunhofer Research GmbH / University of Technology Vienna, Vienna (Austria)
www.fraunhofer.at
- Project Manager in the field of Advanced Industrial Management
 - Topic Leader: Social Impact of Digitalization and Automation
 - Topic Leader: Industrial Digitalization Strategies and Maturity Assessment
- Business or sector Applied Research, Consulting
- 01/2016–06/2017 Head of curriculum co-ordination at faculty of Industrial and Mechanical Engineering
University of Technology Vienna
<https://www.tuwien.ac.at>
- Co-ordination of curriculums of faculty
 - Co-ordination of lecture-rooms and semester study-plans of faculty
 - Faculty-representative for curriculum-matters
- Business or sector Education - University
- 01/2016–06/2017 Head of teaching affairs at Institute of Management Science
University of Technology, Institute of Management Science, Vienna (Austria)
<https://www.imw.tuwien.ac.at/>
- Responsibility for 40+ university courses at the institute and teaching of 3 university courses
 - Team leader of 2-3 tutors and teaching assistants
 - Supervision of 50+ master,-bachelor, and seminar-thesis
- Business or sector Education - University
- 07/2013–09/2015 Research and teaching assistant
University of Technology Vienna / Fraunhofer Research GmbH, Vienna (Austria)
<https://www.imw.tuwien.ac.at/>
- Personal assistant to the head of the department/Institute
 - Research and content development in the field of Industry 4.0
 - Course-Development of „Professional MBA Automotive Industry“
- Business or sector Education – University

- 07/2014–10/2014 Project manager R&D and English teacher
Mettler Toledo (Changzhou) Measurement, Changzhou (China)
www.mt.com
- Project leader in project "R&D hygienic documentation"
 - Project leader in project "Knowledge management and server re-structuring"
 - English teaching of company staff
- Business or sector Industrial Manufacturing
- 03/2012–07/2013 Technical consultant
Vienna Airport AG/ESY, Vienna (Austria)
www.viennaairport.com; www.esy.at
- Cost controlling and auditing
 - Supervision and approval of construction-planning activities
 - Approval proceedings of submission to authorities
- Business or sector Project Management - Construction

EDUCATION AND TRAINING

- 06/2018–2020 PhD-Studies
University of Technology Vienna, Vienna (Austria)
www.tuwien.ac.at
- Research area:
Development of a practically applicable method for production companies to assess their degree of digitalization and automation of value creation factors and organizational factors in objective and comprehensive manners increases their activity towards increasing their overall degree of digitalization and automation.
- 10/2008–09/2015 Bachelor- and Masterstudies Industrial Engineering
University of Technology Vienna, Vienna (Austria)
www.tuwien.ac.at
- Bachelor-thesis: TRIZ – Theory of Inventive Problem Solving, A secondary-analytical investigation of recent developments and trends
Master-thesis: A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises
Passed with honors: GPA < 1,5
- 09/2002–06/2007 Graduation - Highschool of Engineering
Higher Technical Institute for Electrical Engineering, Salzburg (Austria)
<http://www.htl-salzburg.ac.at>
- Graduation project: Development of a RFID-based sound-support system to guide people with sight-deficiency
Passed with honors: GPA < 2,0

LANGUAUGE SKILLS

Mother tongue(s)	German Sign Language				
Foreign language(s)	UNDERSTANDING		SPEAKING		WRITING
	Listening	Reading	Spoken interaction	Spoken production	
English	C2	C1	C2	C2	C1

ADDITIONAL INFORMATION

- Projects**
- Industrial projects since 2016**
- Several projects in the field of value stream analysis in industrial enterprises
 - Several projects in the field of Industry 4.0/industrial digitalization maturity assessment
 - Several projects in the field of Industry 4.0/industrial digitalization roadmap development
 - Project in the field of digitalization competence modelling and strategies
 - Project in the field of assembly planning und optimization

Research projects since 2016

- Digital business model development in the field of Additive Manufacturing
- Development of an Industry 4.0 maturity model and roadmapping-tool
- Survey on the effects of digitalization on service-based companies in Vienna

- Seminars (excerpt)**
- **2018:** Internal seminar for production planning and control
 - **2017:** VDI-Seminar: Digital business model development
 - **2016:** Research Seminar: Excellence in project proposal writing
 - **2015:** MTM Methods of Time Measurement (MTM-1, UAS)

- Publications (excerpt)**
- **2020 Paper:** Industry 4.0 operationalization based on an integrated framework of industrial digitalization and automation (A. Schumacher, C. Schumacher, W. Sihn)
 - **2019 Paper:** Methods and tools to facilitate the digital self-transformation of SMEs (F. Ranz, A. Schumacher, W. Sihn)
 - **2018 Paper:** Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises (A. Schumacher, T. Nemeth, W. Sihn)
 - **2017 Bookchapter:** Von der flexiblen zur smarten Fabrik durch Industrie 4.0 (A. Schumacher, S. Erol, F. Ranz und W. Sihn)
 - **2016 Paper:** A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises (A. Schumacher, S. Erol, und W. Sihn)
 - **2016 Paper:** Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three stage process model (S. Erol, A. Schumacher, und W. Sihn)
 - **2013 Book:** TRIZ – Theory of Inventive Problem Solving, A secondary-analytical investigation of recent developments and trends (A. Schumacher, T. Edtmayr)

- Scientific Impact**
- Since 2016** 550+ citations and 50000+ reads on online-platform research gate (https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Schumacher4)

- Honours and awards**
- **2016** Conference award at the CIRP-CARV Conference for the best presentation of a research paper
 - **2015** Masterthesis award by the VBW and the Institute of Management Science for extraordinary academic work in the field of industrial engineering
 - **2015** Scholarship for extraordinary academic achievements assigned by the University of Technology Vienna
 - **2014** Scholarship for extraordinary academic achievements assigned by the University of Technology Vienna
 - **2013** MATRIZ – Student award for Bachelor thesis (TRIZ-conference, 2013)

- Recommendation Letters**
- Recommendation letters from all positions are available